

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Строительные конструкции и сооружения»

РЕЦЕНЗЕНТ:

Кандидат технических наук

_____ А.Ю. Рыжков

_____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Заведующий кафедрой,

к.т.н., доцент

_____ М.В. Мишнёв

_____ 2019г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ ОПОРЫ ЛЭП**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КВАЛИФИКАЦИОННОЙ НАУЧНОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА

ЮУрГУ–08.04.01.2019.259 ПЗ КНР

Руководитель КНР, к.т.н., доцент

_____ М.В.Мишнев

_____ 2019 г.

Автор КНР

студент группы АС-259

_____ О.А.Пучкова

_____ 2019 г.

Челябинск

2019

Пучкова Ольга Анатольевна. Исследование напряженно-деформированного состояния стеклопластиковой опоры ЛЭП. – Челябинск: ЮУрГУ, АС-259, 2019г. - 58с., 41 ил., библиогр. список – 25 наим.

В данной квалификационной научной работе рассмотрены различные типы стеклопластиковых опор ЛЭП. На основании полученных результатов вычислений проведен анализ напряженно-деформированного состояния исследуемых конструкций.

Актуальность работы заключается в том, что современные композитные материалы еще мало изучены и нет достаточной нормативной базы. Расчет проводился при помощи ПК «ЛИРА САПР», далее полученные результаты сравнивались и анализировались.

				АС-259.08.04.01.2019 ПЗ КНР			
	Фамилия	Подпись	Дата				
Зав. каф.	Мишнев М.В.				Стадия	Лист	Листов
Н. контр.	Мишнев М.В.					2	58
Руковод.	Мишнев М.В.				ЮУрГУ СКИС		
Консульт.							
Разраб.	Пучкова О.А.						

Оглавление

Введение.....	4
1. Общие положения.....	6
1.1. Деревянные опоры ЛЭП.....	8
1.2. Металлические опоры ЛЭП	9
1.3. Железобетонные опоры ЛЭП.....	9
1.4. Композитные опоры ЛЭП	10
1.5. Особенности монтажа опор из композитных материалов	14
2. Постановка задачи	21
3. Исследование напряженно-деформированного состояния композитной опоры ЛЭП.....	22
3.1. Общая часть	22
3.2 Указания по применению.....	24
3.3 Создаем модель опоры с классом напряжения 220 кВ.....	25
3.4. Нагрузки действующие на опору ЛЭП.	27
3.5. Результаты и анализ расчета опоры.	32
3.6. Расчет железобетонной опоры ПБ-220-1	35
3.7. Сравнение характеристик композитной и железобетонной опор... ..	40
4. Анализ анкерной стеклопластиковой опоры ЛЭП при изменении ее поперечного сечения.	45
4.1. Создание модели анкерной опоры и ее расчет	47
4.2. Анкерная опора овального сечения	51
Заключение.....	55
Список литературы.....	56

Введение

В современном мире насущный вопрос использования композитных материалов для быстровозводимых и легких опор воздушных линий электропередачи становится все более актуальным с каждым годом. В связи со множеством исследований и прогрессом в производстве конструкций из композитных материалов, применение их в различных сферах деятельности человека набирает все большие обороты. Основными материалами, из которых изготавливались опоры линий электропередачи, долгое время являлись дерево, железобетон, а также металл. Композитные опоры обладают рядом бесспорных преимуществ, а также не имеют части недостатков бетонных и деревянных конструкций. Так, наиболее значимым свойством композитных опор является их малый вес, что оказывает важное влияние на их монтаж и дальнейшую эксплуатацию. Благодаря модульной конструкции большинства композитных опор, обеспечивается высокая скорость сборки и установки. Также модульность и легкость конструкций упрощает логистику, для перевозки сборных частей композитных опор не требуется большегрузная техника, что облегчает транспортировку опор в труднодоступные регионы. Опора воздушной линии – это не только строительная конструкция, но и элемент, который принимает на себя воздействие токов молнии, токов короткого замыкания, а также комбинированные воздействия электрического и механического характера. При разработке и дальнейшем использовании опор из композитных материалов необходимо учитывать различие их электрических параметров и параметров железобетонных и металлических опор. Опоры из традиционных материалов (не считая деревянных) являются проводниками. И по этой причине существует ряд особенностей, которые связаны с координацией изоляции линии электропередачи и распределением её индуктивности, а также емкости. Траверсы и грозозащитные тросы необходимо заземлять, при этом к самому заземлителю предъявляются высокие требования. Опоры,

										Лист
										4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	АС-259.08.04.01.2019					

которые выполняются из таких композитных материалов как базальтопластик, стеклопластик или органопластик, представляют собой диэлектрики. Плохие погодные условия не влияют на диэлектрические свойства опор из композитных материалов. Поэтому можно значительно упростить схему изоляции воздушной линии электропередачи, кроме того, в случае низких классов напряжения есть возможность абсолютно отказаться от использования изоляторов. Линия электропередачи с использованием композитных опор имеет гораздо меньшую ёмкость «провод-провод» и «провод-земля», по сравнению с линией на традиционных опорах. Еще одним преимуществом является отсутствие нужды в заземлении траверсы опоры. Также возможно уменьшение габаритов воздушной линии, в связи с тем, что сближение проводов с траверсой при использовании композитных опор не столь опасно. Благодаря этому компенсируется увеличение габаритов линии, которое необходимо из-за повышенной гибкости композитных опор. Необходимо отметить, что в настоящий момент опыт по эксплуатации композитных опор на территории РФ довольно мал. В связи с чем отечественные разработки в данном направлении во многом опираются на опыт зарубежных компаний.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		5

1. Общие положения

Высоковольтная линия электропередачи представляет собой сложный конструктивный комплекс, который при нагружении работает как пространственная сетевая система, состоящая из конструкций опор, соединенных проводами и тросами.

Основой проектирования ЛЭП является напряжение воздушной линии, и её мощность. По ним рассчитывается сечение и вид провода (кабеля), по сечению определяется вес кабеля, по весу вычисляются длины анкерных и промежуточных пролетов, а также виды и размеры опор. Также вид опоры зависит от количества «ниток» проводов, которые запланированы на участке ЛЭП, какие отводы придется делать и т.д.

Воздушные линии сооружаются в районах с различными климатическими условиями. Основными климатическими факторами, определяющими нагрузки, являются ветер и гололед. При проектировании линий электропередачи ветровые и гололедные районы определяется по специальной карте.

В зависимости от способа подвески проводов опоры бывают:

- 1) промежуточные, на которых провода закрепляет в поддерживающих зажимах;
- 2) анкерного типа, служащие для натяжения проводов; на этих опорах провода закрепляют в натяжных зажимах;
- 3) угловые, которые устанавливают на углах поворота ВЛ с подвеской проводов в поддерживающих зажимах; они могут быть промежуточные, ответвительные и угловые, концевые, анкерные угловые.

Расстояние между соседними опорами называется пролетом, расстояние между опорами анкерного типа - анкерным участком. Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) пересечение ЛЭП и железной дороги следует выполнять на опорах анкерного типа. На углах поворота линии устанавливаются угловые опоры, на которых провода могут

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	АС-259.08.04.01.2019				

быть подвешены в поддерживающих или натяжных зажимах. Таким образом, две основные группы опор разбиваются на типы, имеющие специальное назначение.

Промежуточные прямые опоры устанавливаются на прямых участках линии. Провода закрепляются в поддерживающих гирляндах, висящих вертикально. Промежуточные опоры воспринимают горизонтальные нагрузки от давления ветра на провода и на опору, а вертикальные - от веса проводов, изоляторов и собственного веса опоры. При не оборванных проводах и тросах промежуточные опоры не воспринимают, как правило, горизонтальные силы от натяжения проводов и тросов в направлении линии.

Промежуточные угловые опоры устанавливаются на углах поворота линии с подвеской проводов в поддерживающих гирляндах. Помимо нагрузок, действующих на промежуточные прямые опоры, угловые опоры воспринимают также нагрузки от поперечных составляющих тяжения проводов и тросов.

При установке анкерных опор на прямых участках трассы и подвески проводов с обеих сторон от опоры с одинаковым тяжением горизонтальные продольные нагрузки от проводов уравниваются и анкерная опора работает как промежуточная. В случае необходимости провода с одной и с другой стороны от опоры можно натягивать с различным тяжением, тогда анкерная опора будет воспринимать разность тяжения проводов. При установке анкерных опор на углах (в точках поворота линии) анкерные угловые опоры воспринимают нагрузку также от поперечных составляющих тяжения проводов и тросов.

В процессе развития линий электропередачи утвердились три вида опор по материалу, из которого они изготавливаются:

- Опоры деревянные;
- Опоры железобетонные;
- Металлические опоры;

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		7

1.1. Деревянные опоры ЛЭП

Для линий умеренного напряжения как в городской, так и в сельской местности наиболее рациональным является использование деревянных опор. Деревянные опоры используются для линий электропередач с рабочим напряжением до 220/380 В.

Стойку опоры выполняют составной: верхнюю часть (собственно стойку) - из брёвен длиной 6,5 - 8,5 м, а нижнюю часть (так называемый пасынок) - из железобетона сечением 20X20 см, длиной 4,25 и 6,25 м или из бревен длиной 4,5 - 6,5 м. Составные опоры с железобетонным пасынком сочетает в себе преимущества железобетонных и деревянных опор: грозоустойчивость и сопротивляемость гниению вместе касания с грунтом. Соседние стойки с пасынком выполняют проволочными бандажами из стальной проволоки диаметром 4-6 мм, натягиваемой при помощи скрутки или натяжным болтом. Анкерные и промежуточные угловые опоры для ВЛ 6-10 кВ выполняют в виде А-образной конструкции с составными стойками.

Деревянные опоры ВЛ ещё имеют распространение в странах, располагающих лесными запасами. Достоинствами дерева как материал для опор являются: небольшой удельный вес, высокая механическая прочность, хорошие электроизоляционные свойства, природный круглый сортамент. А также они выдерживают испытания на излом при ветровых и гололедных нагрузках, при транспортировке деревянные опоры более устойчивы к ударам и сколам за счет легкого веса, при этом перевозить их на одном автотранспорте можно в большем количестве, что значительно экономит денежные средства. По данным аварийных служб, при массовом падении деревьев на провода линии электропередачи количество поврежденных деревянных опор в десять раз меньше, чем железобетонных за счет отсутствия «эффекта домино». При падении тяжелая железобетонная опора увлекает за собой соседние опоры по всему анкерному пролету, а поврежденная деревянная опора удерживается на натянутых проводах, что

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		8

сокращает количество аварийных отключений на линиях. Таким образом, использование деревянных опор на линиях электропередачи выгоднее, чем железобетонных, за счет наименьших затрат, удобства эксплуатации и долгого срока службы.

Недостатком древесины является её гниения, для уменьшения которого применяют антисептики. Эффективным методом борьбы с гниением является пропитка древесины маслянистыми антисептиками.

1.2. Металлические опоры ЛЭП

Стальные опоры широко применяют на ВЛ напряжением 35 кВ и выше.

По конструктивному исполнению стальные опоры могут быть двух видов:

- 1) башенные или одностоечные;
- 2) порталные, которые по способу закрепления подразделяются на свободностоящие опоры и опоры на оттяжках.

Достоинством стальных опор является их высокая прочность, недостатком — подверженность коррозии, что требуют при эксплуатации проведения периодической окраски или нанесения антикоррозийного покрытия.

Опоры изготавливают из стального углового проката(в основном применяют равнобокий уголок); высокие переходные опоры могут быть изготовлены из стальных труб. В узлах соединения элементов применяют стальной лист различной толщины. Речка лукаша Независимо от конструктивного исполнения стальные опоры выполняет в виде пространственных решетчатых конструкций.

1.3. Железобетонные опоры ЛЭП

Железобетонные опоры по сравнению с металлическими более долговечный и экономичны в эксплуатации, так как требуют меньше ухода и ремонта (если брать жизненный цикл, то железобетонные — более энергозатратны). Основное преимущество железобетонных опор — уменьшение расхода стали на 40% - 75%, недостаток — большая масса. По

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	АС-259.08.04.01.2019				

способу изготовления железобетонные опоры подразделяются на бетонизируемые на месте установки и заводского изготовления.

Крепление траверс к стволу стойки железобетонной опоры выполняют с помощью болтов, пропущенных через специальные отверстия в стойке, или с помощью стальных хомутов, охватывающих ствол и имеющих цапфы для крепления на них концов поясов траверс. Металлические траверсы предварительно подвергают горячей оцинковке, поэтому они долгое время не требуют при эксплуатации специального ухода и наблюдения.

1.4. Композитные опоры ЛЭП

В настоящее время все большую популярность набирают опоры ЛЭП из композитных материалов. Подобный выбор материала, обусловлен тем, что опоры из стеклопластика, в сравнении с традиционными опорами из дерева, металла и железобетона, обладают наилучшими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Композитные опоры используют для сооружения линий электропередач (ЛЭП) переменного тока напряжением от 10 до 220 кВ. Опоры из композитных материалов чаще применяются для организации сетей наружного освещения, однако все больше сетевых компаний начинает использовать стеклопластиковые стойки при сооружения ВЛ среднего и высокого напряжения. Данный тип опор успешно эксплуатируется вместо изношенных деревянных опор в сетях среднего напряжения в США (7,2 кВ) и высокого напряжения в Норвегии (132 кВ).

Стеклопластик и базальтопластик являются диэлектрическими композитными материалами. Стеклопластик обладает высоким удельным электрическим сопротивлением, сравнимым с аналогичным показателем стекла, высокой механической прочностью, которая не уступает металлам, а также низким тангенсом угла диэлектрических потерь. Благодаря данным свойствам он получил широкое применение в несущих элементах изоляции, опорных изоляторах, а также в корпусах разнообразной высоковольтной

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		10

аппаратуры. Стеклопластик отличается низкой хрупкостью и высокой эластичностью, что является несомненным преимуществом перед монолитным стеклом. За счет этих особенностей изоляторы из полимерных материалов с несущим каркасом из стеклопластика способны выдерживать аварийные ударные механические нагрузки такой силы, при которых изоляторы из фарфора или монолитного стекла полностью разрушаются. В отличие от последних, композитные изоляторы при этих нагрузках лишь несколько деформируются, но при этом полностью сохраняют свою работоспособность и целостность.

Благодаря полученному при эксплуатации этих изоляторов опыту начались эксперименты по производству опор из стеклопластика и базальтопластика. Первые страны, начавшие использование таких опор на практике, это Канада и США. Так как в этих странах сложные климатические условия: частые сильные ураганы, большая площадь территории с сильным гололедом (в большей степени актуально для Канады). Традиционные железобетонные опоры в подобных климатических условиях уступают опорам из композитных материалов, которые более эластичны и выдерживают нагрузки без полного выхода из строя.

Эксплуатация композитных опор во многом определена их физико-механическими свойствами. Как стеклопластик, так и базальтопластик характеризуются высоким отношением предела прочности к модулю упругости. При получении композитных оболочек методом перекрестноспиральной намотки это отношение составляет 10-12 МПа/ГПа. Конструкционные стали, а также железобетон не могут похвастаться такими показателями. Для них это отношение составляет 4,5 МПа/ГПа и 3 МПа/ГПа соответственно. Это отношение определяет максимальное значение прогиба опоры полного разрушения опоры. Из этого следует, что композитные опоры, в отличие от стальных и железобетонных допускают большие прогибы без необратимых деформаций. Таким образом, это свойство

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		11

является основной причиной успешного использования композитных материалов для изготовления опор, использующихся в тяжелых климатических условиях.

Важно знать, что модуль упругости стеклопластика лежит в пределах от 30 до 50 ГПа, в то время как аналогичный показатель стали 200 ГПа. В связи с этим, при использовании одинаковой толщины опоры композитный материал при работе в нормальном режиме будет прогибаться больше, нежели сталь. Поэтому при проектировании ВЛ на композитных опорах учитывают их повышенную гибкость. Это означает, что при одинаковом классе напряжения линия на опорах из композитных материалов будет иметь большие габариты, чем линия на стальных опорах. Согласно ПУЭ габариты ВЛ с гибкими опорами рассчитываются для случая максимально отклоненных опор.

Современным лидером в создании композитных опор является канадская фирма RStechologie inc., производящая модульные стойки RStandart из стеклопластика. Основной областью применения этих стоек являются линии электропередачи среднего класса напряжения, а также сети уличного освещения. Опоры данного типа установлены по всему миру, в том числе несколько опор стоит непосредственно в Якутии на опытном участке ВЛ. На основе канадских стоек опор RStandart были разработаны Российские аналоги опоры серии ПРС и ППРС на 110-500 кВ. Также компанией «Феникс-88» были созданы опоры ПК 110 и ПК 220, которые оборудованы изолирующими консольными траверсами современного образца. В 2013 году, в качестве опытного образца, одна из таких опор была построена на ЛЭП 110 кВ недалеко от Тюмени. Планируется дальнейшее развитие и внедрение данного типа опор в уже существующие ВЛ.

Как было отмечено ранее, одним из свойств композитных материалов является высокая эластичность. Благодаря этому свойству опоры из этих

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		12

материалов избегают необратимых деформаций, что и подтвердил опыт использования опор RStandard.

Довольно сложным вопросом является обустройство фундаментов. Необходимо привести все решения по фундаментам, креплению опор к единому стандарту. Для восстановления упавшей опоры есть возможность использования уже имеющихся фундаментов, а при быстром монтаже временной опоры фундамент должен быть еще и простым, позволяющим провести ремонтные работы в срок.

Вдобавок ко всему, необходимо рассмотреть возможность использования в качестве материала для опор базальтопластик, который является конкурентом стеклопластика по механической прочности, собственной долговечности, а также химической стойкости. Изучение различных характеристик конструкций из базальтопластика может определить перспективы применения его в изготовлении изоляторов, траверс и других конструкций для сооружения ВЛ. В России существуют производства, которые имеют возможность изготавливать сложные конструкции из базальтового композита. Этот факт значительно повышает актуальность данного вопроса в современном мире.

Опоры из композитных материалов имеют ряд достоинств:

- простота монтажа и эксплуатации;
- малый вес относительно классических опор;
- высокая эластичность (конструкция опоры ликвидирует остаточную деформацию);
- безопасность (не требуют заземления конструкции, менее опасно для автотранспорта), вандалоустойчивы;
- не подвергаются коррозии
- защищенность от низового пожара (покрыты огнезащитным составом) и ультрафиолета (в стеклопластик конструкции внедряют светостабилизатор);

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	АС-259.08.04.01.2019					

- экологичность (состоят из компонентов, не оказывающих негативного воздействия на окружающую среду);

- длительный срок службы (50 - 70 лет).

Недостатки композитных опор:

- стоимость опор из композитных материалов в несколько раз превышает стоимость классических опор;

- малый опыт эксплуатации;

- нехватка нормативной документации.

Следует отметить, что, несмотря на преимущества опор из композитных материалов, они также имеют и свои недостатки. Часть вопросов, связанных с использованием стеклопластиковых и базальтопластиковых опор либо не имеют определенного ответа вовсе, либо изучены недостаточно глубоко. Это еще выше поднимает актуальность исследований в данном направлении.

1.5. Особенности монтажа опор из композитных материалов

Основные этапы монтажа стеклопластиковых опор аналогичны традиционным опорам – это транспортировка, выкладка секций и сборка опоры, установка, выверка и закрепление опоры, однако есть некоторые особенности их выполнения.

Подготовительные работы проводятся на специальных площадках расположенных рядом с трассой сооружаемой воздушной линии и включают нанесение разметочных линий на секции опоры, сверление отверстий, обрезку секций в случае необходимости и т.д.

К месту монтажа опоры обычно доставляют в разобранном виде, при этом нижний – самый большой по габаритам и диаметру модуль – является одновременно и футляром для остальных элементов конструкции. Таким образом, формируется "набор" секций стойки опоры. Для исключения возможных перемещений отдельных секций в "наборе" при транспортировке, они скрепляются между собой болтами. При этом для перевозки опор не

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	АС-259.08.04.01.2019				

требуется специальная крупногабаритная техника. По информации некоторых электротехнических компаний, занимающихся монтажом ВЛЭП, транспортировка опор из композитных материалов обходится в 2 раза дешевле, чем деревянных опор.

В зависимости от условий монтажа и транспортировки опор, они могут собираться:

- непосредственно на пикете из отдельных заводских элементов;
- на специальных сборочных площадках рядом с объектом монтажа и на пикет доставляться в собранном виде;
- на сборочных площадках собираются укрупненные блоки, которые доставляют на пикет, где опора окончательно собирается.

Относительно небольшой вес композитных опор не требует использования специальной техники при монтаже, для сборки достаточно иметь кран небольшой грузоподъемности (например, кран-манипуляторную установку).

Сборка опоры производится на земле и сводится к «наращиванию» отдельных секций до получения стойки необходимой высоты. Рассмотрим более подробно особенности сборки стойки опор из композитных материалов.

После выгрузки набора секций на пикете выполняют следующие операции:

1. Отвинчивают специальный болт, соединяющий секции между собой во время транспортировки для исключения их перемещения и повреждения. Этот болт находится у основания набора секций.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		15



Рис. 1.1. Транспортировка секций для опоры ЛЭП

2. После того как «транспортный» болт удален, извлекают секции из «набора», начиная с внутренней (самой маленькой) и укладывают их друг за другом на деревянные бруски. Легкие внутренние секции могут извлекаться и перемещаться вручную двумя монтажниками, для перемещения более тяжелых секций используют грузоподъемные машины.

3. После выкладки секций проводят их соединение, начиная с самых больших (нижних) модулей. При этом, меньшую, более легкую секцию надвигают на более тяжелую, ориентируясь по меткам, которые нанесены на секции опоры. Наличие меток позволяет выровнять монтажные отверстия (используемые для их стягивания) в разных секциях друг относительно друга.



Рис. 1.2. Сборка модулей

4. В предварительно высверленные отверстия соединяемых секций устанавливают монтажные зажимы. В каждой секции имеется два отверстия расположенные на одной высоте, с противоположных сторон секции (напротив друг друга). Всего устанавливается четыре зажима, по два на каждую секцию.



Рис. 1.3. Установка зажимов

5. Для исключения смещения зажимов при стягивании соединяемых модулей опоры, в результате чего может произойти повреждение модулей или самих зажимов, последние фиксируются предохранительным ремнем или цепью, которые продеваются в отверстия зажимов и охватывают модуль опоры. С противоположных сторон соединяемых модулей (напротив друг друга) устанавливаются ручные лебедки.



Рис. 1.4. Предохранительный ремень

6. Модули стягиваются ручными лебедками, причем усилия, создаваемые каждой из лебедок, должны быть одинаковы во избежание перекоса соединяемых секций опоры. Стягивание секций останавливают, когда верхняя, более легкая секция заходит за контрольную метку, нанесенную на более тяжелую (нижнюю) секцию.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		17

7. После того, как соединяемые модули насажены друг на друга высверливается отверстие под болтовое крепление секций. Отверстие сверлится во внутреннем модуле доступ к которому осуществляется через продольную щель внешнего модуля. Отверстие высверливается как можно ближе к нижнему краю щели (обычно это место указано соответствующими метками).



Рис. 1.5. Отверстие под болтовое крепление секции

8. В высверленное отверстие вставляют специальную гайку, прикрепленную к монтажной нити. Нить натягивается, и гайка занимает горизонтальное положение внутри опоры. Затем в гайку вставляется и закручивается болт, который окончательно зажимается ключом. После установки болтового соединения монтажная нить обрезается.



Рис. 1.6. Установка болтового соединения

9. После того как стойка опоры собрана монтируется нижняя опорная крышка. Для этого в монтажные отверстия, расположенные у основания нижней секции, устанавливаются J-образные болты. В зависимости от типа опорной крышки (от ее диаметра) J-образные болты могут монтироваться с внутренней или наружной стороны нижней секции опоры. Крышка крепится четырьмя болтами.

10. В завершении операций по сборке стойки опоры монтируется верхняя крышка. Крышка крепится четырьмя винтами к верхней секции стойки.



Рис. 1.7. Крепление крышки

11. После сборки стойки опоры производят монтаж траверсы.



Рис. 1.8. Монтаж траверсы

Промежуточные свободстоящие одностоечные опоры ВЛ до 220 кВ обычно устанавливают непосредственно в грунт. Котлованы для этих фундаментов разрабатываются буровыми машинами с буровыми головками диаметром на 5-10 см больше диаметра устанавливаемой стойки. Таким

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		19

образом, стойку опоры устанавливают практически в ненарушенный грунт, обладающий высокими механическими характеристиками.



Рис. 1.9. Установка стеклопластиковой опоры.

Установка композитных опор производится с помощью крана. В качестве такелажных приспособлений не используют острые, абразивные материалы, чтобы не повредить стеклопластиковую опору, как правило, применяют нейлоновые тросы. Нейлоновый трос крепят в точке равновесия опоры (центр масс), которая примерно совпадает с геометрическим центром опоры. Опору поднимают до вертикального положения и опускают стойкой в котлован, устанавливая так, чтобы оси траверс опоры были расположены перпендикулярно к оси трассы. Проверяют, чтобы ось опоры была строго вертикальна и совпадала с осью трассы. Далее котлован заполняется композитной смесью.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		20

2. Постановка задачи

Целью настоящей работы является изучение напряженно-деформированного состояния опор из композитных материалов. Для рассмотрения этого вопроса будет проведен ряд расчетов и построение компьютерных моделей для дальнейшего их исследования. Первым шагом работы является моделирование рядовой опоры, будут рассчитаны её характеристики. Следующим шагом композитная опора будет заменена на железобетонную с целью рассмотрения изменения параметров. С новой опорой так же будет проведен ряд расчетов. Также будет проведено исследование анкерной опоры ЛЭП при изменении ее габаритов и конструкции.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		21

3. Исследование напряженно-деформированного состояния композитной опоры ЛЭП.

Расчет опоры ЛЭП можно производить в ручную, существуют методики расчета согласно ПУЭ, но к сожалению подобные расчеты ориентированы на железобетонные стойки опор. Поэтому, для упрощения и получения быстрых результатов, воспользуемся программой ЛИРА САПР для расчета композитной стойки опоры ЛЭП.

3.1. Общая часть

Согласно исходным данным композитная опора состоит из следующих основных элементов:

- стойка опоры;
- траверсы изолирующие с арматурой крепления к стойке;
- арматура крепления грозозащитного троса;
- спуски заземления, заглушки торцевые.

Модули для стойки опоры состоят из стеклопластиковой композиции, воспринимающей основную механическую нагрузку. Данные опоры обладают небольшой удельной массой и предназначены для эксплуатации в ненаселенной и населенной местности, а также они могут применяться при проведении аварийно-восстановительных работ или создания быстромонтируемого резерва.

На данном этапе работы рассмотрим опору ПК220-1.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		22

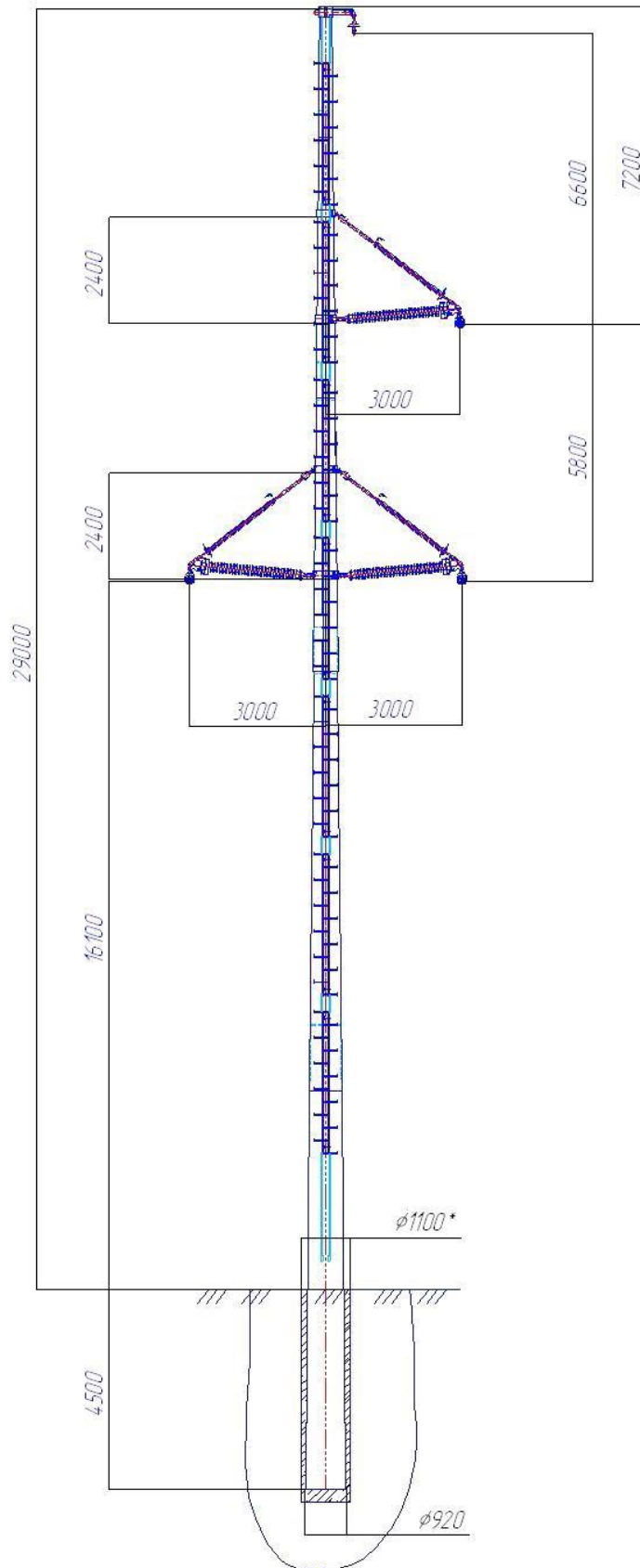


Рис. 3.1. Схема композитной опоры ПК200-1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

АС-259.08.04.01.2019

Лист

23



Рис. 3.2. Расшифровка условного обозначения типа композитной опоры.

Для обеспечения защиты стойки опоры от низового пожара, на наружной поверхности нижнего модуля опоры выполняется покрытие огнезащитным составом, на высоту не менее 2 метров от поверхности земли. А также для повышения стойкости к ультрафиолетовому излучению на наружную поверхность модулей наносится защитный слой со светостабилизатором.

3.2 Указания по применению.

Композитные опоры ВЛ 220 кВ предназначены для применения в I-IV ветровых районах и в I-IV районах по гололеду в населенной и ненаселенной местности. Подобные опоры могут эксплуатироваться при диапазоне температур - от минус 60°С до плюс 40°С, тип атмосферы - промышленная, степень загрязнения II, рабочее значение влажности воздуха (среднегодовое/верхнее) - 75% / 100%, предельная высота эксплуатации над уровнем моря - 1000 м.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		24

3.3 Создаем модель опоры с классом напряжения 220 кВ.

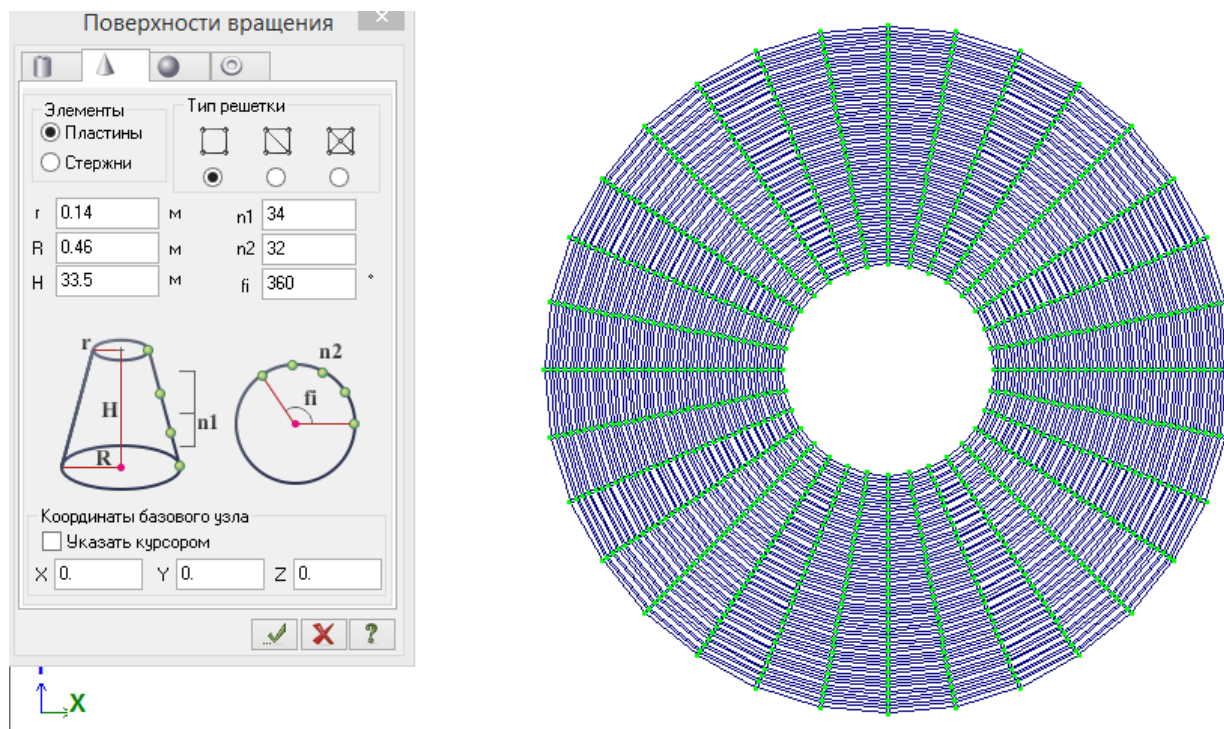


Рис. 3.3. Модель ПК220-1

В диалоговом окне ЛИРА САПР выбираем 5 признак схемы и, с помощью команды поверхности вращения, создаем опору ЛЭП. Высота опоры 33,5 м. Нижний диаметр опоры 920 мм, верхний - 280 мм.

Далее необходимо создать траверсы, к которым в последствии будут приложены нагрузки от проводов. Задаем их стержневыми конечными элементами, на соответствующей высоте, данной в исходных материалах. нижние траверсы находятся на высоте 16,1 м. от земли, верхняя траверса на расстоянии 21,9 м. от поверхности земли.

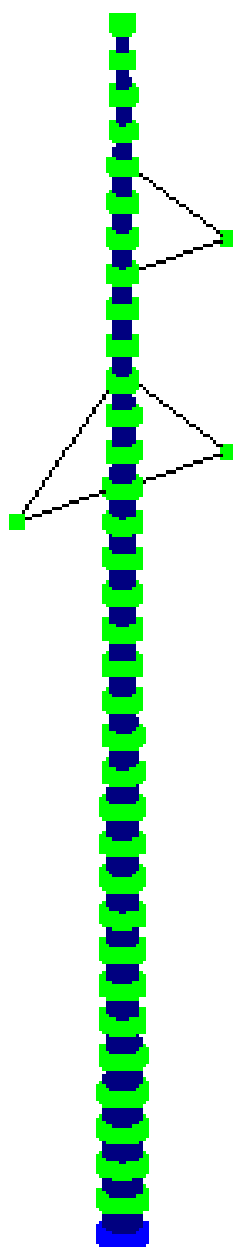


Рис. 3.4. Схема одноцепной опоры ПК220-1

Далее необходимо задать жесткость элементам конструкции. Во вкладке жесткости и материалы в первую очередь создаем жесткость для стойки опоры. Модуль упругости стеклопластикового волокна $1,7 \text{ т/м}^2$; коэффициент Пуассона $0,35$; удельный вес материала 2 т/м^3 . Все значения и коэффициенты приняты по результатам испытаний, проводимых с композитными материалами. Толщина стойки - 3 см .

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		26

<input type="checkbox"/> Учет ортотропии	E2	0
E	1.7e+006	Т/М ²
V	0.35	
	V21	0
	G	0
H	3	см
	Ro	2 Т/М ³

Рис. 3.5. Характеристики материала стойки опоры

Также задаем жесткость полимерным опорным изоляторам.

E	1.7e+006	Т/М ²
D	11	см
d	8	см
Ro	2	Т/М ³

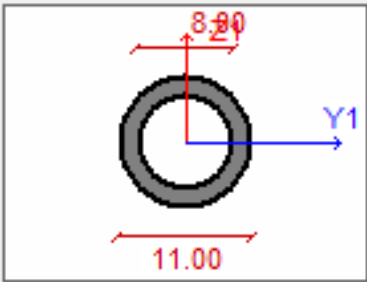


Рис. 3.6. Характеристики материала опорных изоляторов

3.4. Нагрузки действующие на опору ЛЭП.

Опоры, фундаменты и основания ВЛ должны рассчитываться на нагрузки: от собственного веса, ветровую и гололедную. Основными характеристиками нагрузок и воздействия являются нормативные значения, которые устанавливаются в соответствии с требованиями п. 2.5.88-2.5.95 и п. 5-8 ПУЭ-7, а для нагрузок не регламентированных данными требованиями, в соответствии с другими документами, утвержденными Госстроем России.

Нормативные значения давления ветра и толщины стенки гололеда приняты в соответствии с ПУЭ-7 (исходя из их повторяемости 1 раз в 25 лет). Нормативное давление ветра в гололедном режиме принято равным 0,25 от нормативного максимального ветрового давления.

Расчетные значения габаритных, весовых и ветровых пролетов, а также изгибающего момента, действующего на фундамент композитных опор 200

кВ, определяются с учетом их несущей способности и в соответствии с требованиями и рекомендациями ПУЭ-7.

При выполнении расчетов с учетом несущей способности стойки композитной опоры приняты следующие исходные данные:

- весовой пролет равен 1,25 от габаритного пролета;
- коэффициент надежности по ответственности для ветровой и гололедной нагрузок равен 1,0 (п.2.5.54, 2.5.55 ПУЭ);
- коэффициент надежности по ветровой нагрузке равен 1,1 (п.2.5.62 ПУЭ);
- коэффициент надежности по гололедной нагрузке 1,3;

Таблица 3.1.

Тип опоры	Расчетные условия			Пролеты, м										Стр_max	Стр_э	Стр_max	Стр_э	
				Населенная местность					Ненаселенная местность									
	Марка провода и троса	Ветровой район	Гололедный район	Lгаб	Lвет*	Lвес	M	Q	Lгаб	Lвет*	Lвес	M	Q					
ПК 220-1	АС 300/39	I	I	340	381	476	350,8	17,8	364	381	476	350,8	18,6	12,0	7,8	33,5	22,7	
			II	339	375	469	350,8	17,7	360	375	469	350,8	18,4	12,0	7,8	39,5	22,7	
			III	304	330	413	350,8	16,6	322	330	413	350,8	17,2	12,0	7,8	45,5	22,7	
			IV	273	295	369	304,1	15,6	289	295	369	290,8	16,1	12,0	7,8	45,5	22,7	
			II	I	340	381	476	373,0	21,7	364	381	476	390,9	22,6	12,0	7,8	33,5	22,7
				II	339	375	469	372,3	21,6	360	375	469	388,0	22,4	12,0	7,8	39,5	22,7
				III	304	330	413	350,8	20,3	322	330	413	359,6	21,0	12,0	7,8	45,5	22,7
				IV	273	295	369	322,9	19,2	289	295	369	334,9	19,8	12,0	7,8	45,5	22,7
			III	I	340	381	476	482,7	28,1	364	381	476	505,7	29,3	12,0	7,8	33,5	22,7
				II	333	367	459	476,0	27,8	354	367	459	496,1	28,8	12,0	7,8	39,5	22,7
				III	299	324	405	443,4	26,2	317	324	405	460,7	27,0	12,0	7,8	45,5	22,7
				IV	269	290	363	414,7	24,7	285	290	363	430,0	25,5	12,0	7,8	45,5	22,7
		IV	I	340	381	476	604,6	35,3	364	381	476	632,9	36,8	12,0	7,8	35,9	22,7	
			II	326	358	448	588,1	34,5	346	358	448	611,6	35,7	12,0	7,8	39,5	22,7	
			III	293	317	396	549,1	32,6	310	317	396	569,2	33,6	12,0	7,8	45,5	22,7	
			IV	265	284	355	516,1	30,9	280	284	355	533,8	31,8	12,0	7,8	45,5	22,7	
		АС 400/51	I	I	301	332	415	332,3	17,7	322	332	415	332,3	18,4	8,5	5,9	33,5	21,5
				II	301	332	415	315,2	17,7	322	332	415	319,8	18,4	9,7	5,9	33,5	21,5
				III	301	332	415	332,3	17,7	322	332	415	327,7	18,4	11,2	5,9	43,1	21,5
				IV	293	317	396	322,9	17,4	310	317	396	314,3	18,0	11,7	5,9	47,9	21,5
			II	I	301	332	415	368,3	21,6	322	332	415	385,8	22,5	8,5	5,9	33,5	21,5
				II	301	332	415	368,3	21,6	322	332	415	385,8	22,5	9,7	5,9	33,5	21,5
				III	301	332	415	368,3	21,6	322	332	415	385,8	22,5	11,2	5,9	43,1	21,5
				IV	293	317	396	361,7	21,2	310	317	396	375,8	21,9	11,7	5,9	47,9	21,5
	III		I	301	332	415	476,7	28,0	322	332	415	499,0	29,1	8,5	5,9	33,5	21,5	
			II	301	332	415	476,7	28,0	322	332	415	499,0	29,1	9,7	5,9	33,5	21,5	
			III	301	332	415	476,7	28,0	322	332	415	499,0	29,1	11,7	5,9	43,1	21,5	
			IV	289	312	390	464,0	27,3	306	312	390	482,0	28,3	11,7	5,9	47,9	21,5	
	IV	I	301	332	415	597,2	35,2	322	332	415	624,7	36,6	8,5	5,9	33,5	21,5		
		II	301	332	415	597,2	35,2	322	332	415	624,7	36,6	9,7	5,9	35,9	21,5		
		III	301	332	415	597,2	35,2	322	332	415	624,7	36,6	11,7	5,9	45,5	21,5		
		IV	285	307	384	576,3	34,1	301	307	384	597,2	35,2	11,7	5,9	50,3	21,5		

В таблице 3.1 приведены расчетные значения габаритных, ветровых и весовых пролетов, а также изгибающего момента, действующего на фундамент композитной опоры на уровне поверхности грунта для ВЛ 220 кВ одноцепного исполнения.

В таблице приняты следующие обозначения:

- $L_{\text{габ}}$ - габаритный пролет (м);
- $L_{\text{вет}^*}$ - ветровой пролет указан с учетом допустимых расстояний между проводами и между проводами и тросом по условиям пляски в соответствии с ПУЭ Приложение 1 (таблица П1 и таблица П7)), (м);
- $L_{\text{вес}}$ - весовой пролет (м);
- M - максимальный изгибающий момент, действующий на фундамент композитной опоры на уровне поверхности грунта (кН*м);
- M^* - максимальный изгибающий момент, действующий на фундамент композитной опоры на уровне поверхности грунта с учетом пляски проводов (кН*м);
- Q - максимальная поперечная сила, действующая на фундамент композитной опоры на уровне грунта (кН);
- Q^* - максимальная поперечная сила, действующая на фундамент композитной опоры на уровне грунта с учетом пляски проводов (кН);
- $\sigma_{\text{пр}}$ - напряжение в проводе (даН/мм²);
- $\sigma_{\text{тр}}$ - напряжение в тросе (даН/мм²)

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		29

В соответствии с изложенными выше данными назначаем нагрузки, действующие на опору.

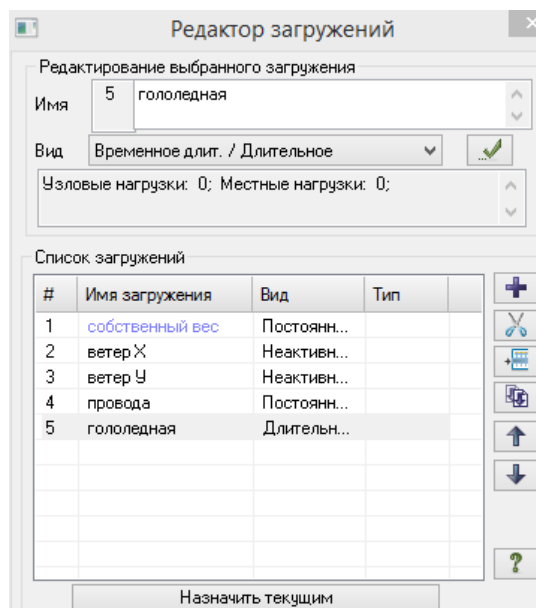


Рис. 3.7. Нагрузки действующие на опору ПК220-1

1. Собственный вес задаем в программе «ЛИРА САПР» с помощью автоматической команды.

2. На траверсы действуют следующие нагрузки:

- вертикальная изгибающая сила в плоскости траверса - $G = 60$ кН;
- горизонтальная изгибающая сила в плоскости, перпендикулярной плоскости траверсы - $T = 8$ кН;
- горизонтальная растягивающая сила в плоскости траверсы - $R = 50$ кН;
- горизонтальная сжимающая сила в плоскости траверсы - $C = 50$ кН.

3. Ветровую нагрузку считаем согласно п.11.1 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c$$

где w_0 - нормативное значение ветрового давления;

$k(z_e)$ - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z ;

c - аэродинамический коэффициент.

Для башенных сооружений, мачт, труб, решетчатых конструкций и т.п. сооружений $z_e = z$.

Принимаем, что опора находится во втором ветровом районе, следовательно $w_0 = 0,3 \text{ кПа} = 0,03 \text{ т/м}^2$.

Для башенных сооружений, мачт, труб, решетчатых конструкций и т.п. сооружений $z_e = z$. СП 20.13330.2016.

Высота опоры $z = 33,5 \text{ м}$

Находим по интерполяции $k(z_e = 33,5) = 1,01875$

Напор: $\gamma_f w_m = 0,03 \text{ т/м}^2 * 1,01875 * 0,8 * 0,9 = 0,022 \text{ т/м}^2$

Отсос: $\gamma_f w_m = 0,03 \text{ т/м}^2 * 1,01875 * 0,5 * 0,9 = 0,014 \text{ т/м}^2$

Далее создаем таблицу расчетных сочетаний усилий, для данной задачи:

Строительные нормы: СП 20.13330.2011

Номер загрузки: 1, собственный вес

Вид загрузки: Постоянное (0)

Кoeffициенты для РСУ

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(б С)	5 сочет.	6 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№	Имя загрузки	Вид	Параметры РСУ	Кoeffициенты РСУ
1	собственный...	Постоянное ...	0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
2	ветер X	Неактивное ...	9 0 0 3 0 0 0 1.10 0.00	0.00 0.00 0.00
3	ветер Y	Неактивное ...	9 0 0 3 0 0 0 1.10 0.00	0.00 0.00 0.00
4	провода	Постоянное ...	0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00

Рис. 3.8. Таблица РСУ

Система РСН предназначена для вычисления перемещений узлов и усилий (напряжений) в элементах расчетной схемы от стандартных или произвольных комбинаций нагрузжений. Стандартные комбинации соответствуют действующим нормативным документам, а произвольные комбинации формируются расчетчиком и позволяют создать комбинации, не предусмотренные нормами. Окончательный вид диалогового окна «Расчетные сочетания нагрузок» перед запуском на вычисление РСН показан на Рис. 3.9.

	№ загруз.	Наименование	Вид	Знакоперем.	Взаимоискл.	Кэф. надежн.	Доля длител.н.	1	2
1	1	собственный вес	Постоянное (Р)	+		1.0	1.0	1.0	1.0
2	2	ветер X	Постоянное (Р)	+		1.0	1.0	.0	1.0
3	3	ветер Y	Постоянное (Р)	+		1.0	1.0	1.0	.0
4	4	провода	Постоянное (Р)	+		1.0	1.0	1.0	1.0

Рис. 3.9. Таблица РСН

3.5. Результаты и анализ расчета опоры.

На Рис. 3.10. представлена деформированная схема опоры:

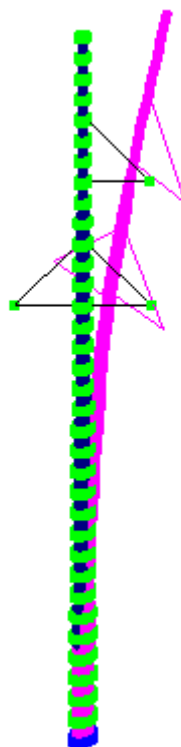


Рис. 3.10. Деформация опоры

Выбираем наиболее неблагоприятное сочетание нагрузок и получаем максимальные перемещения конца опоры от ее вертикальной оси.

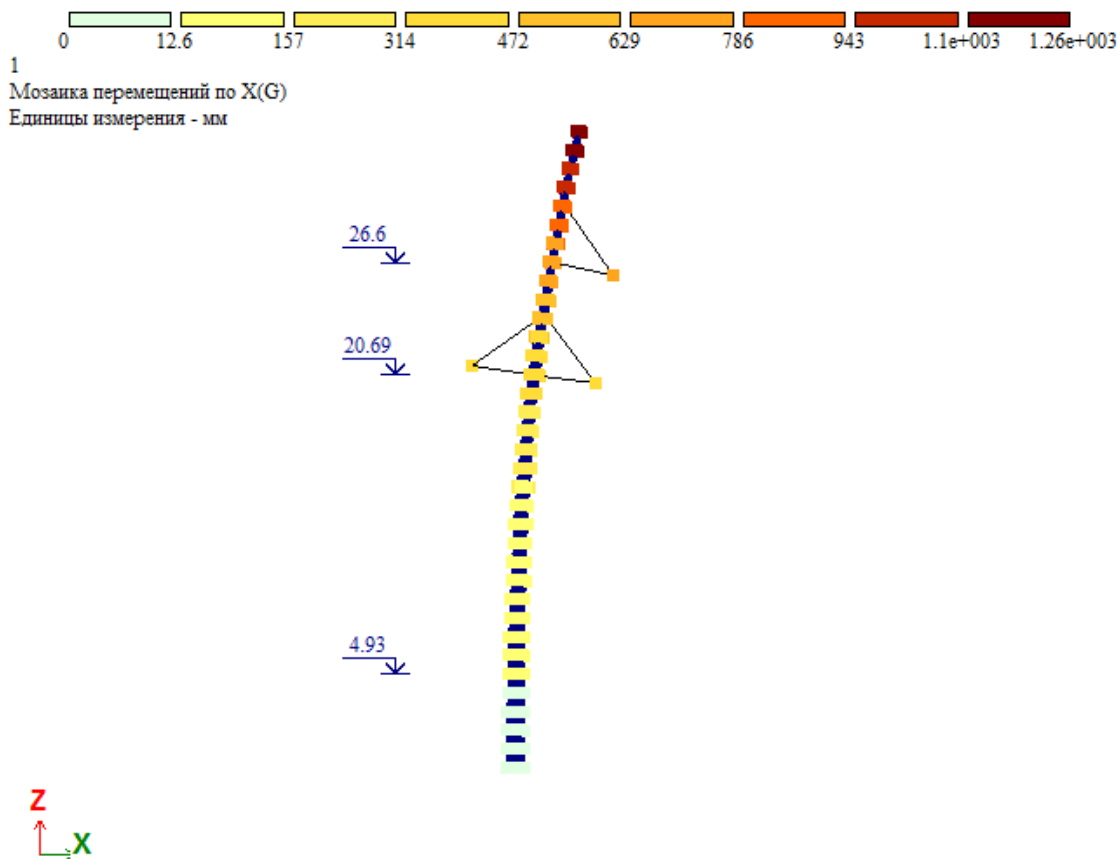


Рис. 3.11. Перемещение опоры по оси X

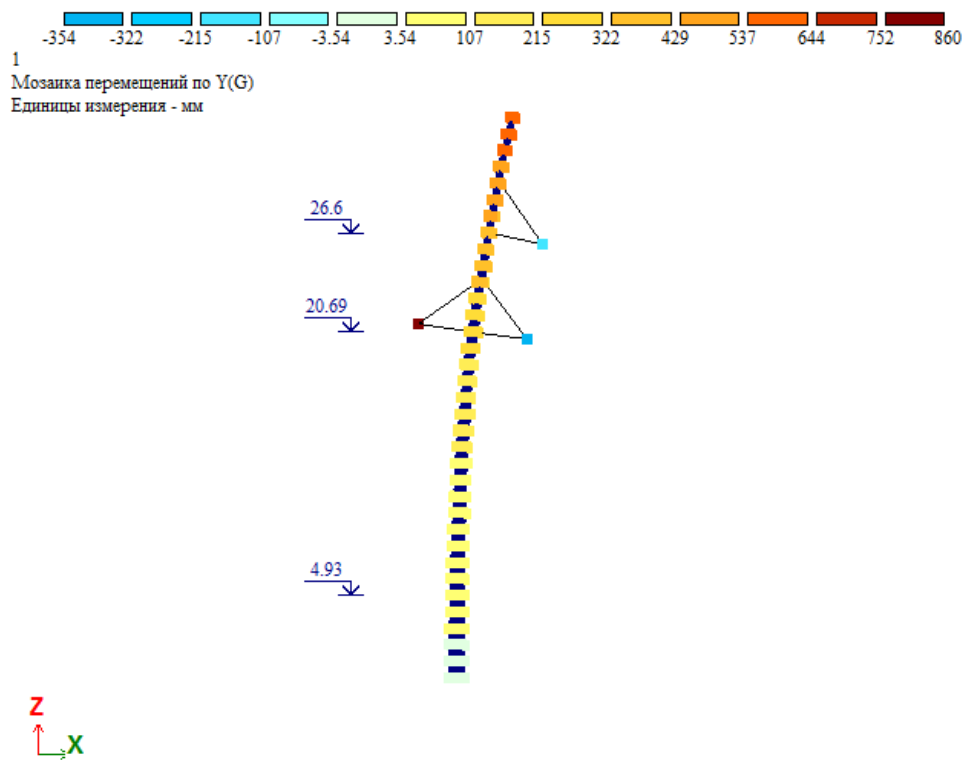


Рис. 3.12. Перемещение опоры по оси Y

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		33

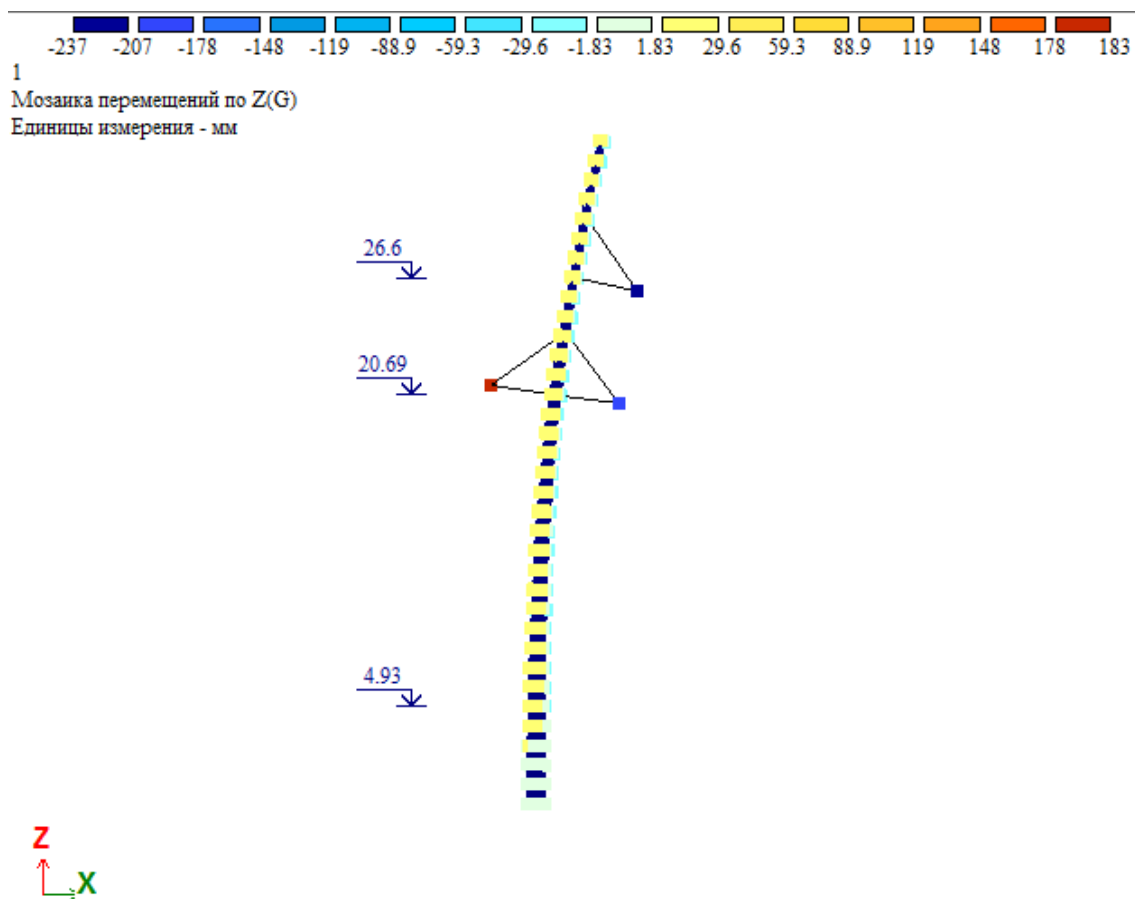


Рис. 3.13. Перемещение опоры по оси Z

Рассмотрим также эпюры усилий в опорных траверсах.

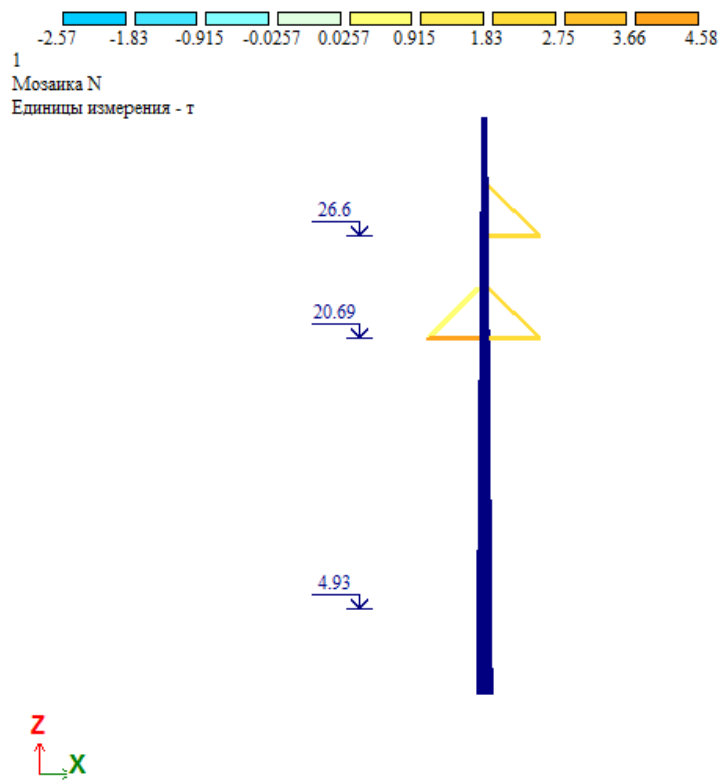


Рис. 3.14. Мозаика усилий в опорных траверсах

Исходя из полученных данных, можно увидеть, что максимальное отклонение опоры от ее вертикальной оси составляет 1,26 м. Благодаря эластичности (гибкости) стойки выдерживают большие ветровые и гололедные нагрузки. Высокая эластичность композитных конструкций позволяет избежать остаточной деформации.

Чтобы убедиться в том, что подобные отклонения для композитных опор не являются аварийными, обратимся к результатам исследования опор ПК220-1 компанией «Феникс-88». По результатам испытаний ими были получены следующие максимальные расчетные отклонения вершины одноцепной опоры при максимальных расчетных нагрузках:

- в режиме максимального ветра - 3,77 м;
- в режиме гололедных нагрузок и ветра при гололеде - 4,6 м.

Таким образом, можно сделать вывод, что рассмотренная одноцепная стеклопластиковая опора ПК220-1 работает с запасом прочности при заданных ветровых и гололедных нагрузках, и имеет отклонение от вертикальной оси в 1,26 м при максимально возможном отклонении 4,6 м.

3.6. Расчет железобетонной опоры ПБ-220-1

Далее, для сравнения, рассмотрим опору ВЛ 220 кВ из железобетона и сравним результаты расчетов.

Для того чтобы можно было правильно оценить будущие результаты к железобетонной стойке опоры прикладываются те же нагрузки, что и к стеклопластиковой опоре ПК220-1:

- вертикальная изгибающая сила в плоскости траверса - $G = 60$ кН;
- горизонтальная изгибающая сила в плоскости, перпендикулярной плоскости траверсы - $T = 8$ кН;
- горизонтальная растягивающая сила в плоскости траверсы - $R = 50$ кН;
- горизонтальная сжимающая сила в плоскости траверсы - $C = 50$ кН.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		35

Железобетонную опору берем согласно серии 3.407.1-152 «Унифицированные конструкции промежуточных одностоечных железобетонных опор ВЛ 35 - 220 кВ».

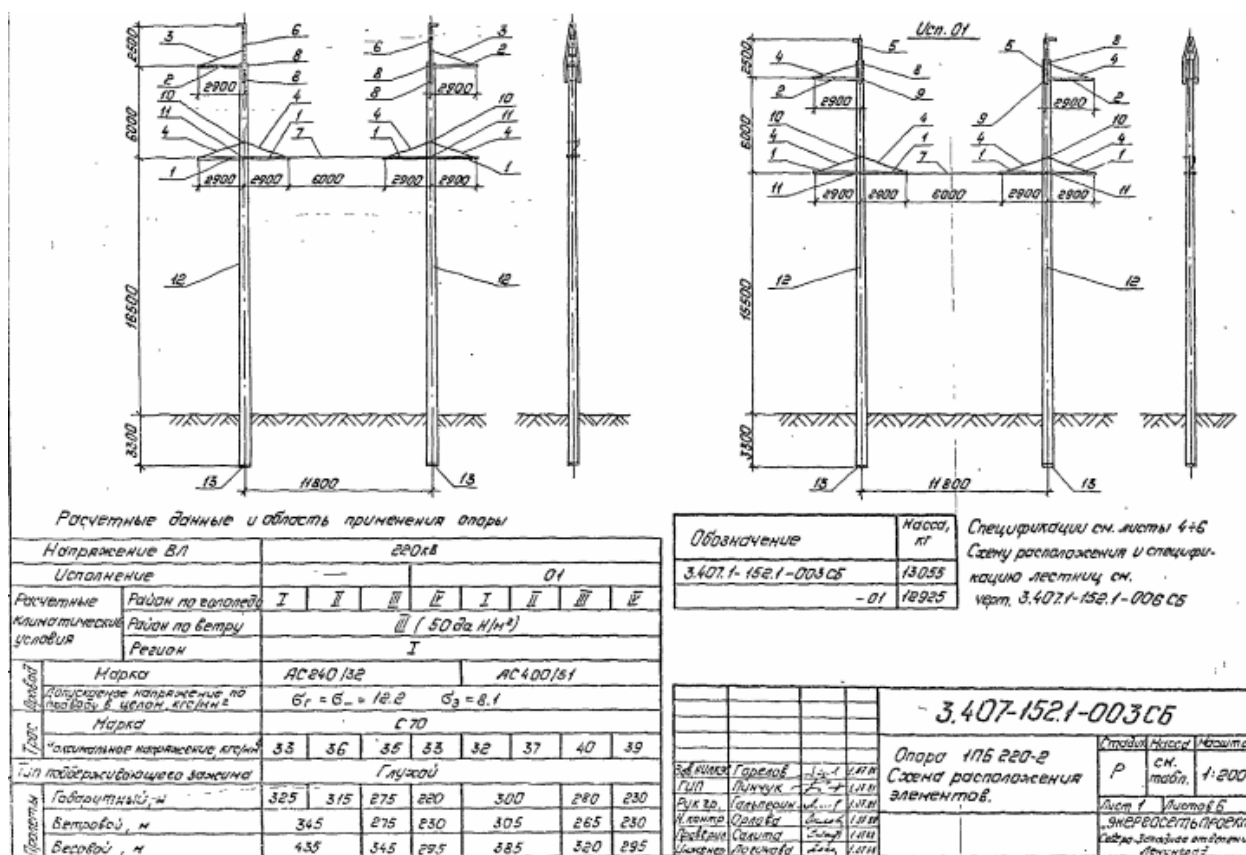


Рис. 3.15. Схема элементов железобетонной опоры ЛЭП

Создаем модель опоры ПБ220-1 аналогично предыдущей. В диалоговом окне ЛИРА САПР выбираем 5 признак схемы и, с помощью команды поверхности вращения, создаем опору ЛЭП. Высота опоры 26 м. Нижний диаметр опоры 650 мм, верхний - 440 мм.

Далее необходимо создать траверсы, к которым в последствии будут приложены нагрузки от проводов. Задаем их стержневыми конечными элементами, на соответствующей высоте, данной в исходных материалах. Нижние траверсы находятся на высоте 16 м. от земли, верхняя траверса на расстоянии 21,5 м. от поверхности земли.

Толщина железобетонной опоры ЛЭП составляет 15 см, что в 5 раз больше толщины композитной опоры ЛЭП.

<input type="checkbox"/> Учет ортотропии	E2	0			
E	2.5e+006	т/м ²			
V	0.35	G	0		
H	15	см	Po	2	т/м ³

Рис. 3.16. Жесткость опоры ПБ220-1

Рассчитав данную опору имеем следующие результаты:

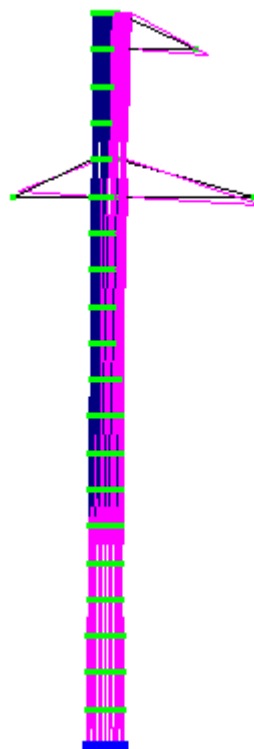


Рис. 3.17. Деформированная схема опоры

Также как и в предыдущем расчете выбираем наиболее неблагоприятное сочетание нагрузок и получаем максимальные перемещения конца опоры от ее вертикальной оси. Перемещения показаны на Рис. 3.18 - Рис. 3.20.

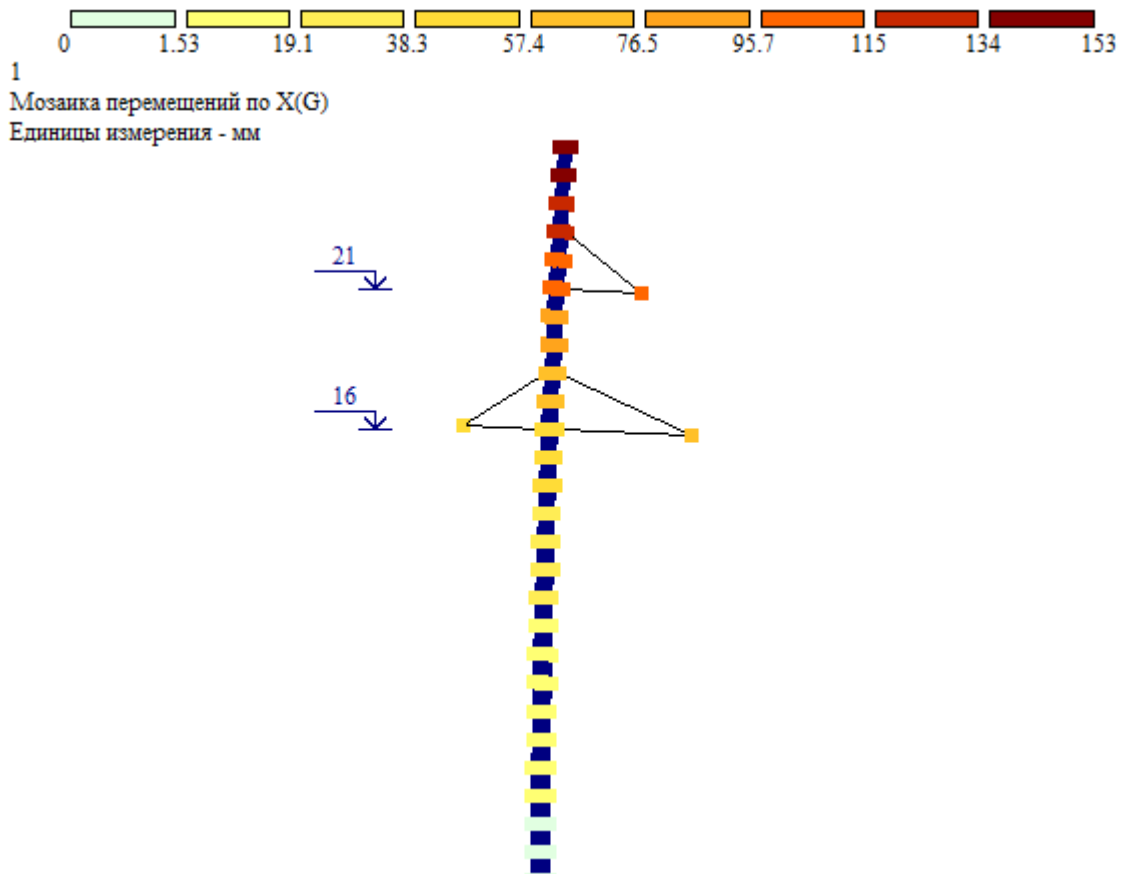


Рис. 3.18. Перемещение по оси X

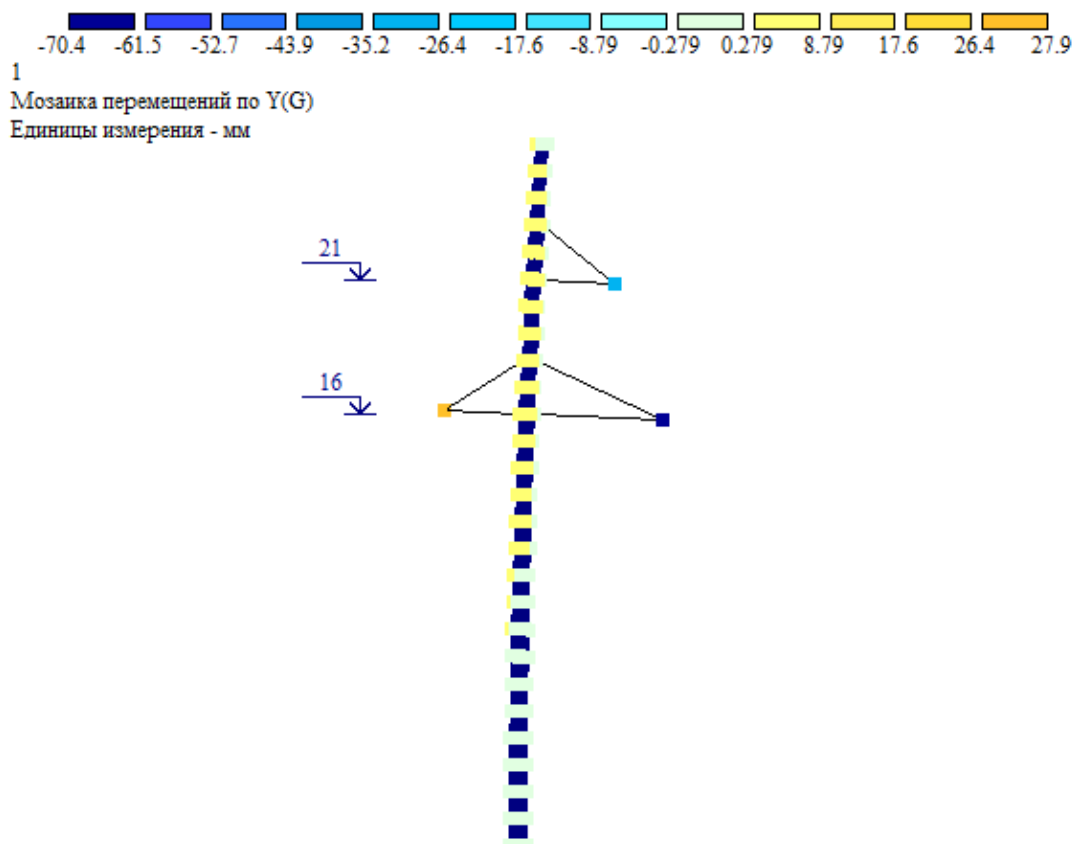


Рис. 3.19. Перемещение по оси Y

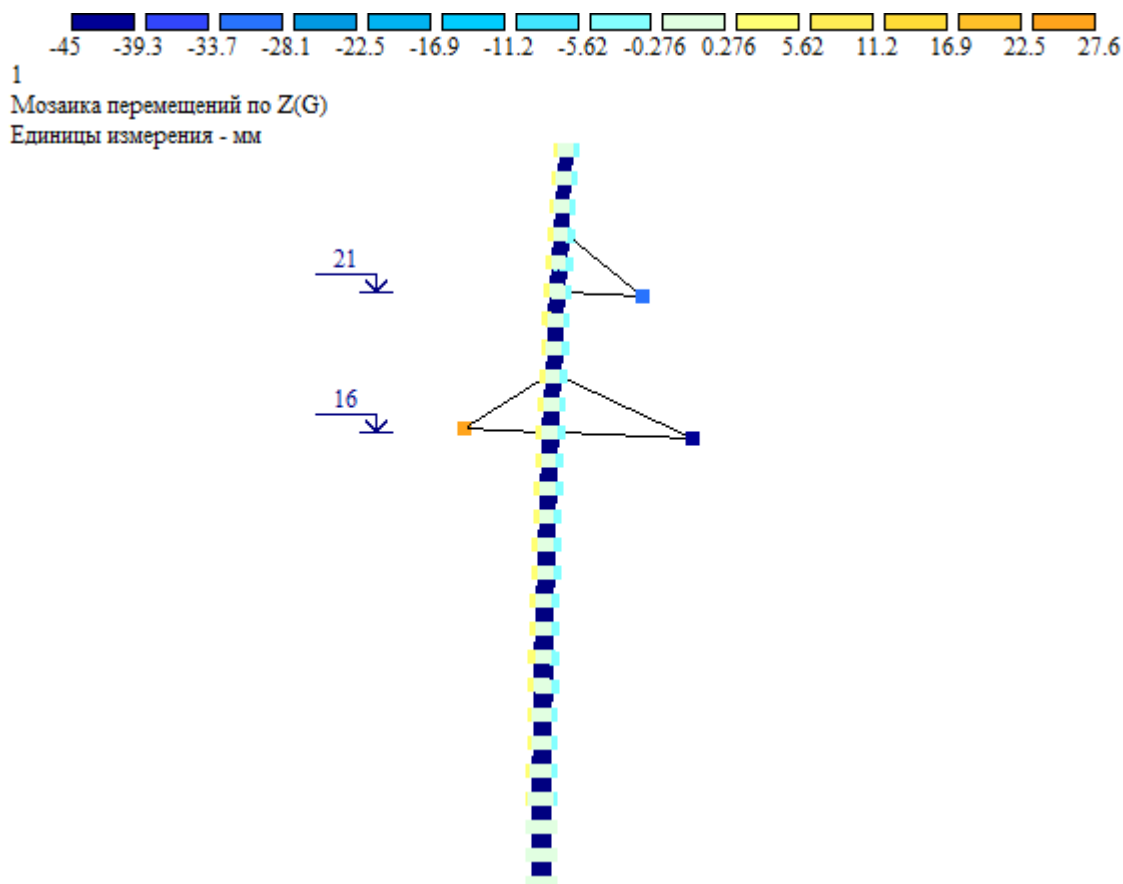


Рис. 3.20. Перемещение по оси Z

Сравниваем полученные отклонения с допускаемыми отклонениями положения опор и их элементов.

Согласно правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей отклонение опоры от вертикальной оси не должно превышать 1:150 высоты опоры. А отклонение оси траверсы от горизонтали может составлять L:100, где L - это длина траверсы.

Максимальное отклонение верха опоры от вертикальной оси составило 153 мм, что меньше 173,3 мм (1:150 длины опоры). Следовательно у опоры еще есть запас прочности и данный прогиб не повлечет за собой аварийной ситуации.

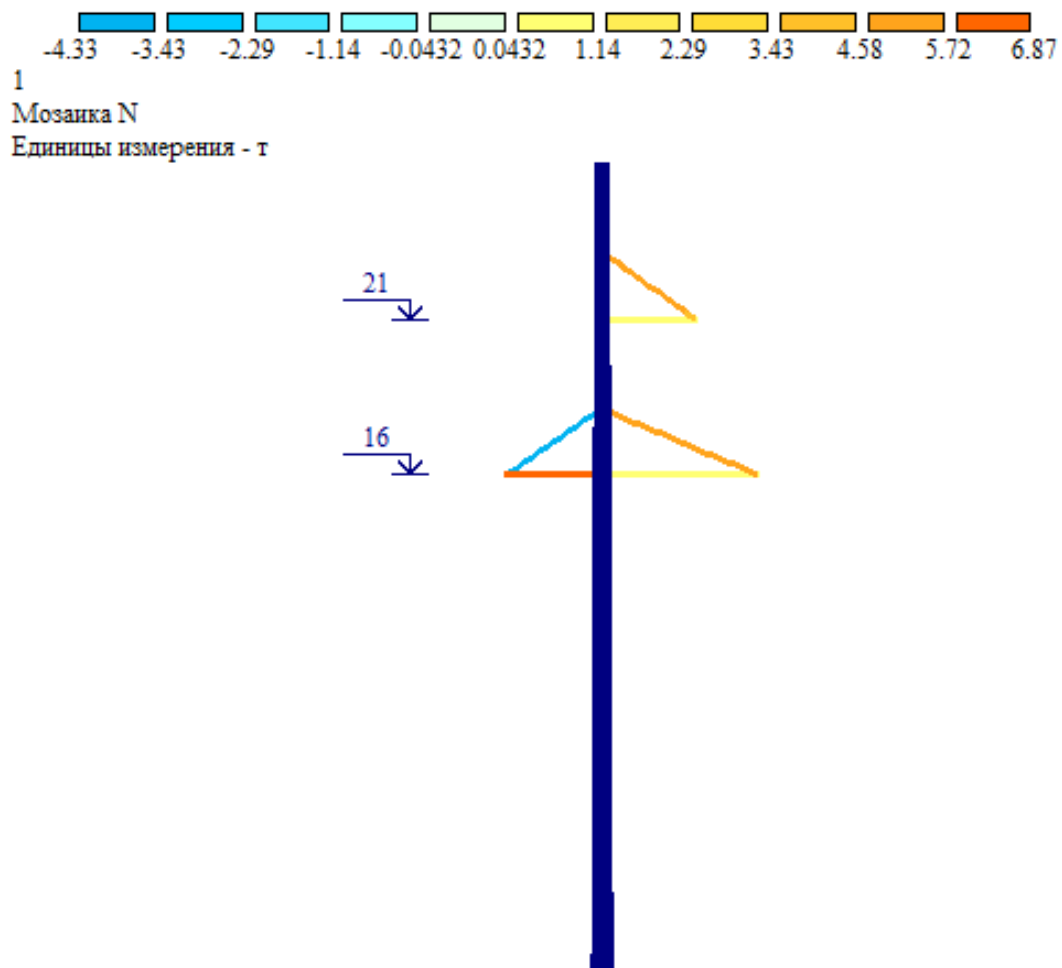


Рис. 3.21 Мозаика усилий в траверсах

3.7. Сравнение характеристик композитной и железобетонной опор

И так, одним из основных преимуществ композитной опоры перед железобетонной это расход материала на изготовление опоры. Толщина стеклопластиковой ЛЭП составляет 3 см, в то время как толщина железобетонной ЛЭП - 15 см, что в 5 раз больше, чем у композитной опоры.

Из этого вытекает следующее неоспоримое преимущество опор из стекловолокна, они гораздо легче железобетонных опор. Вес опоры ПК220-1 составляет 2,38 т при высоте 33,5 м, а вес опоры ПБ220-1 - 6,3 т при высоте 26 м. В таблице 3.2 для примера сравниваются еще 4 типа опор.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		40

Таблица 3.2

Композитные опоры		Железобетонные опоры	
Высота опор, мм	Вес, кг	Высота опор, мм	Вес, кг
8000	45	9500	800
9000	66	10500	1100
11000	92	11000	1200
12000	110	16400	3620

В таблице 3.3 приведен сравнительный анализ физико-механических свойств двух рассматриваемых материалов: стекловолокна и железобетона.

Таблица 3.3

Физико-механические свойства	Стеклопластик	Железобетон
Плотность, т/м ³	1,6 - 2,0	2,5
Разрушающее напряжение при растяжении, МН/м ²	410 - 1180	В 10 раз меньше, чем при растяжении
Предел прочности при изгибе, МН/м ²	690 - 1240	5,2
Модуль упругости при растяжении, ГПа	21 - 41	0,07
Коэффициент линейного расширения, 10 ⁻⁶ °С ⁻¹	5 - 14	12 - 15
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	0,3 - 0,35	1,5 - 2
Удельное объёмное электрическое сопротивление, Ом*м	1,0*10 ¹⁰	Токопроводящая арматура

Механические свойства стеклопластика определяются в основном характеристиками наполнителя и прочностью его связи со связующим материалом. Наибольшей прочностью и жесткостью обладают стеклопластики, содержащие ориентировано расположенные непрерывные волокна. Подобные стеклопластики подразделяются на однонаправленные и перекрестные. В первом случае волокна располагаются параллельно, а во втором – под углом друг к другу, который поддерживают постоянным или изменяют в различных частях изделия, управляя механическими и другими характеристиками конструкции.

Еще одним преимуществом композитных опор является простота монтажа, так как для их сборки и установки не требуется применение сложных монтажных инструментов и тяжелой техники, что ведет к удешевлению стоимости транспортировки и работ по монтажу.

Также в процессе эксплуатации композитным опорам не требуется техническое обслуживание, потому что они не подвержены коррозии (не содержат стальных элементов) и гниению, поэтому не требуется восстановление лакокрасочного покрытия опор и их гидроизоляции. Стеклопластиковые опоры имеют высокую прочность и долговечность. Например, западные производители дают гарантию 40 лет на появление производственных дефектов, а расчетный срок службы подобной опоры составляет 100 лет.

В современном мире очень важно следить за воздействием материалов для строительства на окружающую среду. Так например, композитные опоры имеют высокую огнестойкость и экологичность. С утилизацией опор из стекловолокна меньше проблем, по сравнению с деревянными опорами, так как деревянные опоры пропитывают различными химическими составами для продления их срока службы. В качестве примера можно привести пропитку деревянных опор креозотом. Данное вещество неблагоприятно

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	АС-259.08.04.01.2019				

влияет на нервную систему человека и усиливает чувствительность кожи к свету, что может привести к серьезным ожогам кожного покрова.

Отмечается, что композитные опоры являются более ударобезопасными по сравнению с железобетонными и металлическими аналогами, и при ДТП не наносят серьезных повреждений автотранспорту и травм участникам движения.

В таблице 3.4 приведено сравнение стоимости опор в российских рублях, с учетом коэффициента индексации на 2019 год.

Таблица 3.4

Композитные опоры		Железобетонные опоры	
Высота опор, мм	Стоимость, руб	Высота опор, мм	Стоимость, руб
8000	38190	9500	11457
9000	42210	10500	12663
11000	50250	11000	14070
12000	59295	16400	42813

Расчет среднего показателя себестоимости различных типов опор к их номинальному сроку эксплуатации производится по формуле:

$$P = Z/C, \quad (1)$$

где Z - среднегодовые зарплаты;

C - срок эксплуатации

Таблица 3.5

	Композитные опоры	Железобетонные опоры
Ц	50250	14070
С	100	60
Р	502,5	234,5

В таблице 3.5 рассмотрена стоимость использования опор высотой 11 м за номинальный срок эксплуатации.

Анализируя полученные данные и учитывая преимущества и недостатки стеклопластиковых опор, следует отметить, что целесообразнее использовать их в труднодоступной местности, где могут возникнуть трудности с применением тяжелой техники. В подобных случаях экономическая выгода особенно очевидна. Также эксплуатация подобных опор является оптимальным вариантом для районов со сложной климатической обстановкой: резкие перепады температур, сильные ветра.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		44

4. Анализ анкерной стеклопластиковой опоры ЛЭП при изменении ее поперечного сечения.

Рассмотрим анкерную угловую опору, созданную компанией «Феникс-88» Рис. 4.1.



Рис. 4.1. Композитные опоры

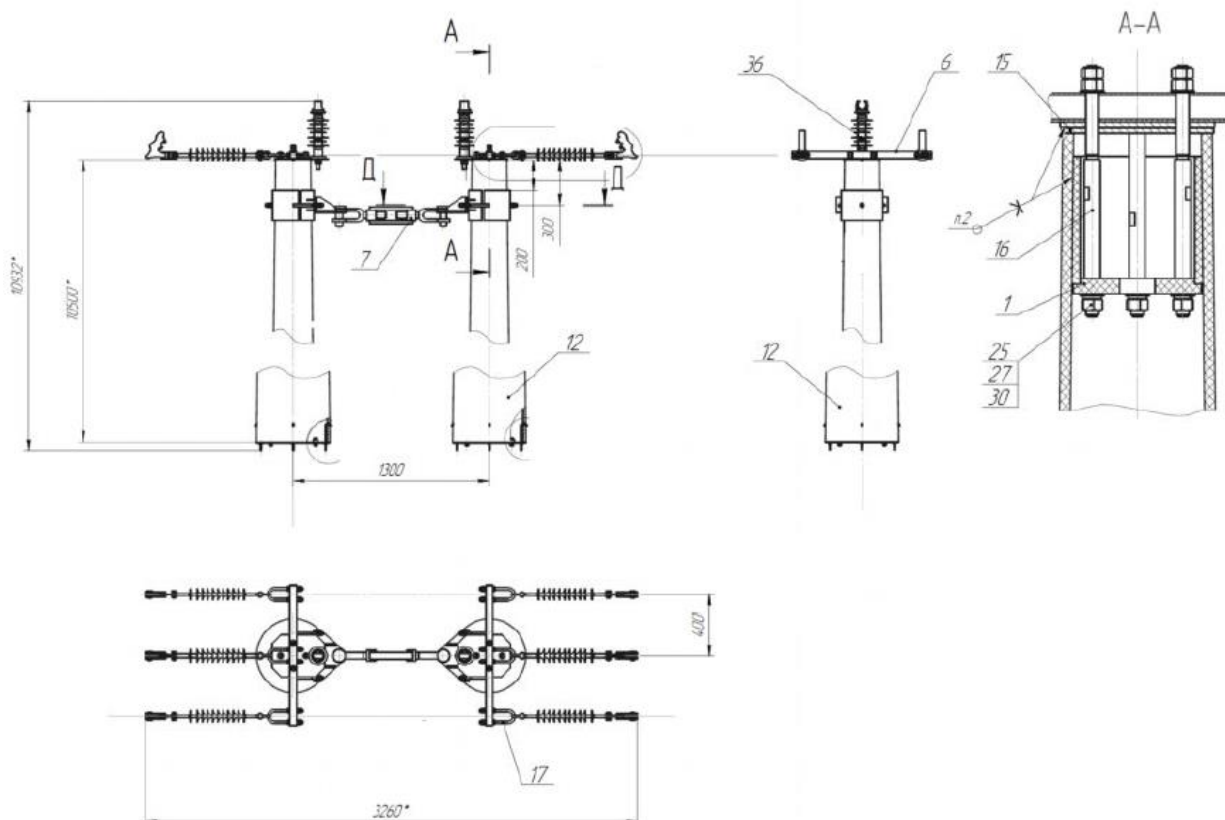


Рис. 4.2. Чертеж анкерной композитной опоры 20кВ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

АС-259.08.04.01.2019

Лист

45

Стойки опор из композитных материалов производятся в виде усеченного конуса, как и в большинстве современных разработок опор и поддерживающих конструкций. Максимальная длина стойки 11,5 м удобна для транспортировки обычными автофурами или железнодорожными вагонами. Стальные траверсы спроектированы и изготавливаются из стандартного металлопроката, применяются стальные уголки и трубы с квадратным сечением в зависимости от исполнения опоры.

Крепления стальных траверс к телу опоры осуществляется двумя способами: верхние траверсы размещаются на торце стойки и крепятся к оголовнику, который в свою очередь фиксируется «в распор» внутри стойки, промежуточные траверсы фиксируются на теле опор при помощи охватывающих стальных хомутов. Могут применяться композитные траверсы, представляющие собой полимерные высокопрочные трубы с установленными изоляторами для крепления проводов. Данные траверсы устанавливаются в подготовленные технологические отверстия стоек опор и фиксируются к опоре шпильками.

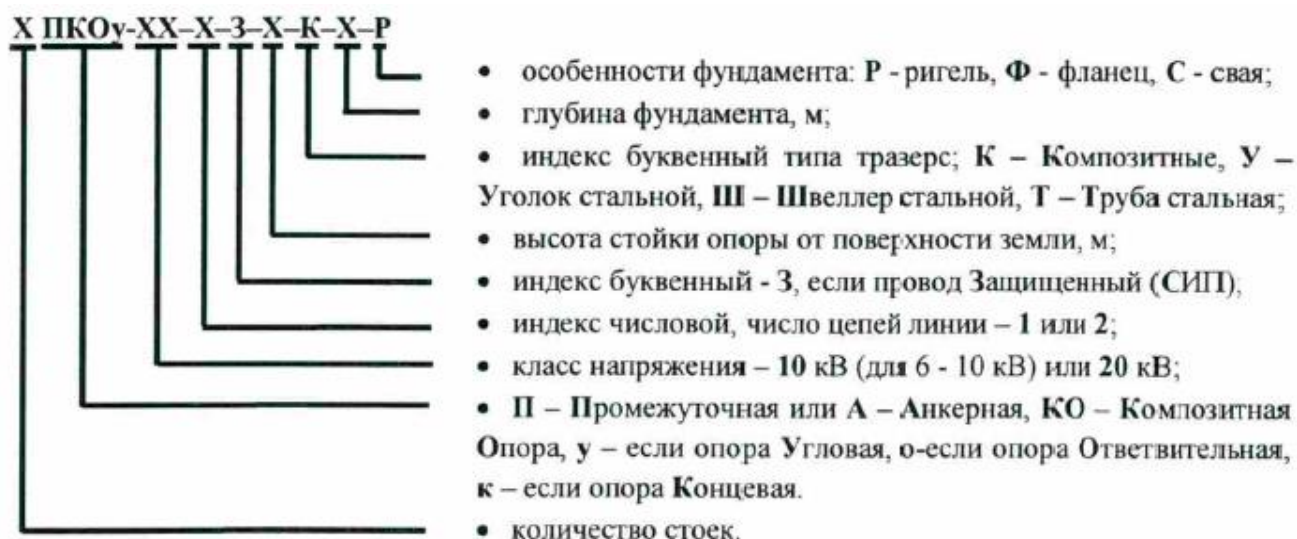


Рис. 4.3. Расшифровка условного обозначения типа композитной опоры

На Рис. 4.3 представлена расшифровка условного обозначения анкерной опоры 20 кВ.

								Лист
								46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	АС-259.08.04.01.2019			

В данной работе рассматривается опора 2АКО-20-1-3-11,5-2.

2АКО-20-1-3-11,5-2 - Анкерная Композитная Опора из двух стоек, класс напряжения 20 кВ, исполнение для одноцепной линии, высота стойки от поверхности земли - 11,5 м, глубина заложения фундамента - 2 метра.

Расчет опоры производится аналогично предыдущему, с учетом нормативной документации и правил устройства электроустановок (ПУЭ).

4.1. Создание модели анкерной опоры и ее расчет

Согласно исходным данным, создаем модель анкерной одноцепной опоры ВЛ 20 кВ в ПК «ЛИРА САПР». Аналогично предыдущим примерам, с помощью команды поверхности вращения моделируем две стойки анкерной опоры 20 кВ, высотой 11,5 метров. Далее необходимо связать две опоры в одну конструкцию с помощью раскосов. Раскосами являются элементы опоры, служащие для усиления ее конструкции и соединения нескольких элементов опоры между собой.

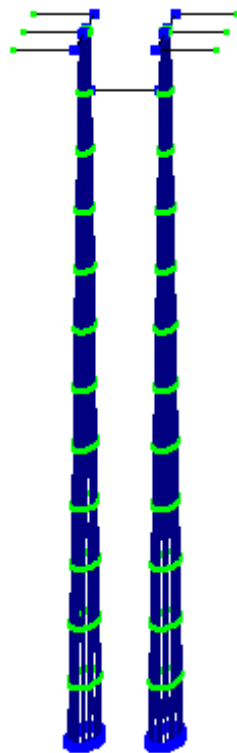


Рис. 4.4. Модель анкерной опоры 2АКО-20-1-3-11,5-2

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		47

Затем прикладываем к опоре и траверсам нагрузки от проводов, ветровые и гололедные нагрузки, собственный вес конструкции.

Ветровая нагрузка будет отличаться от той, что была приведена при расчёте ПК220-1, так как высота стоек различна.

Ветровую нагрузку считаем согласно п.11.1 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c$$

где w_0 - нормативное значение ветрового давления;

$k(z_e)$ - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z ;

c - аэродинамический коэффициент.

Для башенных сооружений, мачт, труб, решетчатых конструкций и т.п. сооружений $z_e = z$.

Принимаем, что опора находится во втором ветровом районе, следовательно $w_0 = 0,3 \text{ кПа} = 0,03 \text{ т/м}^2$.

Для башенных сооружений, мачт, труб, решетчатых конструкций и т.п. сооружений $z_e = z$. СП 20.13330.2016.

Высота опоры $z = 11,5 \text{ м}$

Находим по интерполяции $k(z_e = 11,5) = 0,68$

Напор: $\gamma_f w_m = 0,03 \text{ т/м}^2 * 0,68 * 0,8 * 0,9 = 0,014 \text{ т/м}^2$

Отсос: $\gamma_f w_m = 0,03 \text{ т/м}^2 * 0,68 * 0,5 * 0,9 = 0,009 \text{ т/м}^2$

После того как создана модель, заданы жесткости всем элементам и назначена нагрузка, загружаем задачу на расчет. Результаты расчета приведены на Рис. 4.5 - Рис. 4.7.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		48

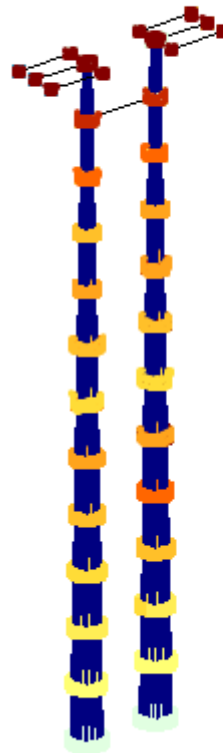
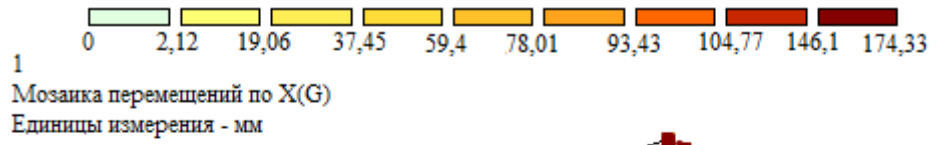


Рис. 4.5. Перемещение по оси X

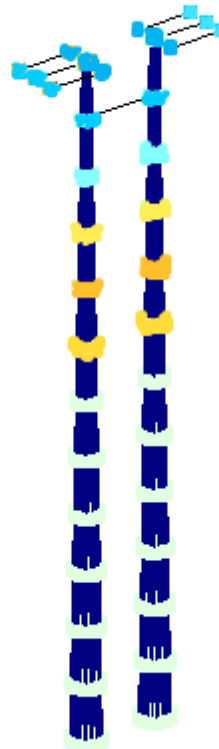
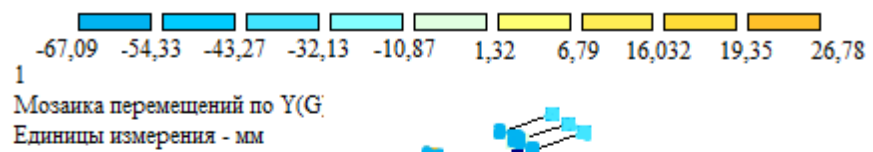


Рис. 4.6. Перемещение по оси Y

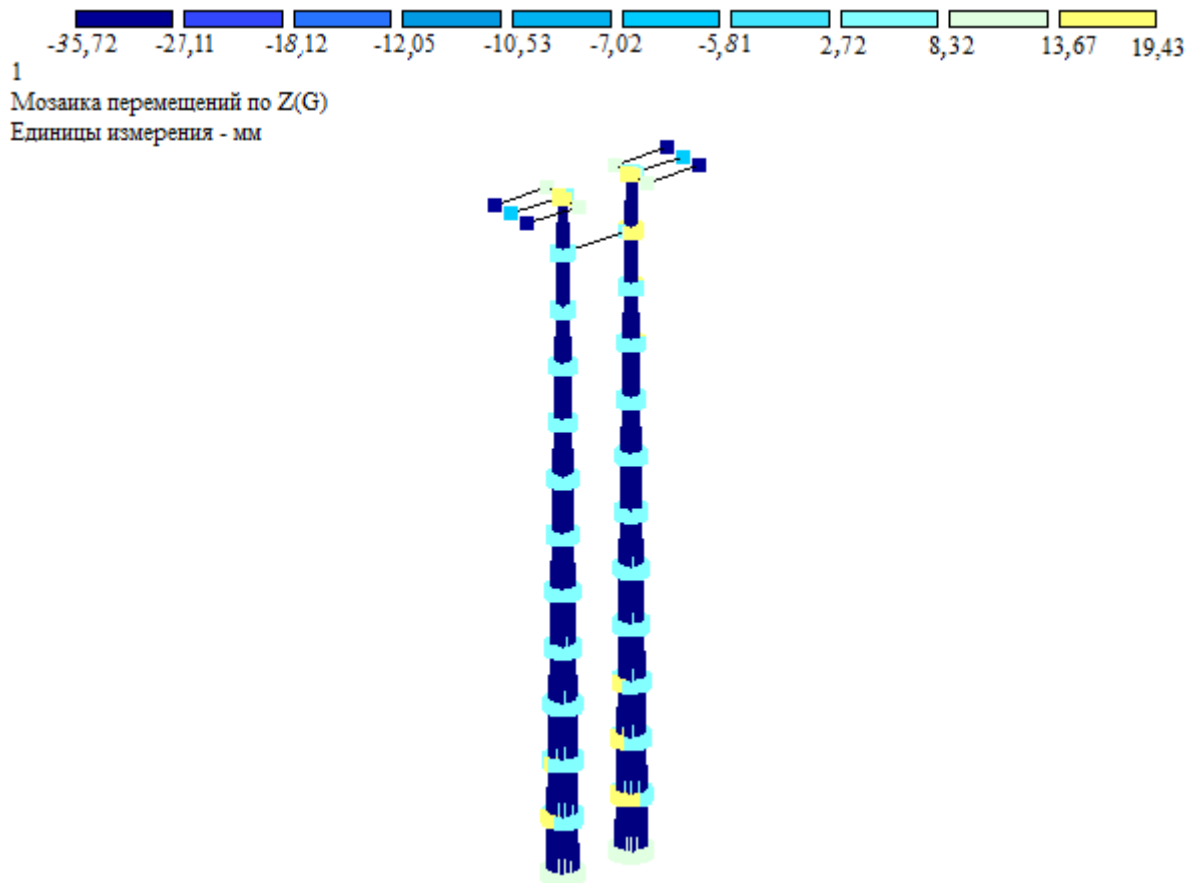


Рис. 4.7. Перемещение по оси Z

Максимальное отклонение верха опоры от ее вертикальной оси происходит в направлении оси X и составляет 174,33 мм. Обращаясь к результатам, полученным компанией «Феникс-88», можно сравнить, полученное значение перемещения. Согласно указаниям по применению, относительное нормируемое отклонение верха опоры от вертикальной оси, при высоте стойки 11,5 м от уровня земли, составляет 180 мм. Полученное значение отклонения равное 174,33 мм меньше, чем допустимое отклонение в 180 мм, следовательно анкерная опора работает нормально и имеет запас прочности.

Далее мы предполагаем, что поперечное сечение опоры изменилось. Создадим модель анкерной опоры с одной стойкой овальной формы и проанализируем результаты расчета, сравнив перемещения с уже рассчитанными.

4.2. Анкерная опора овального сечения

В ПК «ЛИРА САПР» меняем поперечное сечение анкерной опоры, и вместо двух стоек получаем одну стойку овального поперечного сечения.

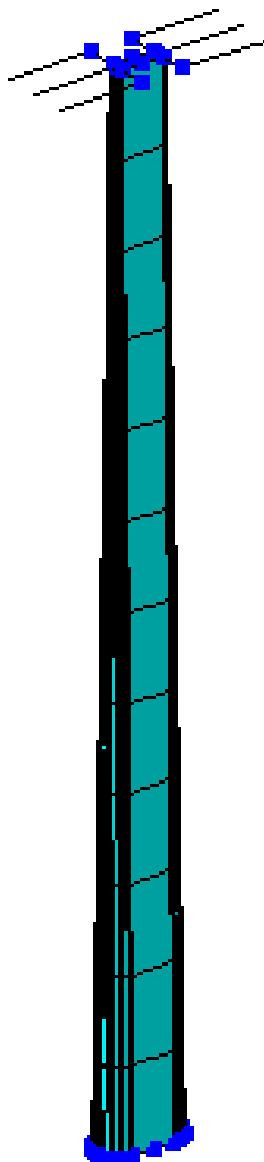


Рис. 4.8. Новая форма анкерной опоры

Нагрузки на опору и траверсы от собственного веса конструкции, ветровых и гололедных воздействий оставляем без изменений.

После расчета задачи получились следующие результаты перемещений:

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		51

1
 Мозаика перемещений по X(G)
 Единицы измерения - мм

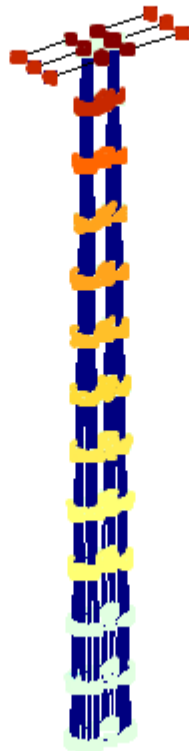
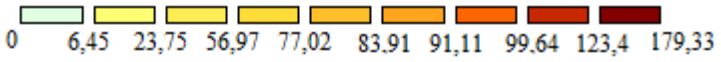


Рис.4.9. Перемещение по оси X

1
 Мозаика перемещений по Y(G)
 Единицы измерения - мм

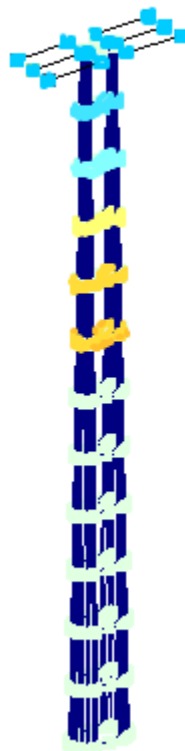
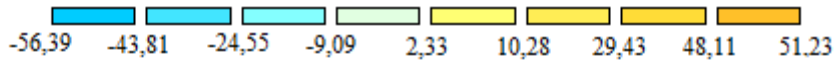


Рис. 4.10. Перемещение по оси Y

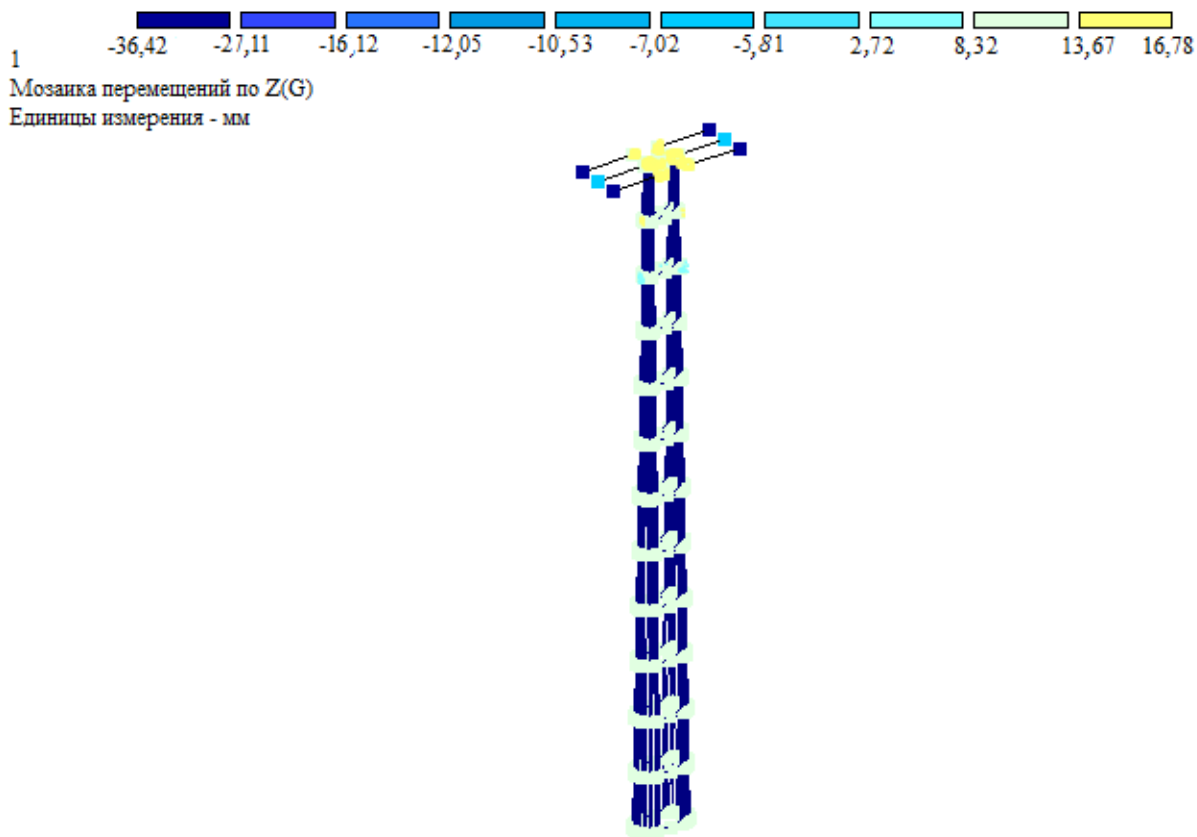


Рис. 4.11. Перемещение по оси Z

Как можно увидеть по результатам расчетов, перемещения по осям X и Y увеличились, а по оси Z остались почти без изменений.

Подобные результаты скорее всего связаны с тем, что нагрузки действуют на одну стойку, в то время как в первоначальном варианте две стойки опоры были соединены раскосом, благодаря которому нагрузки распределялись между стойками опоры.

Также подобное изменение формы влечет за собой увеличение стоимости опоры, в связи с тем, что на создание овальной стойки опоры необходимо затратить больше материала.

Помимо этого процесс производства тоже усложняется, так как создание подобной формы требует конструирования новых линий производства. Изготовление опор осуществляется на станках с программным управлением, с использованием высококачественных отечественных и импортных материалов, что обеспечивает стабильное качество выпускаемой продукции и надежность. А в связи с изменением формы, необходимо

перепрограммировать оборудование, что приводит к дополнительным денежным затратам.

Таким образом, можно сделать вывод, что производство и внедрение анкерных опор овальной формы не выгодно. Потому что существенной разницы между перемещениями опор, состоящих из двух стоек круглой формы и одной опоры овальной формы, нет. В то время как стоимость таких опор будет значительно выше, из-за утяжеления производства и транспортировки.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		54

Заключение

Целью настоящей работы являлось исследование напряженно-деформированного состояния опор из композитных материалов. Для рассмотрения этого вопроса был проведен ряд расчетов и построение компьютерных моделей с их дальнейшим исследованием и анализом.

В качестве примера были рассчитаны несколько различных типов композитных опор.

Первая часть работы включает в себя расчет и сравнение характеристик композитной опоры ПК220-1 и железобетонной опоры ПБ220-1. Полученные результаты говорят в пользу использования стеклопластиковых опор, несмотря на их высокую стоимость по сравнению с железобетонными, так как они не требуют дальнейшего обслуживания и их срок службы в 2 раза дольше, чем у железобетонных опор.

Во второй части, были проведены исследование анкерной композитной опоры ВЛ 20 кВ, с заменой ее поперечного сечения с двух стоек, связанных раскосом на стойку овальной формы. Расчеты показали, что производство овальных опор не целесообразно в связи с тем, что несущая способность не изменяется, а затраты на производство значительно увеличиваются.

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		55

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. Утверждены Приказом № 204 Минэнерго РФ от 08.07.2002.
2. Короткевич М.А., Млынчик М.И. Определение прогибов железобетонных стоек опор воздушных линий электропередачи // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2011. № 5. С. 11- 16. <http://extremal-mechanics.org/wp-content/uploads/2017/03/LEP.pdf>
3. Реут М.А., Рокотян С.С. и др. Справочник по проектированию линий электропередачи. М., «Энергия». 1980. 296 с.
4. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. М., «Высшая школа». 1986.
5. Фесик С.П. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: «Будівельник». 1982.
6. ЗАО «Феникс-88». Каталог продукции — композитные опоры ЛЭП // http://www.fenix88.nsk.su/files/kom_opor/opori_lep2014.pd
7. Руководство по проектированию многогранных опор и фундаментов к ним для ВЛ напряжением 110-500 кВ. СТО 56947007-29.240.55.054-2010. Стандарт ОАО «ФСК ЕЭС». 2010.
8. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Минстрой России, 2016. – 80 с.
9. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М.: Минстрой России, 2012.
10. Sarmeno M., Lacoursiere B. A State of the Art Overview Composite Utility Poles for Distribution and Transmission Applications // Transmission and Distribution Conference and Expositions: Latin America. Venezuel., 2006. P. 1-4.

									Лист
									56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	АС-259.08.04.01.2019				

11. Особенности монтажа композитных опор ВЛ [Электронный ресурс]: Монтаж и эксплуатация электрических сетей. URL: <https://elektromontagnik.ru/?address=labs/lab7/&page=page2> (дата обращения 09.04.2019)

12. ГОСТ 839-80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия.

13. Бочаров Ю. Н., Жук В.В. К вопросу о композитных опорах воздушных линий // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. Вып. 4-1/2012(8). С. 78 – 85.

14. Бочаров Ю. Н., Жук В.В. Общие вопросы грозозащиты и изоляции ВЛ высокого напряжения с композитными опорами// Воздушные линии. 2012. №4 (9). С 85 – 90.

15. Бочаров Ю. Н., Жук В.В. Композитные опоры. Перспективы применения для ВЛ 110-750 кВ// Новости электротехники. 2012. №1 (73). С. 22-25.

16. Бочаров Ю. Н., Жук В.В., Пыльнева А. И. Компактные композитные опоры с изолирующими стойками для высоковольтных воздушных линий// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 4(207)'2014.

17. Шевченко С. М. Анализ диэлектрических и изолирующих характеристик стеклопластиковых модулей RStandart// Воздушные линии. 2012. №4 (9) С. 46-50

18. Колтарп С., Вайд Т. Стоя в полный рост наперекор погоде. Суровая погода подтверждает решение сетевой компании установить стеклопластиковые опоры// Воздушные линии. 2010. № 1. С. 60-64.

19. Дубина А. А. Новые конструкции полимерных стоек для опор ВЛ в РФ и Украине// Воздушные линии. 2011. № 3 (4). С. 27-31.

20. Техника высоких напряжений: учебник для вузов / И. М. Богатенков, Ю. Н. Бочаров, Н. И. Гумерова, Г. М. Иманов и др.; под

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		57

редакцией Г. С. Кучинского. Спб.; Энергоатомиздат, СанктПетербургское отделение, 2003.

21. Железобетонные опоры ЛЭП 220 кВ [Электронный ресурс]: URL: http://tsakir.ru/opory_lep_zhb_220 (дата обращения 05.03.2019).

22. Копозиты [Электронный ресурс]: Решения по замене изделий из традиционных материалов на композитные. URL: <http://www.mssgroup.ru/izdeliya/kompozitnye-opory> (дата обращения 09.04.2019).

23. Воздушные линии электропередач кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://pue8.ru/transport-elektroenergii/48-vozdushnye-linii-elektroperedachi.html> (дата обращения 09.04.2019).

24. Сравнение технических характеристик различных типов опор [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/sravnenie-tehnicheskikh-harakteristik-razlichnyh-tipov-opor-linij-elektroperedach> (дата обращения 23.05.2019).

25. К вопросу о композитных опорах [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/k-voprosu-o-kompozitnyh-oporah-vozdushnyh-linij> (дата обращения 23.05.2019).

					АС-259.08.04.01.2019	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		58