

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(Национальный исследовательский университет)»
Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

руководитель проекта
Н.Б. Даньшин
_____ 2018г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н.,
доцент

Г.А. Пикус
06 2018г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
магистра по направлению «Строительство»

Тема: «Динамический расчет участка ЛЭП в Симферопольском районе Республики Крым»
ЮУрГУ-08.04.01.2018.151 ПЗ ВКР

Руководитель работы
К.т.н., доцент
_____ Е.М. Уфимцев
19 2018г.

Автор работы
Студент группы АС-278
_____ К.В. Рябухина
26 июня 2018г.

Антиплагиат 70.16%
К.т.н., доцент
_____ Е.М. Уфимцев
26 июня 2018г.

Нормоконтролер
К.т.н., доцент
_____ Е.М. Уфимцев
26 июня 2018г.

АННОТАЦИЯ

Рябухина К.В. Динамический расчет участка ЛЭП в Симферопольском районе Республики Крым. – Челябинск: ЮУрГУ, АСИ-278; 2018, 61 с., 37 ил., библиогр. список – 32 наим.

В данной выпускной квалификационной работе исследована работа опор ЛЭП с учетом проводов и тросов на действие статических и динамических нагрузок с учетом геометрической нелинейности. На основании полученных результатов было выполнено конструирование элементов опоры ВЛ. Сопоставлены результаты расчета с данными типового проекта.

Взам. инв. №															
Подп. и дата															
	АСИ-278.08.04.01.2018														
Инв. № подл.	Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата									
	Разраб.		Рябухина												
	Зав.каф.		Пикус												
	Науч.рук.		Уфимцев												
	Н.контр.		Уфимцев												
Динамический расчет участка ЛЭП в Симферопольском районе Республики Крым						<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Стадия</td> <td>Лист</td> <td>Листов</td> </tr> <tr> <td>У</td> <td>1</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">ЮУрГУ Кафедра СПТС</td> </tr> </table>	Стадия	Лист	Листов	У	1	62	ЮУрГУ Кафедра СПТС		
Стадия	Лист	Листов													
У	1	62													
ЮУрГУ Кафедра СПТС															

4.3	Конструирование опоры ЛЭП в ПК Лира-САПР.....	57
4.3.1	Конструирование опоры в нормальном режиме работы	57
4.3.2	Конструирование опоры на особое сочетание нагрузок	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК		63
ПРИЛОЖЕНИЕ А. План участка ЛЭП.....		66
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Профиль участка ЛЭП.....		67
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Гирлянды изоляторов.....		68
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Механический расчет провода и троса.....		71

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018				
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВЛ – воздушная линия

ЛЭП – линия электропередачи

ПК – программный комплекс

ПУЭ – правила устройства электроустановок

МКЭ – метод конечных элементов

ВСФ – внутренние силовые факторы

РДМ – расчетная динамическая модель

СП – свод правил

СНиП – строительные нормы и правила

КЭ – конечный элемент

ОКГТ – оптический кабель встроенный в грозотрос

АСК – провод , состоящий из стального сердечника и алюминиевых проволок, стальной сердечник изолирован двумя лентами полиэтилентерефталатной пленкой, покрыт смазкой повышенной нагревостойкости [25]

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018				
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Объект и предмет исследования

Объектом исследования в настоящей работе является участок ЛЭП (4 стальные опоры и провода с тросами, подвешенные между ними), в качестве предмета исследования рассматриваются деформации и ВСФ при статическом и динамическом нагружениях, а также характеристики собственных колебаний конструкций.

Метод исследования

Современный приближённый метод для прочностных расчётов – метод конечных элементов.

Достоверность результатов диссертации подтверждается современными методами исследования и обработки результатов, адекватностью принятых математических моделей, а также апробированных методов динамики систем, реализованных в ПК «ЛИРА-САПР», ANSYS и «САПР-ЛЭП».

Научная новизна

Расчёт конструкций опоры ЛЭП не как отдельного объекта, а входящей в состав участка ЛЭП – совместно с рядом стоящими опорами и примыкающими проводами и тросами.

Практическая значимость

Результаты работы имеют практическую значимость для проектирования более прочных и надёжных конструкций ЛЭП.

Положения, выносимые на защиту

- 1) расчётные модели конструкций участка ЛЭП;
- 2) сравнительный анализ результатов расчета;
- 3) результаты конструирования элементов опоры ЛЭП.

Апробация диссертационного исследования

Основные результаты исследования были представлены на 71-ой студенческой конференции Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск, ЮУрГУ, май 2018 г.).

Личный вклад автора

- 1) создание расчётной модели участка ЛЭП в ПК «Лири-САПР», ANSYS и «САПР-ЛЭП» и выполнение соответствующих расчётов;
- 2) обработка, анализ и оформление полученных результатов расчётов;
- 3) подготовка материалов для участия в конференции.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018				
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, библиографического списка, состоящего из 31 наименований, и представлена на 60-и страницах машинописного текста. В работу включены 36 рисунков и 12 таблиц.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018				
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

1. Обзор состояния вопроса и постановка задачи

1.1. Опоры ЛЭП

Воздушной линией (ВЛ) называется устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным с помощью изоляторов и арматуры к опорам.

Воздушные линии (ВЛ) электропередачи применяются для электроснабжения различных объектов (промышленных, городских, сельскохозяйственных) и выполняются на весь спектр существующих напряжений. В частности, воздушные линии электропередачи широко применяются в системах электроснабжения напряжением 35 кВ и выше для связи объектов электроснабжения с объединенной электроэнергетической системой.

На рисунке 1.1 показан фрагмент ВЛ. Расстояние l между соседними опорами называется *пролетом*. Расстояние по вертикали между прямой линией, соединяющей точки подвеса провода, и нижней точкой его провисания называется *стрелой провеса провода* f_n . Расстояние от нижней точки провисания провода до поверхности земли называется *габаритом воздушной линии* h_2 . В верхней части опор закрепляется грозозащитный трос.

Величина габарита h_2 регламентируется ПУЭ [1] в зависимости от напряжения ВЛ и вида местности (населенная, ненаселенная, труднодоступная).

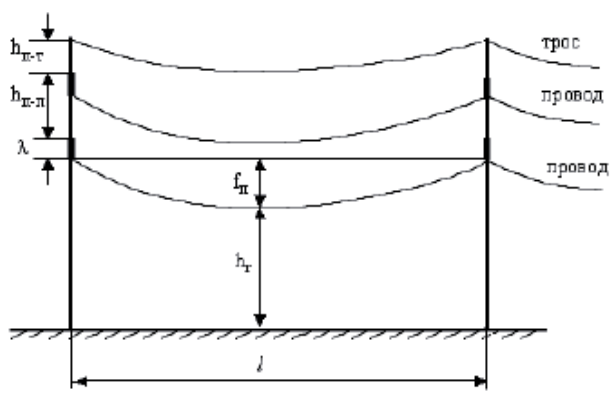


Рисунок 1.1 – Фрагмент воздушной линии электропередачи

Провода ВЛ служат непосредственно для передачи электроэнергии и различаются по конструкции и используемому проводниковому материалу (медные, стальные). Наиболее экономически целесообразным материалом для проводов ВЛ является алюминий и сплавы на его основе.

Провода ВЛ напряжением 35 кВ и выше защищаются от прямого удара молнии грозозащитным тросом, закрепляемым в верхней части опоры (см. рисунок 1.1).

Опора воздушной линии электропередачи (опора ЛЭП) — сооружение для удержания проводов и при наличии - грозозащитных тросов воздушной линии

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
--------------	--------------	--------------

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	-------	------	--------	-------	------

электропередачи и оптоволоконных линий связи на заданном расстоянии от поверхности земли и друг от друга.

В зависимости от способа подвески проводов опоры делятся на две основные группы:

- опоры промежуточные, на которых провода закрепляются в поддерживающих зажимах;
- опоры анкерного типа, служащие для тяжения проводов; на этих опорах провода закрепляются в натяжных зажимах.

Опоры подразделяются на опоры для линий 0.4, 6, 10, 35, 110, 220, 330, 500, 750, 1150 кВ. Отличаются эти группы опор размерами и весом. Чем больше напряжение, тем выше опора, длиннее её траверсы и больше её вес. Увеличение размеров опоры вызвано необходимостью получения нужных расстояний от провода до тела опоры и до земли, соответствующих ПУЭ для различных напряжений линий. [2]

На основании многолетней практики строительства, проектирования и эксплуатации ВЛ определяются наиболее целесообразные и экономичные типы и конструкции опор для соответствующих климатических и географических районов и проводится их унификация.

В настоящее время самые высокие опоры установлены на переходе ЛЭП-220 через морской пролив на архипелаг Чжоушань в Китае, конкретнее — на острове Дамао (см. рисунок 1.2). Высота обеих опор составляет 370 метров, каждая имеет вес 5999 тонн. Воздушный переход, построенный в 2009—2010 годах, имеет длину 2700 метров.



Рисунок 1.2 – опора ЛЭП 220 кВ на острове Дамао, Китай

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

В России высота самой высокой опоры ЛЭП, находящейся в городе Балаково, составляет 197 метров. Тип опоры АТ-178.

В мире построены уникальные и очень редкие опоры воздушных линий электропередачи. Имеются опоры в виде джокера и Микки Мауса. В России к Зимней олимпиаде 2014 года по пути в Красную Поляну были установлены опоры в виде барса и летящего лыжника (см. рисунок 1.3).



а) б)

Рисунок 1.3 – опоры в г. Сочи в виде:
а – барса; б – летящего лыжника

А в 2016 году на территории Пермской ГРЭС в городе Добрянка возвели опоры для ЛЭП в виде огромных футболистов, приуроченные к Чемпионату мира по футболу-2018. Высота каждой опоры — 25 метров (см. рисунок 1.4).

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

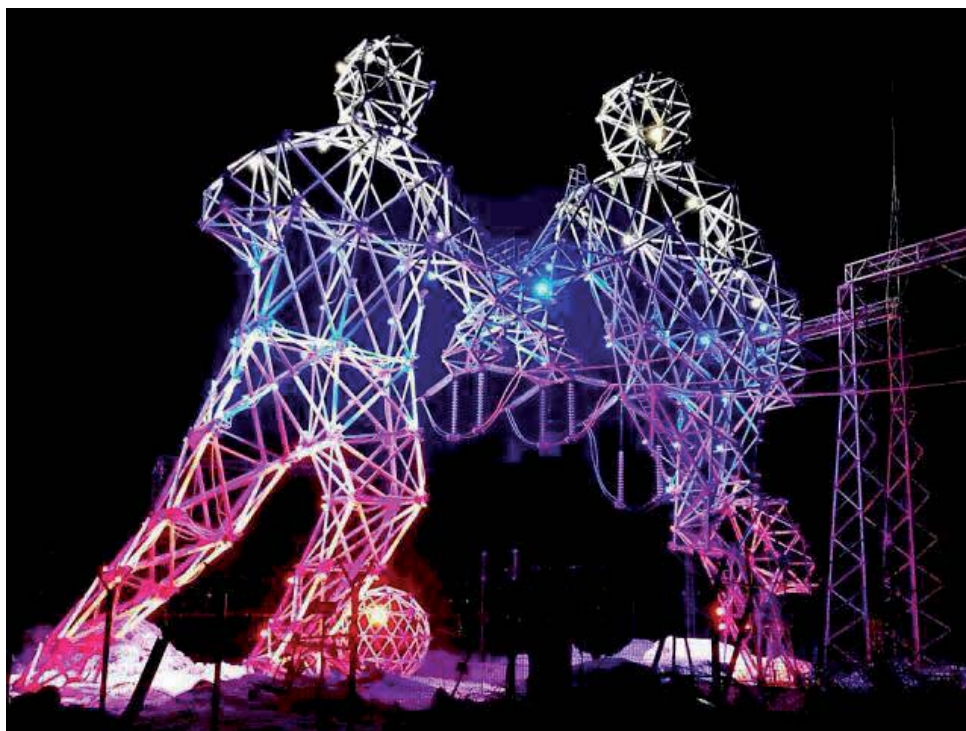


Рисунок 1.4 – опоры ЛЭП в виде футболистов

Конструкция ВЛ, её проектирование и строительство регулируются Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), Строительными нормами и правилами (СНиП) и сводами правил (СП).

ВЛ работает в естественных климатических условиях и подвергается ветровым и гололедным нагрузкам, изменениям температуры окружающего воздуха, воздействию грозы. Все климатические условия фиксируются на метеостанциях.

1.2. Нормативные документы по расчету ЛЭП в РФ

1.2.1. Своды правил (СП)

Свод правил - документ по стандартизации, утвержденный федеральным органом исполнительной власти или Государственной корпорацией по атомной энергии "Росатом" и содержащий правила и общие принципы в отношении процессов в целях обеспечения соблюдения требований технических регламентов. [3]

Своды правил разрабатываются в случае отсутствия национальных стандартов применительно к отдельным требованиям технических регламентов или к объектам технического регулирования в целях обеспечения соблюдения требований технических регламентов к продукции или связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

Своды правил являются составной частью национальной системы стандартизации Российской Федерации. [4]

1.2.2. Правила устройства электроустановок

Настоящая глава Правил распространяется на все системы электроснабжения.

ПУЭ разработаны с учетом обязательности проведения в условиях эксплуатации планово-предупредительных и профилактических испытаний, ремонтов электроустановок и их электрооборудования.

Для обозначения обязательности выполнения требований ПУЭ применяются слова «должен», «следует», «необходимо» и производные от них. Слова «как правило» означают, что данное требование является преобладающим, а отступление от него должно быть обосновано. Слово «допускается» означает, что данное решение применяется в виде исключения как вынужденное (вследствие стесненных условий, ограниченных ресурсов необходимого оборудования, материалов и т.п.). Слово «рекомендуется» означает, что данное решение является одним из лучших, но не обязательным. Слово «может» означает, что данное решение является правомерным.

Принятые в ПУЭ нормируемые значения величин с указанием «не менее» являются наименьшими, а с указанием «не более» — наибольшими. Все значения величин, приведенные в Правилах с предлогами «от» и «до», следует понимать «включительно». [1]

1.3. Классы нелинейных задач и методы их решения

Расчет нелинейных систем является более сложной задачей по сравнению с решением линейных задач, т. к. здесь приходится учитывать деформированное состояние рассматриваемой области, отказаться от принципа независимости действия сил, применять специальные методы поиска и анализа решения. При этих условиях получить аналитическое решение задачи, как правило, не удастся, поэтому расчет выполняется с помощью численных методов, чаще всего МКЭ, используя при этом процедуры последовательных приближений.

При учете физической или геометрической нелинейности получаем систему нелинейных алгебраических уравнений, решение которой осуществляется при помощи шаговых или итерационных методов. Причем среди известных алгоритмов расчета нелинейных систем нет какого-либо одного универсального – эффективность того или иного метода зависит, главным образом, от типа и параметров проявляющейся нелинейности. В связи с этим рассмотрим некоторые из часто применяемых методов, которые подразделяются на две группы: итерационные и шаговые. Таким образом, при учете физической или геометрической нелинейности получаем систему нелинейных алгебраических уравнений, решение которой осуществляется при помощи шаговых или итерационных методов. Причем среди известных алгоритмов расчета нелинейных систем нет какого-либо одного универсального – эффективность того или иного

Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

метода зависит, главным образом, от типа и параметров проявляющейся нелинейности. [5]

В строительной механике нелинейные задачи принято разделять на физически, геометрически и конструктивно нелинейные.

К *физически нелинейным* задачам относят такие, в которых зависимость между напряжениями и деформациями не подчиняется закону Гука. В этом случае материал может вести себя как нелинейно-упругий, когда законы нагрузки и разгрузки совпадают (алюминиевые сплавы), либо как упругопластический с появлением необратимых пластических деформаций (малоуглеродистая сталь). На рисунке 1.5 показаны нелинейные зависимости между напряжением и деформацией основных групп материалов.

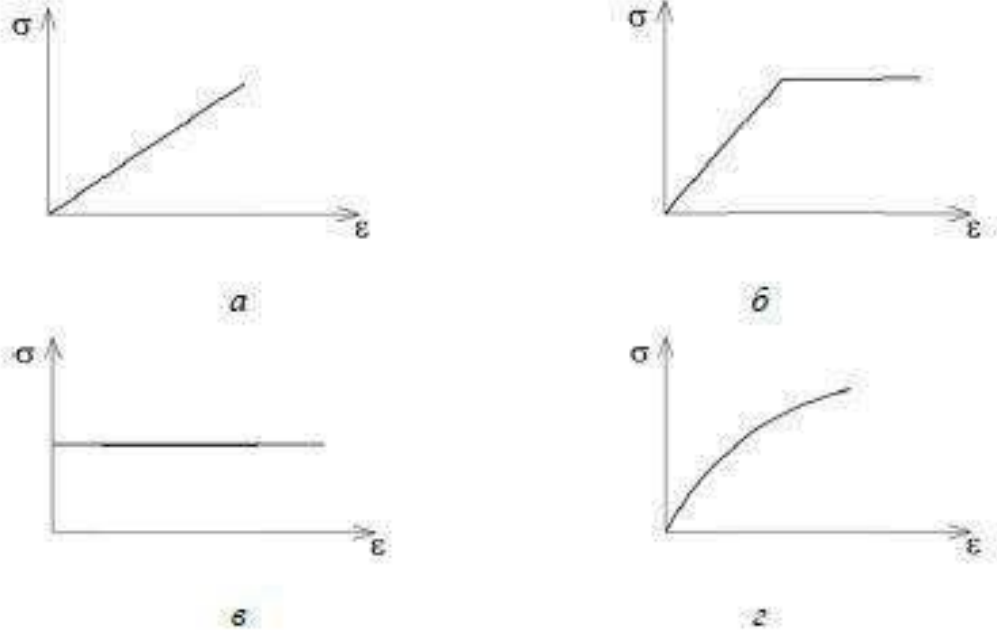


Рисунок 1.5 – Зависимости между напряжением и деформацией для 4-х групп материалов:

а – линейно упругое деформирование; б – идеально упругопластическое; в – жесткопластическое; г – нелинейно-упругое

В *геометрически нелинейных* задачах отсутствует линейная зависимость между деформациями и перемещениями. На практике наибольшее распространение имеет случай больших перемещений при малых деформациях. Решение этих задач производится шаговым методом, причем шаг выбирается автоматически.

В задачах *конструктивной нелинейности* имеет место изменение расчетной схемы по мере деформирования конструкции. Конструктивно нелинейные системы характеризуются изменением расчетной схемы в процессе нагружения, например появлением дополнительных связей (опор). На рисунке 1.6 приведены примеры систем с конструктивной нелинейностью. [5, 6]

Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

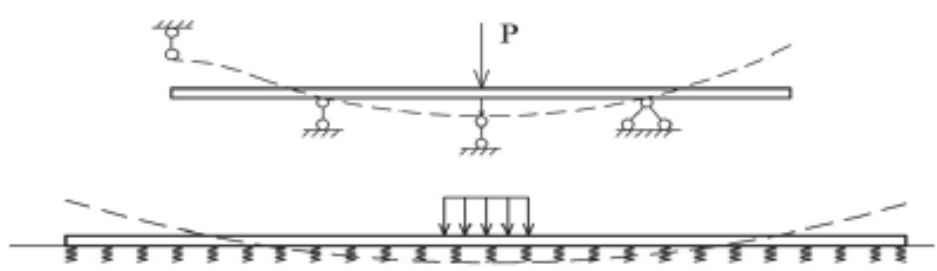


Рисунок 1.6 – системы с конструктивной нелинейностью

Одновременный учет в расчетах всех трех видов нелинейности дает наиболее достоверную информацию о поведении конструкции на любом этапе ее жизненного цикла.

Кроме выше названных выделяют реологическую (примером реологической нелинейности является ползучесть железобетонных конструкций) и генетическую нелинейности (при расчетах учитывается возможное изменение расчетной схемы в процессе деформирования за счет накопления напряжений и деформаций). [7]

Для полного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции следует учитывать все три основных вида нелинейности, что очень усложняет такое решение. Поэтому приходится рассматривать частные случаи общей задачи. По классификации нелинейных задач теории упругости, составленной В. В. Новожиловым, имеется четыре типа этих задач:

- линейные физически и геометрически;
- нелинейные физически, геометрически линейные;
- линейные физически, геометрически нелинейные;
- нелинейные и физически, и геометрически.

Эта классификация может быть расширена с введением в нее понятия конструктивной нелинейности.

Задачи первого типа решали путем интегрирования соответствующих уравнений теории пластичности или нелинейной теории упругости, задачи второго типа решали методом сосредоточенных деформаций. Задачи третьего типа, относящиеся к геометрически нелинейной теории упругости, были поставлены еще Эйлером применительно к тонким упругим стержням, но во второй половине прошлого столетия объектом исследования этой теории стали тонкие гибкие пластинки.

Исследование задач четвертого типа (геометрически и физически нелинейных) очень сложно, поэтому оно начало развиваться только в последние два десятилетия, что отчасти объясняется широким внедрением ЭВМ, существенно облегчившим трудные вычислительные процессы, необходимые при решении таких «дважды нелинейных» задач. Здесь целесообразно использовать метод последовательных нагружений, предложенный В. З. Власовым и под

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

названием «шаговый метод» - В. И. Феодосьевым, развиваемый В. В. Петровым. [30]

Кроме перечисленных методов, существуют другие методы для решения нелинейных задач различных типов:

1. Шаговый метод, как правило, применяется для решения задач физической и геометрической нелинейности.
2. Метод секущих (метод Биргера), как правило, применяется для решения физически нелинейных задач в режиме «инженерная нелинейность».
3. Итерационный метод (упрощенный метод Ньютона) применяется для решения задач конструктивной нелинейности (односторонние связи) и грунтовых массивов. [31]

1.4 Метод конечных элементов (МКЭ)

Одним из наиболее широко применяемых на практике методов прочностного расчета конструкций является метод конечных элементов (МКЭ).

Метод конечных элементов - основной метод современной строительной механики, лежащий в основе подавляющего большинства современных программных комплексов, предназначенных для выполнения расчетов строительных конструкций на ЭВМ. [11]

Возникновение этого метода традиционно связывают с работой М.Тернера, Р.Клужа, Г.Мартина и Л.Топпа, посвященной решению задач космических исследований (1950г.). Хотя существует мнение, что идея МКЭ была разработана в СССР ещё в 1936 году, но из-за неразвитости вычислительной техники метод в то время не получил применения [12].

Математические основы метода были впервые сформулированы Р.Курантом в 1943г., а термин “конечный элемент” впервые был введен Р.Клафом в 1960 г. [12]

При использовании МКЭ конструкция разбивается на множество элементов простой геометрической формы (отрезки линий, треугольники, четырехугольники, тетраэдры и т.п.), соединенные между собой в узловых точках (см. рисунок 1.7). Для этих элементов, названных конечными, аналитическими методами получают точные или приближенные решения уравнений, описывающих их напряженно-деформированное состояние (НДС). На основе этих решений составляются уравнения, описывающие НДС всей конструкции. Как правило, это есть системы алгебраических или дифференциальных уравнений второго порядка. Для решения уравнений МКЭ, как и для их составления, используются вычислительные машины. Как в нашей стране, так и за рубежом разработан ряд программ для ЭВМ, реализующих МКЭ. К ним относятся широко известные программы NASTRAN, ANSYS, MARC, DINA, ЛИРА и др.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

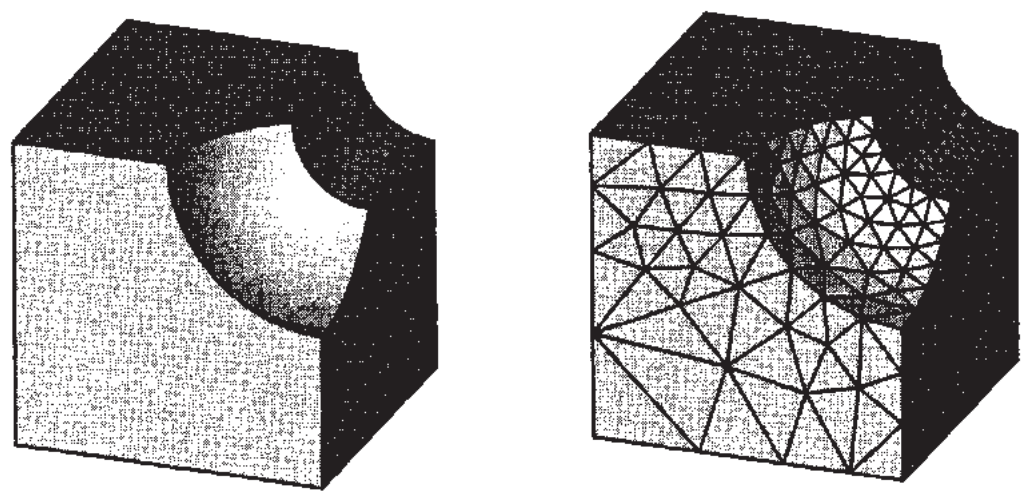


Рисунок 1.7 – Разбивка на конечные элементы

В зависимости от того, какие неизвестные являются основными, МКЭ реализуется в форме метода перемещение, метода сил или смешанного метода. Наиболее популярным среди разработчиков программ МКЭ является метод перемещений, позволяющий получить более простые и универсальные алгоритмы.

Основными этапами расчета конструкций методом перемещений являются:

- идеализация конструкции или выбор расчетной схемы;
- вычисление матриц жесткости (МЖ) отдельных элементов в любой удобной для этих целей местной системе координат;
- преобразование МЖ элементов в общую для всей конструкции систему координат;
- формирование с использованием МЖ элементов системы уравнений движения или равновесия конструкции;
- решение систем уравнений относительно узловых перемещений;
- вычисление деформаций элементов по известным узловым перемещениям и вычисление напряжений в элементах по известным деформациям.

Период последних десятилетий особенно характерен для развития и применения МКЭ в таких областях механики сплошных сред, как оптимальное проектирование, учет нелинейного поведения, динамика конструкций и т. п.

Популярность МКЭ обусловлена его результативностью и возможностью решения широкого спектра задач. [11]

На рисунке 1.8 представлен пример реальной и конечно-элементной моделей балки.

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

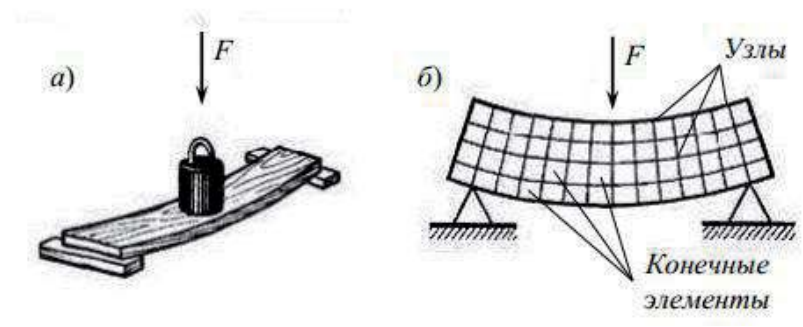


Рисунок 1.8 – Модели работы балки:
а – реальная модель; б – конечно-элементная расчетная модель

1.5. Нагрузки и их сочетания на ЛЭП

Согласно п. 2.5.38 ПУЭ при расчете ВЛ и их элементов должны учитываться климатические условия – ветровое давление, толщина стенки гололеда, температура воздуха, степень агрессивного воздействия окружающей среды, интенсивность грозовой деятельности, пляска проводов и тросов, вибрация.

Предельные состояния, по которым производится расчет опор, фундаментов и оснований ВЛ, подразделяется на две группы.

Первая группа включает предельные состояния, которые ведут к потере несущей способности элементов или к полной непригодности, т.е. к их разрушению любого характера. К этой группе относятся состояния при наибольших внешних нагрузках и при низшей температуре, т.е. при условиях, которые могут привести к наибольшим изгибающим и крутящим моментам на опоры, наибольшими сжимающим или растягивающим усилиям на опоры и фундаменты.

Вторая группа включает предельные состояния, при которых возникают недопустимые деформации, перемещения или отклонения элементов, нарушающие нормальную эксплуатацию, к этой группе относятся состояния при наибольших прогибах опор.

Нагрузки, действующие на строительные конструкции ВЛ, в зависимости от продолжительности действия подразделяются на постоянные и временные (длительные, кратковременные, особые).

К постоянным нагрузкам относятся:

- Собственный вес проводов, тросов, строительных конструкций, гирлянд изоляторов, линейной арматуры;
- Тяжение проводов и тросов при среднегодовой температуре и отсутствии ветра и гололеда;
- Воздействие предварительного напряжения конструкций, а также нагрузки от давления воды на фундаменты в руслах рек.

К длительным нагрузкам относятся:

- Нагрузки, создаваемые воздействием неравномерных деформаций оснований, не сопровождающихся изменением структуры грунта, а также воздействием усадки и ползучести бетона.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

К кратковременным нагрузкам относятся:

- Давление ветра на провода, тросы и опоры – свободные от гололеда и покрытые гололедом;
- Вес отложений гололеда на проводах, тросах и опорах;
- Нагрузки, возникающие при изготовлении и перевозке конструкций, а также при монтаже строительных конструкций, проводов и тросов.

К особым нагрузкам относятся:

- Нагрузки, возникающие при обрыве проводов и тросов;
- Нагрузки при сейсмических воздействиях.

Ниже представлены основные нагрузки, действующие на опору.

Масса гирлянд изоляторов.

На ВЛ 110 кВ и выше должны применяться подвесные изоляторы, допускается применение стержневых и опорно-стержневых изоляторов, согласно п. 2.5.97 ПУЭ.

На проектируемых участках ВЛ предусмотрены изолирующие подвески проводов и тросов из стеклянных изоляторов, что соответствует ПУЭ п.2.5.98, НТП ВЛ 2013 г. п. 9.1, 13.11.

Для недопущения возможного отклонения шлейфа от вертикали резкими порывами ветра и повышения надежности работы ВЛ, проектом на анкерно-угловых опорах во всех шлейфах предусматривается установка поддерживающих одноцепных гирлянд изоляторов для обводки шлейфа.

Для крепления грозозащитных тросов к опорам используются традиционные стеклянные изоляторы.

На рассчитываемой опоре подвешиваются натяжные двухцепные подвески провода из 2х11 изоляторов, поддерживающие из 10 изоляторов, натяжные подвески троса из 1 изолятора.

Защита проводов и грозотросов от вибрации осуществляется многочастотными виброгасителями типа ГВ, которые устанавливаются на протекторах в соответствии с рекомендациями завода-производителя.

Защита ВЛ от прямых ударов молнии осуществляется подвеской грозозащитных тросов по всей длине проектируемых заходов ВЛ.

Заземлению подлежат все опоры ВЛ.

Гололедная нагрузка.

Согласно ПУЭ п.2.5.61 для районов по гололеду до IV при высоте опор менее 50 м гололедные отложения на опорах не учитываются.

Для проводов и тросов нормативную толщину стенки гололеда b , плотностью $0,9 \text{ г/см}^3$ следует принимать по таблицам ПУЭ [1] в соответствии с картой районирования территории России по толщине стенки гололеда или по региональным картам районирования.

Нормативная линейная гололедная нагрузка на 1 м провода и трос P_{Γ}^H определяется по формуле, Н/м

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

Лист

18

$$P_{\Gamma}^H = \pi \cdot K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{э}} \cdot (d + K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{э}}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где K_i, K_d – коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололеда по высоте и в зависимости от диаметра провода и принимаемые по ПУЭ;

$b_{\text{э}}$ – толщина стенки гололеда, мм;

d – диаметр провода, мм;

ρ – плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см³;

g – ускорение свободного падения, принимаемое равным 9,8 м/с².

Расчетная линейная гололедная нагрузка на 1 м провода (троса) $P_{\Gamma.п.}$ при механическом расчете проводов и тросов по методу допускаемых напряжений определяется по формуле, Н/м:

$$P_{\Gamma.п.} = P_{\Gamma}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d \quad (2)$$

где P_{Γ}^H – нормативная линейная гололедная нагрузка по формуле (1);

γ_{nw} – коэффициент надежности по ответственности, принимаемый равным 1,3 - для ВЛ на двухцепных опорах независимо от напряжения;

γ_p – региональный коэффициент, принимаемый равным от 1 до 1,5. Значение коэффициента принимается на основании опыта эксплуатации и указывается в задании на проектирование ВЛ;

γ_f – коэффициент надежности по гололедной нагрузке, равный 1,3 для районов по гололеду I и II;

γ_d – коэффициент условий работы, равный 0,5.

Ветровые нагрузки.

ВЛ 110 кВ проектируются на открытой местности, а их центральная часть расположена перпендикулярно господствующему северо-восточному ветру.

Значения максимальных ветровых давлений ВЛ определяются на высоте 10 м над поверхностью земли с повторяемостью 1 раз в 25 лет (нормативные значения). В соответствие с ПУЭ проектируемый объект находится во II ветровом районе, с максимальной скоростью ветра 29 м/с, а нормативное ветровое давление 0,5 кПа.

Нормативная ветровая нагрузка на провода и тросы P_w^H , действующая перпендикулярно проводу (тросу), для каждого рассчитываемого условия определяется по формуле:

$$P_w^H = \alpha_w \cdot K_l \cdot K_w \cdot C_x \cdot W \cdot F \cdot (\sin \varphi)^2 \quad (3)$$

где α_w – коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ и принимаемые по ПУЭ;

K_l – коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку, равный 1,2 при длине пролета до 50 м, 1,1 - при 100 м, 1,05 - при 150 м, 1,0 - при 250 м и более (промежуточные значения K_l определяются интерполяцией);

K_w – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, определяемый по ПУЭ;

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Взам. инв. №
						Подп. и дата
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Изм. № подл.

C_x – коэффициент лобового сопротивления, принимаемый равным: 1,1 - для проводов и тросов, свободных от гололеда, диаметром 20 мм и более; 1,2 - для всех проводов и тросов, покрытых гололедом, и для всех проводов и тросов, свободных от гололеда, диаметром менее 20 мм;

W – нормативное ветровое давление, Па, в рассматриваемом режиме:

$W = W_0$ – определяется по ПУЭ в зависимости от ветрового района;

$W = W_{\Gamma} = 0,25 \cdot W_0$;

F – площадь продольного диаметрального сечения провода, m^2 (при гололеде с учетом условной толщины стенки гололеда b_3);

φ – угол между направлением ветра и осью ВЛ.

Площадь продольного диаметрального сечения провода (троса) F определяется по формуле, m^2

$$F = (d + 2 \cdot K_i \cdot K_d \cdot b_3) \cdot l \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

где d – диаметр провода, мм;

K_i, K_d – коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололеда по высоте и в зависимости от диаметра провода и определяемые по таблице ПУЭ;

b_3 – условная толщина стенки гололеда, мм;

l – длина ветрового пролета, м.

Расчетная ветровая нагрузка на провода (тросы) $P_{w.п.}$ при механическом расчете проводов и тросов по методу допускаемых напряжений определяется по формуле, Н:

$$P_{w.п.} = P_w^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \quad (5)$$

где P_w^H – нормативная ветровая нагрузка по формуле (3);

γ_{nw} – коэффициент надежности по ответственности, принимаемый равным: 1,1 – для ВЛ, сооружаемых на двухцепных опорах независимо от напряжения;

γ_p – региональный коэффициент, принимаемый равным 1. Значение коэффициента принимается на основании опыта эксплуатации и указывается в задании на проектирование ВЛ;

γ_f – коэффициент надежности по ветровой нагрузке, равный 1,1.

Нормативная ветровая нагрузка на конструкцию опоры определяется как сумма средней и пульсационной составляющих.

Нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки $Q_{нп}$ для опор высотой до 50 м принимается для свободностоящих одностоечных стальных опор:

$$Q_{нп} = 0,5 \cdot Q_{нс} \quad (6)$$

Расчетная ветровая нагрузка на конструкцию опоры Q определяется по формуле:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист	
			АСИ-278.08.04.01.2018					20
			Изм.	Колуч	Лист	№ док.		

$$Q = (Q_{нс} + Q_{нп}) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \quad (7)$$

где $Q_{нс}$ – нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки, принимаемая по 2.5.59;

$Q_{нп}$ – нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки, принимаемая по 2.5.60;

$\gamma_{nw} = 1,1$, $\gamma_p = 1$ – принимаются согласно ПУЭ;

γ_f – коэффициент надежности по ветровой нагрузке, равный:

- 1,3 – при расчете по первой группе предельных состояний;
- 1,1 – при расчете по второй группе предельных состояний.

Сейсмическая нагрузка.

Расчет конструкций и оснований зданий и сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок с учетом расчетной сейсмической нагрузки.

Горизонтальные нагрузки от масс на гибких подвесках, температурные климатические воздействия, ветровые нагрузки, динамические воздействия от оборудования и транспорта, тормозные и боковые усилия от движения кранов при этом не учитываются. [24]

Методы расчета:

- нормативный метод согласно СП 14.13330.2014;
- разложение по формам собственных колебаний;
- МКЭ.

Сочетания нагрузок.

Опоры ЛЭП рассчитываются на сочетания расчетных нагрузок нормальных режимов по первой и второй группам предельных состояний. На особое сочетание нагрузок опоры рассчитываются по первой группе ПС.

Все расчетные значения нагрузок, действующие на опоры, представлены в п. 3.2 данной ВКР.

1.6. Программные комплексы для расчета ЛЭП

1.6.1. ПК ЛЭП

ПК ЛЭП — это комплексное программное решение, предназначенное для расчета и выпуска комплекта документов при проектировании воздушных линий электропередачи классов напряжения 10—750 кВ. Программный комплекс разработан для проектировщиков линейных групп с учетом их требований к специфике работы (см. рисунок 1.9).

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

Лист

21



Рисунок 1.9 – Основное меню ПК САПР-ЛЭП

Программный комплекс ЛЭП (ПК ЛЭП), разработанный ЗАО «Группа компаний Русский САПР» (г. Москва), имеет сертификат «Росстандарта» (см. рисунок 1.10) и отвечает требованиям следующих нормативных документов:

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 «Информационная технология. Пакеты программ. Требование к качеству и тестирования» [8]
- ГОСТ 28195-89 «Оценка качества программных средств. Общие положения» [9]
- ПУЭ–7 . Правила устройства электроустановок. Издание 7 [1]

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018



Рисунок 1.10 – Сертификат «Росстандарта»

Комплекс ПК ЛЭП работает на базе графической программы AutoCAD. Логика работы программы во многом соответствует привычной последовательности действий проектировщиков — первыми делаются необходимые расчеты проводов и тросов, их результаты являются базой и исходными данными для всех остальных расчетов. После этого производится расстановка опор — расстановка делается в пределах одного анкерного участка. Шифры граничных анкерных опор задает проектировщик. Расстановку можно выполнять, используя два режима:

1. автоматический
2. ручной

Основная идея, которая была заложена при разработке модулей САПР ЛЭП, связанных с расстановкой опор — это возможность проектировщика в любой момент вмешаться в ход работы программы и направить ее в нужном направлении.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Модули САПР ЛЭП

- Модуль «Систематический расчет провода»

Данный модуль позволяет выполнить расчет погонных и удельных нагрузок провода и троса, а также напряжений и стрел провеса для 11 режимов. Включает в себя программу расчета монтажных тяжений и стрел провеса провода (в соответствии с ВРУ и с учетом остаточных деформаций)

- Модуль «Ввод данных по пересечениям»

Данный модуль позволяет идентифицировать пересечки на продольном профиле с возможностью отрисовки их на гребенке профиля и в абрисе в соответствующем масштабе. При этом вводится вся необходимая информация для расчета вертикальных и горизонтальных габаритов до пересечений.

- Модуль «Протокол работы программы расстановки»

Просматривая документ «Протокол работы программы расстановки» проектировщик может легко принять решение о применимости результатов расстановки.

- Модуль «Ручная расстановка опор»

Данный модуль позволяет выполнять расстановку опор по профилю с помощью классического «шаблона» по габаритному пролету. В режиме реального времени проектировщик видит в табличном редакторе (закладка «Вывод») всю необходимую информацию для выбора места установки опоры ЛЭП (габариты до земли, до пересечек и т.д.). А так же может визуальнo отслеживать место установки опоры на чертеже профиля.

- Модуль «Выравнивание пролетов»

Данный модуль позволяет проектировщику запуск процедуры выравнивания пролетов по длинам — программа попытается выровнять длины пролетов в заданном анкерном пролете.

- Модуль «Оформление профиля» (см. рисунок 1.11)

Данный модуль позволяет выполнить: отрисовку кривых провисания проводов, тросов и изолированного кабеля, отрисовку расчетных и приведенных пролетов, длин анкерных участков, разграничение участков с разными расчетами проводов, обозначение переходов на профиле, отрисовку итоговых таблиц по шифрам опор и пикетам, выравнивание длин пролетов в указанном анкерном пролете.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	№дож.	Подп.	Дата

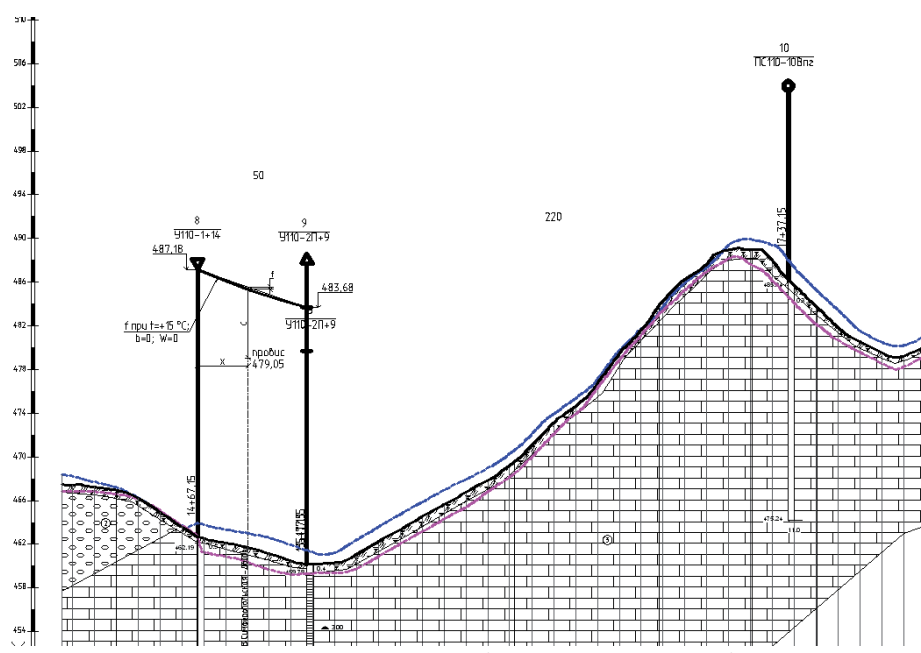


Рисунок 1.11 – Оформление профиля

- Модуль «Монтажные таблицы»

По результатам расстановки опор рассчитываются монтажные таблицы провода и троса и создается выходной документ.

- Модуль «Расчет и оформление переходов»

Ввод исходных данных выполняется посредством простого переноса информации по пересечкам с профиля, выбрав нужный пролет из предлагаемого списка. В результате выдается готовый чертеж перехода для согласования в заданном масштабе и формате чертежа. Так же есть возможность ручного создания перехода, независимо от наличия профилей в проекте.

- Модуль «Ведомость вырубki просеки»

После ввода данных формируется ведомость вырубki со сводным листом и документ по объемам лесочистительных работ. Расчеты можно сделать как по требованиям ПУЭ–7, так и в соответствии с Приказом N223 ФАЛХ. При вводе данных можно указать, что лес растет на заданной ширине от оси ВЛ слева и/или справа, либо растет без ограничения. Также можно указать принудительную ширину вырубki просеки (дорубку).

- Модуль «Ведомость отвода земли»

В модуле информация по залесенности считывается из ведомости вырубki (либо вводится вручную), информация по опорам ЛЭП — с профилей объекта. Общая площадь отводов разбивается пропорционально площади проекции опоры, попавшей в соответствующую полосу. Дополнительно сделана настройка, позволяющая либо вычитать постоянный отвод под опору из общего временного отвода, либо нет.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	АСИ-278.08.04.01.2018	Лист
							25

- Модуль «Нагрузки на опоры»

Данный модуль позволяет выполнить сбор нагрузок на все виды опор (от тяжения, от ветра на провода и тросы, от ветра на конструкцию опоры и иных), установленных по трассе, оформлять схемы нагрузок в заданных режимах, выполнить расчет нагрузок на грибовидные подножки под металлические решетчатые опор.

Ввод данных может осуществляться разными способами произвольным вводом (не зависимо от наличия расстановки) или импортом информации с профиля.

- Модуль «Расчет свайных закреплений»

Данный модуль предназначен для проектирования свайных фундаментов опор воздушных линий электропередачи (ЛЭП) и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций в соответствии с требованиями СП 50–102–2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов». Для расчета вводится конструкция свайного куста, грунтовые условия на пикете установки опоры и нагрузки, которые будут действовать на закрепление. Программа выполняет полную проверку с выдачей итогового документа.

- Модуль «Привязка закреплений и изолирующих подвесок к опорам для создания ведомостей и спецификаций»

Привязка выполняется через свойства опоры. Удобный функционал копирования введенных свойств опоры на другие опоры по всему проекту с проверкой корректности введенных данных.

- Модуль «Объемы по монтажу»

Выполняются расчеты объемов по монтажу опор и закреплений в заданных условиях, а так же объемы по монтажу провода и троса по линии и на переходах.

Выполняется пять расчетов:

- Металлических опор
- Железобетонных опор
- Фундаментов
- Проводов и тросов в пролетах
- Проводов и тросов на переходах

В выходных документах имеются удобные таблицы для проверки всех расчетов.

- Модуль «Объемы земляных работ»

Позволяет выполнить расчеты:

- геометрии котлованов под опоры,
- объемов вынимаемого грунта,
- обратной засыпки,
- шпунтового ограждения,

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

- размера банкетов,
- привозного грунта для них,
- площадь одерновки и посева трав,
- водоотлив,
- щебеночную подготовку.

И других элементов.

Ввод данных выполняется либо на основе ранее введенной информации (по расстановке опор), либо ручным вводом данных независимо от наличия профиля с расстановкой опор.

- Модуль «Проверка грибовидных подножников под металлические решетчатые опоры воздушных линий электропередач»

Предназначен для проверки выбранных проектировщиком грибовидных подножников в конкретных грунтах на конкретные нагрузки. При расчете выполняются все необходимые проверки заданных фундаментов и выдается подробный пошаговый протокол расчета и создается основной расчетный документ с итогами по всем расчетам. [10]

1.6.2 ПК Лира-САПР

ПК ЛИРА – многофункциональный программный комплекс для проектирования и расчета строительных и машиностроительных конструкций различного назначения. Реализованный метод расчета – метод конечных элементов (МКЭ). Выполняется расчет на статические (силовые и деформационные) и динамические воздействия. Производится подбор или проверка сечений стальных конструкций и (или) армирование сечений железобетонных конструкций. Выдаются эскизы рабочих чертежей КМ, а также чертежи железобетонных элементов. Множественные специализированные системы, позволяют моделировать работу массивов грунта, рассчитывать мостовые сооружения, моделировать работу сооружения в процессе монтажа, исследовать поведение конструкции под динамическими воздействиями во времени и многое другое. [13]

ПК Лира-САПР с успехом применяется в расчетах объектов строительства, машиностроения, мостостроения, атомной энергетики, нефтедобывающей промышленности и во многих других сферах, где актуальны методы строительной механики.

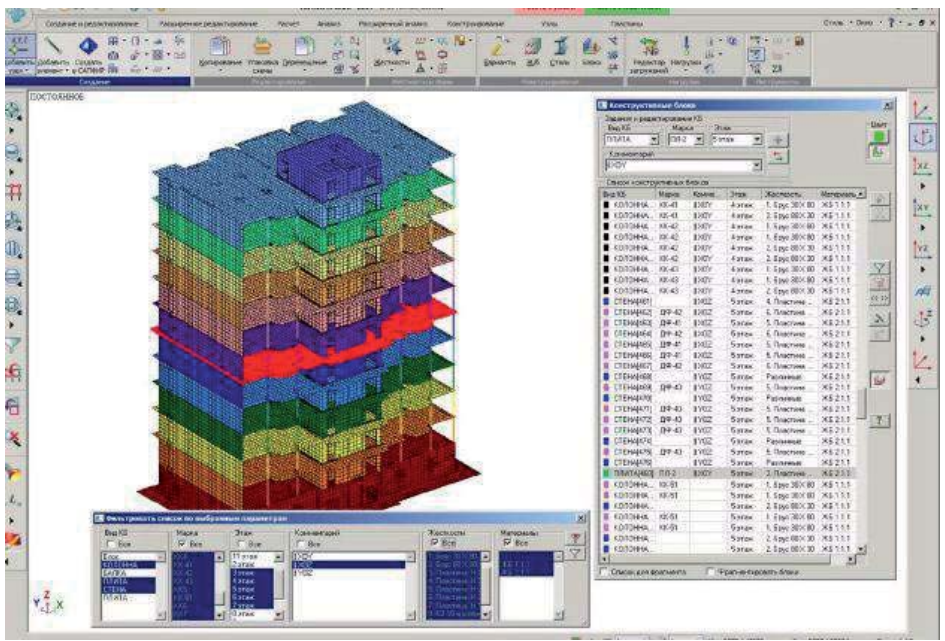
В состав ПК Лира-САПР входит несколько расчетных процессоров. Все они предназначены для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции на основе МКЭ в перемещениях.

Линейный процессор предназначен для решения задач, описывающих работы материала в линейно-упругой постановке.

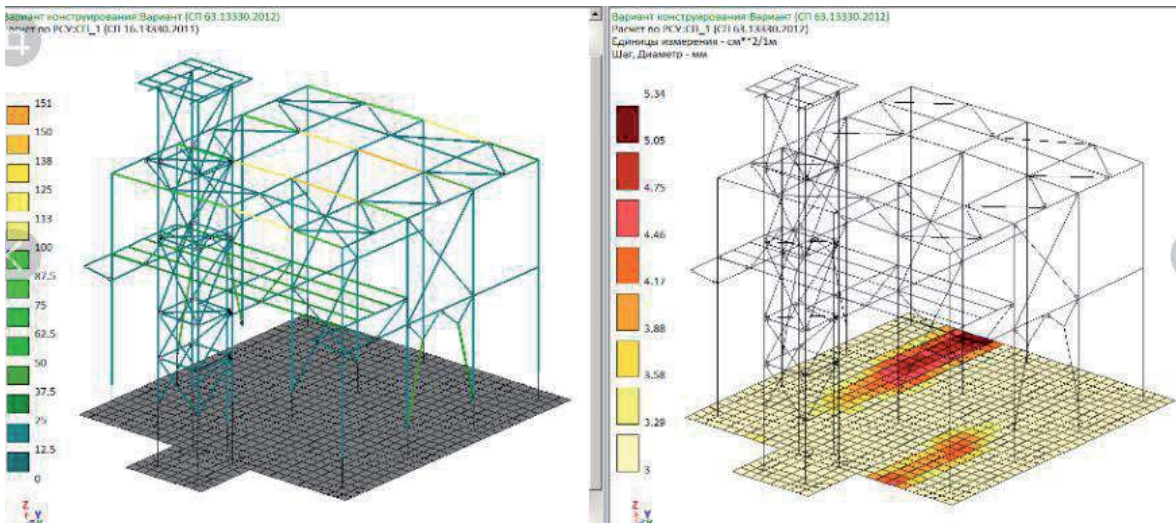
Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018				
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Нелинейный процессор позволяет решать задачи, связанные с физической нелинейностью материала в рамках нелинейной теории упругости и в упруго-пластической постановке (бетон, железобетон, сталебетон, металл, грунт). Решение таких задач производится шаговым и шагово-итерационным методом. Также нелинейный процессор позволяет решать задачи, связанные с геометрической нелинейностью (ванты, большепролетные покрытия, мембраны), а также и с конструктивной нелинейностью (контактные задачи, односторонние связи, трение). [28]

Некоторые функциональные возможности Лира-САПР показаны на рисунке 1.12.



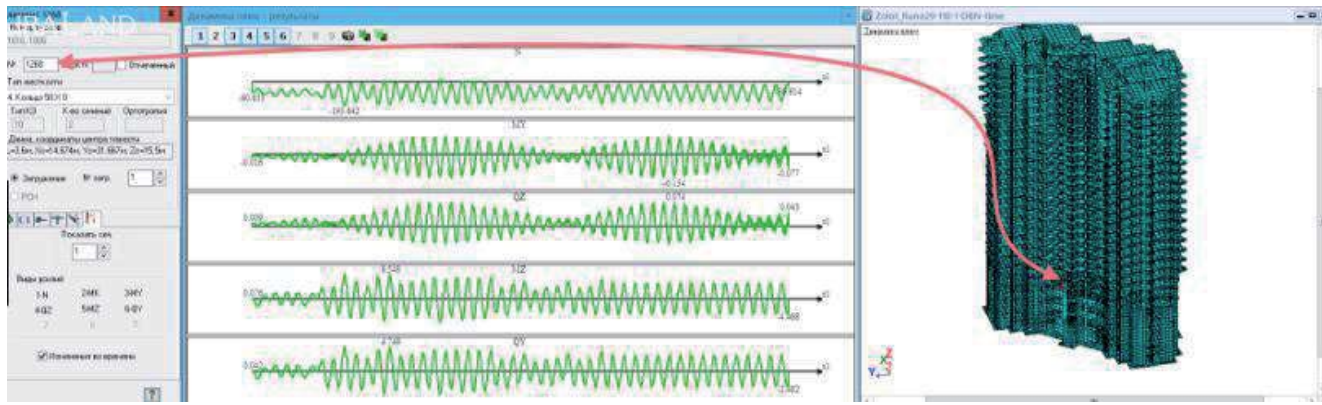
а)



б)

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	-------	------	--------	-------	------



в)

Рисунок 1.12 – Возможности ПК Лиры-САПР:

- а – реализация технологии информационного моделирования зданий (BIM);*
- б- проектирование железобетонных и стальных конструкций;*
- в – расчет на различные виды динамических воздействий*

1.6. 3 ANSYS

Современный инженер не возможен без знания систем автоматического проектирования (CAD – Computer Aids Design), автоматического производства (CAM – Computer Aids Manufacturing) и автоматического инженерного анализа (CAE – Computer Aids Engineering). CAE-системы инженерного анализа (ABAQUS, ANSYS, COSMOS, I-DEAS, NASTRAN, и другие) позволяют не только выполнить качественное моделирование систем различной физической природы, но и исследовать отклик этих систем на внешние воздействия в виде распределения напряжений, температур, скоростей, электромагнитных полей и т.д. Использование таких программ помогает проектным организациям сократить цикл разработки, снизить стоимость изделий и повысить качества продукции. В связи с этим одной из новых задач высшей школы является подготовка специалистов, владеющих современными программными комплексами инженерного анализа. [14]

Одним из самых распространенных таких комплексов сегодня является программа ANSYS, использующая метод конечных элементов. Многоцелевая направленность программы, независимость от аппаратных средств (от персональных компьютеров до рабочих станций и суперкомпьютеров), средства геометрического моделирования на базе B-сплайнов (технология NURBS), полная совместимость с CAD/CAM/CAE системами ведущих производителей и «дружеский» интерфейс привели к тому, что именно ANSYS в настоящее время используется во многих университетах для обучения студентов и выполнения научно-исследовательских работ. [15]

Комплекс МКЭ ANSYS позволяет инженерам-исследователям проводить исследования не только характеристик динамики и прочности машиностроительных, строительных и иных конструкций, но и расчеты задач расчета полей температуры, динамики жидкости и газа, электромагнитных и акустических полей.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	АСИ-278.08.04.01.2018	Лист
							29

Комплекс МКЭ ANSYS применительно к прочности позволяет решать задачи статические (линейные, а также физически и геометрически нелинейные), определять собственные частоты модели (собственные колебания), исследовать поведение модели при воздействии гармонически изменяющихся нагрузок (вынужденные колебания), задачи линейной и нелинейной устойчивости, а также линейные и нелинейные динамические переходные процессы и т.д. [16]

Компания ANSYS, Inc. следует подходу к проектированию и производству изделий, который опирается на расчет, строится с привязкой к анализу и позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «делать-ломать». В длительном и многостороннем процессе проектирования анализ, ведущийся постоянно, используется на всех стадиях разработки. В качестве стратегического партнера фирма сотрудничает с другими компаниями, помогая им провести необходимые изменения и сохранить первенство в конкурентной борьбе. Предлагаемые фирмой ANSYS средства численного моделирования и анализа удобны для пользователя, совместимы с другими пакетами, работают на различных платформах и позволяют решать связанные задачи механики и физики.

Сегодня ANSYS – это чрезвычайно мощная и удобная программа. Каждая ее версия включает новые и расширяет прежние возможности пакета, что делает программу быстродействующей, более гибкой и удобной. Эти ее качества помогают пользователям справиться с непрерывно возрастающими запросами современного промышленного производства.

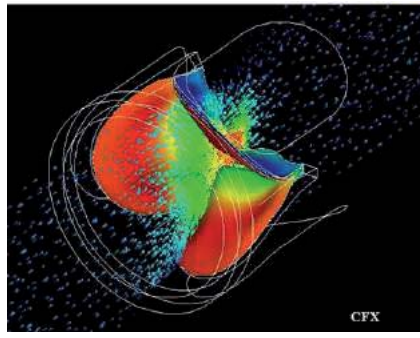
Программа ANSYS является средством, с помощью которого создается компьютерная модель или обрабатывается CAD-модель конструкции, изделия или его составной части; прикладываются действующие усилия или другие проектные воздействия; исследуются отклики системы различной физической природы в виде распределений напряжений и температур, электромагнитных полей. Программа используется для оптимизации проектных разработок на ранних стадиях, что снижает стоимость продукции. Все это помогает проектным организациям сократить цикл разработки, состоящий в изготовлении образцов-прототипов, их испытаний и повторном изготовлении образцов, а также исключить дорогостоящий процесс доработки изделия. [15]

Возможности ПК ANSYS позволяют использовать его не только в строительстве или машиностроении, но и в таких отраслях как охрана окружающей среды, разработке биомедицинских устройств, вентиляция и кондиционирование и многое др.

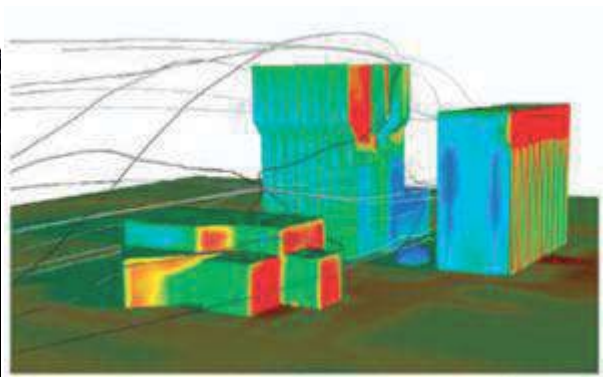
Некоторые задачи решаемые программным комплексом ANSYS представлены на рисунке 1.13. [27]

Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

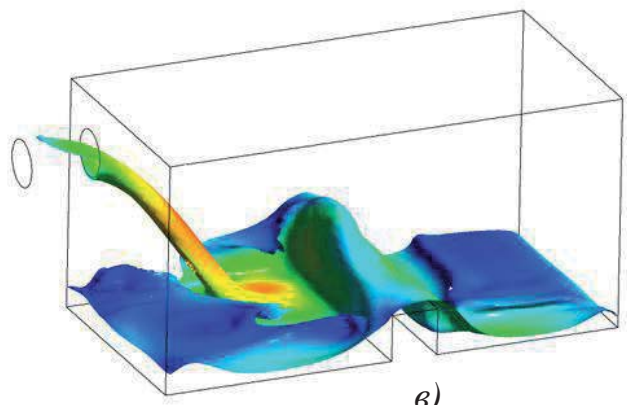
Изм.	Колуч	Лист	№дож.	Подп.	Дата



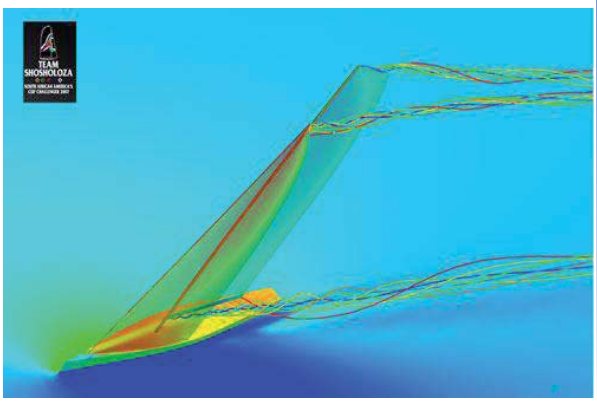
а)



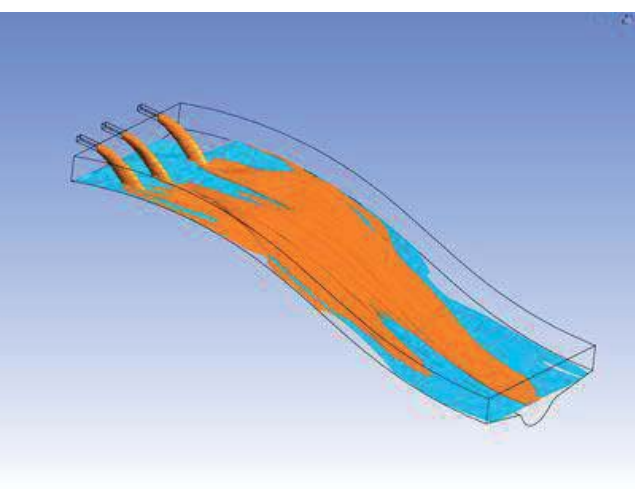
б)



в)



г)



д)

Рисунок 1.13 – Возможности ПК ANSYS:

а – модель костного шарнира; б – ветровая и солнечная нагрузка на здания; в – расчет наполнения емкости жидкостью; г – расчет внешнего обтекания яхты совместно со свободной поверхностью; д – моделирование разлива нефтепродуктов как в водных условиях, так и в грунтовых.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

2. Описание объекта исследования

2.1 Краткая характеристика объекта

Наименование объекта: «Заходы на ВЛ 110 кВ и 330 кВ для подключения Симферопольской ПГУ – ТЭС , прочие мероприятия схемы выдачи мощности Симферопольской ПГУ – ТЭС»

Рассматриваемый участок ЛЭП в административном отношении расположен на землях Симферопольского района Республики Крым (см. рисунок 2.1).

Назначение ВЛ – линейный объект (воздушная линия электропередач).

Принадлежность к объектам транспортной инфраструктуры и к другим объектам, функциональные особенности которых влияют на их безопасность – не принадлежит.

Возможность опасных природных процессов, явлений и техногенных воздействий на территории, на которой будут осуществляться строительство, реконструкция и эксплуатация сооружения – отсутствуют.

Принадлежность к опасным производственным объектам – не принадлежит.

Пожарная и взрывопожарная опасность – категория по пожарной опасности – ДН (пониженная пожароопасность).

Наличие помещений с постоянным пребыванием людей – нет.

Уровень ответственности – нормальный. [17]

Класс проектируемых ЛЭП – 110 кВ.

Рельеф местности участка ЛЭП – косогорный. Климат района – континентальный, с мягкой зимой и жарким, продолжительным летом.

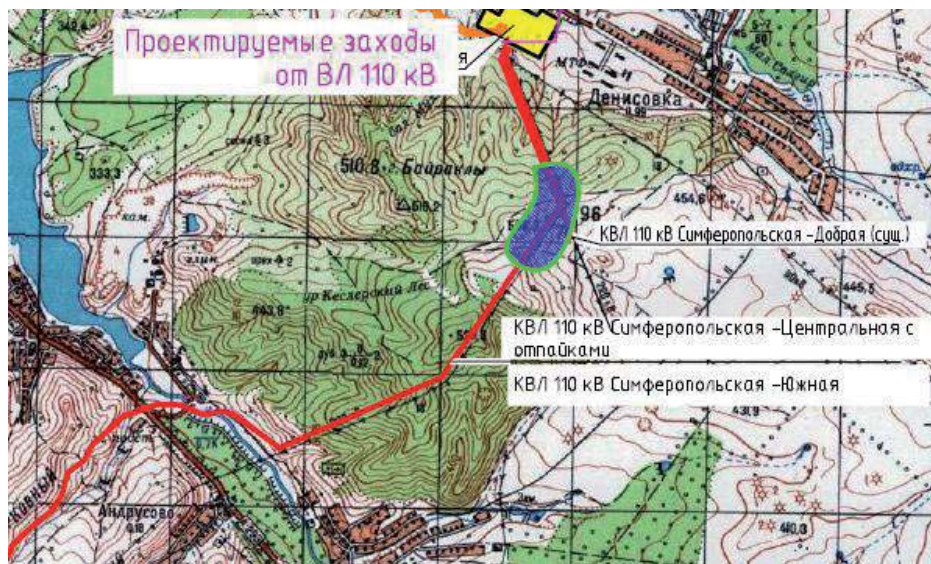


Рисунок 2.1 – Ситуационный план

Трассы ВЛ проложены по землям категории земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности, земли сельскохозяйственного назначения, земли населенных пунктов, земли иного специального назначения и землям без категории.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

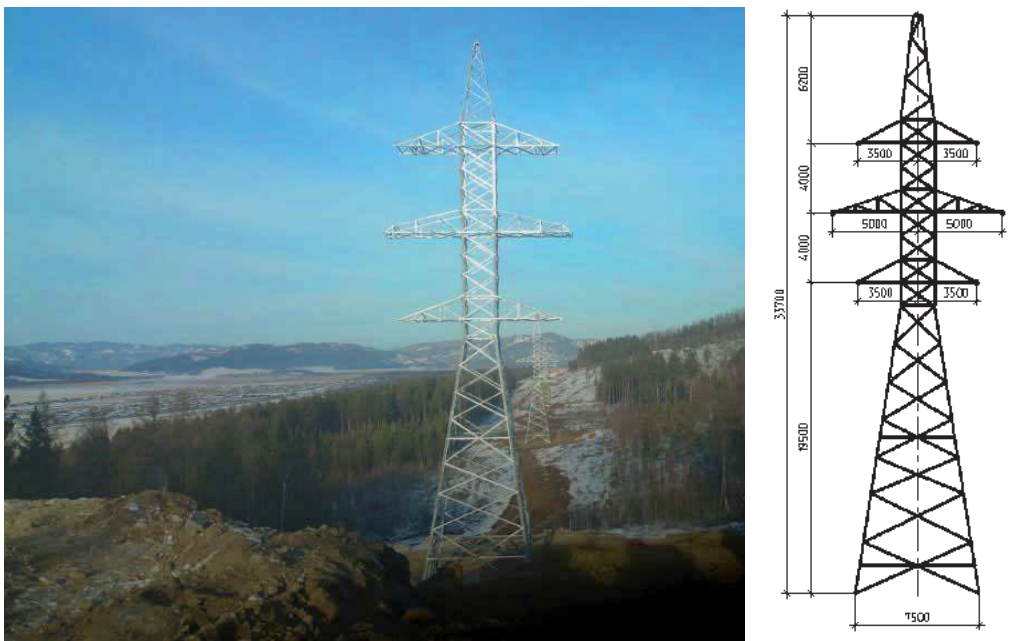
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	АСИ-278.08.04.01.2018	Лист
							32

Система высот Балтийская.

Район следования трассы характеризуется развитой сетью автодорог, позволяющих проезд по ним в течение круглого года любым транспортом. По трассе ВЛ проезд возможен по бездорожью транспортом высокой проходимости.

Тип опоры: У110-2П+9 (по типовому проекту 3078тм-т10)

На рисунке 2.2 показаны фото и схема опоры с размерами.



а)

б)

Рисунок 2.2 – Опора ВЛ типа У110-2П+9:
а- фото; б - схема

Каркас конструкции: металлический, сталь С245 по [13].

Опоры ВЛ 110 кВ относятся к 3 группе стальных конструкций, согласно приложению В [19].

2.2. Природно-климатические условия строительства

В соответствии с п. 7.4 [20] расчетные температуры воздуха принимаются по [20], с учетом нормативных материалов и опыта эксплуатации линий, округляются до значений, кратных 5, согласно п. 2.5.51 [1], и составляют (метеостанция Симферополь), °С:

- среднегодовая плюс 10;
- максимальная плюс 40
- минимальная минус 30;
- при гололеде и максимальном ветре минус 5;
- наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) – минус 15°С;
- наиболее холодных суток (обеспеченностью 0,92) – минус 20°С;
- наиболее холодных суток (обеспеченностью 0,98) – минус 22°С.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	-------	------	--------	-------	------

Район по ветровой нагрузке II – максимальная скорость ветра 29 м/с, нормативный скоростной напор 500 Па. Нормативная скорость ветра при гололеде 16 м/с, нормативный скоростной напор 160 Па.

Район по гололеду II. Нормативная толщина стенки гололеда - 15 мм.

Региональные коэффициенты для проектируемых заходов ВЛ 110 кВ приняты следующие: коэффициент по ветру - 1,0; коэффициент по гололеду - 1,0.

Район по пляске проводов - умеренный.

Среднегодовая продолжительность гроз 40-60 часов с грозой.

Сейсмичность района прохождения ВЛ до 7 баллов. Карта А ОСР 2015 (Сейсмичность района строительства составляет: IR = 7 баллов по шкале MSK-64 для периода повторения T-500 лет и условным сейсмическим риском 10%).

2.3 Характеристика сейсмичности территории

Крым относится к числу регионов Средиземноморского коллизийного пояса с относительно низким уровнем сейсмической активности и редкой повторяемостью разрушительных землетрясений.

Риск землетрясений определяется величиной погибших и пострадавших людей, ущербом от разрушений и повторяемостью опасных сейсмических явлений.

Крымский полуостров расположен в зоне 5-8-балльной сейсмичности. Многолетние наблюдения показывают, что после землетрясения 1927 года интенсивность толчков не превышала 4-5 баллов.

Большинство эпицентров крымских землетрясений зафиксировано в Черном море на участке между Ялтой и Гурзуфом. Гипоцентры землетрясений находятся преимущественно на глубине 10-40 км.

По данным территориальных органов МЧС России, на территории Крымского федерального округа чрезвычайных ситуаций, связанных с землетрясениями, не зарегистрировано. Тем не менее опасность землетрясений с интенсивностью до 8-9 баллов (с учётом их повторяемости) не исключена. [22]

В районе сейсмического участка уровень сейсмической опасности составляет по карте А ОСР 2015 - 7 баллов, по карте В ОСР 2015 - 8 баллов, по карте С ОСР 2015 - 9 баллов. Эти показатели характеризуют территории повышенной сейсмической активности. Очаги наиболее сильных землетрясений находятся в пределах земной коры на глубинах 10-40 км и образуют сравнительно узкую зону, протянувшуюся от Севастополя до Анапы, в основном параллельно Южному берегу Крыма. [29]

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018						
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

2.4 Технико-экономическая характеристика участка ЛЭП

Технико-экономическая характеристика рассчитываемого участка ЛЭП представлена в таблице 1.

Таблица 2.1 – Технико-экономическая характеристика

№ п/п	Наименование показателя	Показатели	Примечание
Участок ЛЭП			
	Номинальное напряжение ВЛ, кВ	110	
	Длина участка ВЛ, км, в том числе:	0,306	
	Количество цепей	2	
	Марка, сечение проводов, конструкция фазы		
	Провода ВЛ 110 кВ	АСК240/32	
	Грозозащита	ОКГТ-с-1-24(G.652)-20,4/102	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									35
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	АСИ-278.08.04.01.2018			

3. Расчетная динамическая модель участка ЛЭП

3.1 Геометрическая и конечно-элементная модели

Геометрическая модель для расчета участка ЛЭП создана в программном комплексе AutoCAD в масштабе 1:1 показана на рисунке 3.1.

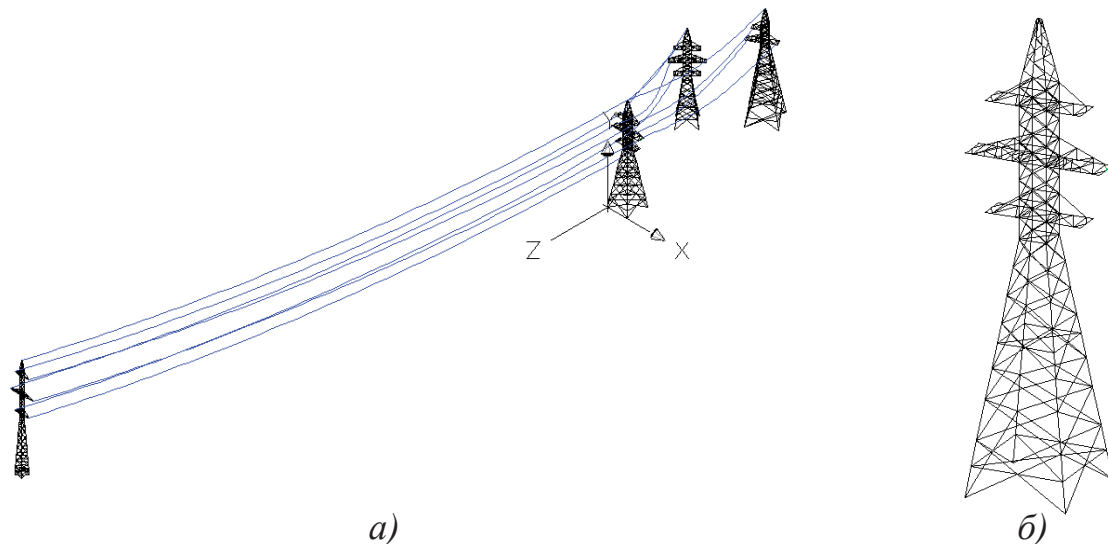


Рисунок 3.1 – Геометрическая модель:
а – участка ЛЭП с проводами; б - модель рассчитываемой опоры

Затем данная модель участка ЛЭП через специальные файлы *.dxf и *.iges, соответственно, импортирована в программные комплексы Лира-САПР и ANSYS. Результаты импорта моделей приведены на рисунке 3.2.

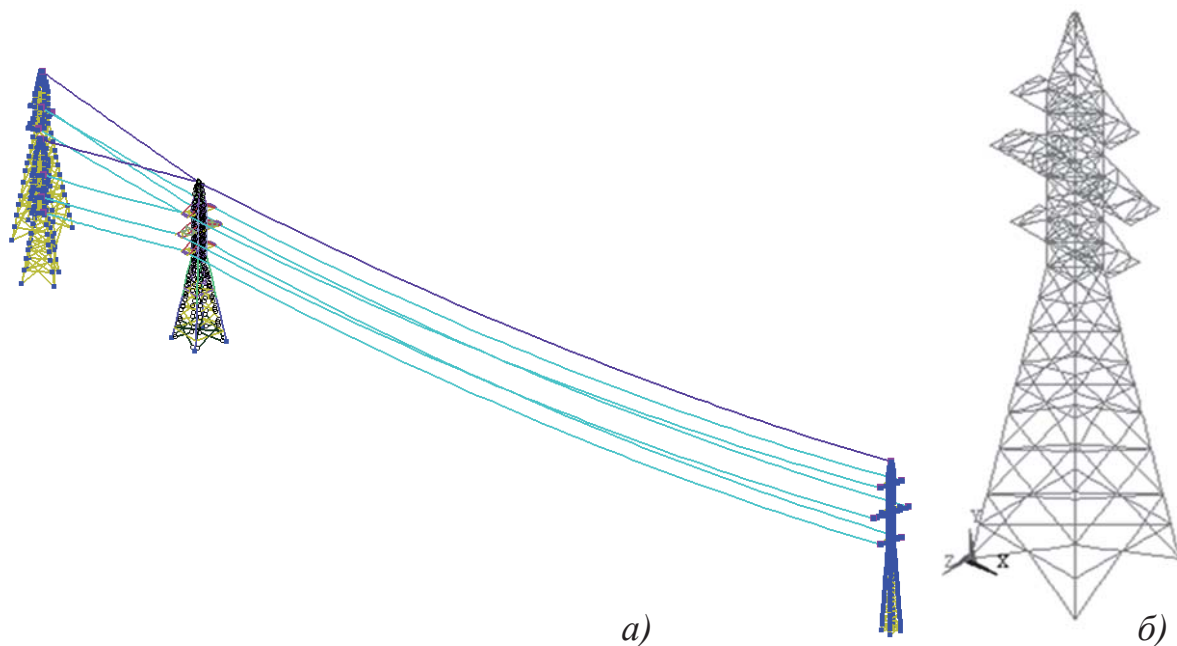


Рисунок 3.2 – Геометрическая модель участка ЛЭП, полученная посредством импорта из ПК AutoCAD:

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

а - в ПК Лира-САПР; б - в ПК ANSYS

Основание опоры закреплено жестко.

Ниже в таблицах 2 и 3 приведены жесткостные характеристики элементов модели участка ЛЭП.

Таблица 3.1 – Используемые типы КЭ

Назначение	Типы КЭ используемые в программных комплексах	
	ПК Лира-САПР	ПК ANSYS
Элементы опор участка ЛЭП	КЭ 10 - Универсальный пространственный стержневой КЭ	BEAM 188 – трехмерный линейный балочный элемент с конечными деформациями
Провод АСК 240/32 и грозозащитный трос ОКГТ	КЭ 310 - Геометрически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ (нить)	LINK 180 – трехмерный (3D) стержень (элемент фермы)

Таблица 3.2 – Жесткостные характеристики расчетной модели участка ЛЭП

		Характеристики
180x180x11	Элементы опор	Сталь С245 E=2,1e+08 кН/м ² R ₀ =78,5 кН/м ³ ν=0,25
160x160x10		
140x140x9		
110x110x8		
90x90x7		
70x70x6		
63x63x5		
50x50x4		
КЭ 310	Провод АСК 240/32	E=8,61e+07 кН/м ²
		D=21,6 мм
		R ₀ =33,9 кН/м ³
		ν=0,25
КЭ 310	Трос ОКГТ	E=7,657e+07 кН/м ²
		D=20,4 мм
		R ₀ =34,9 кН/м ³
		ν=0,25

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

Лист

37

3.2 Нагрузки и сочетания нагрузок на ЛЭП

Сбор нагрузок выполнен в соответствии с [1] и [23].

1. Собственный вес элементов опор, проводов и тросов.

Задается автоматически в обоих программных комплексах.

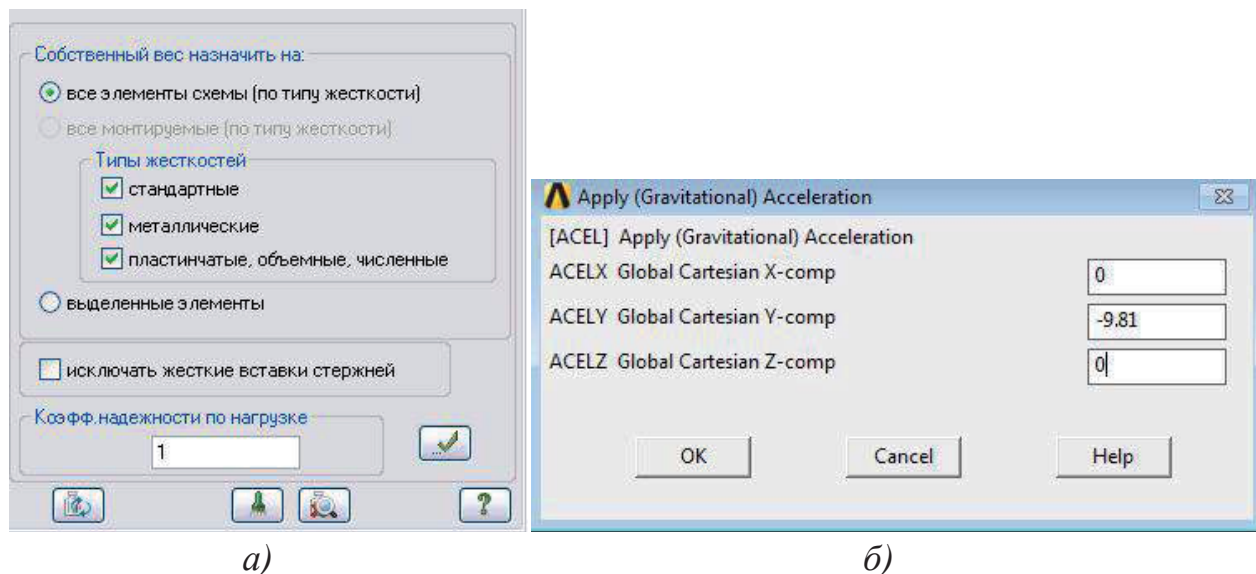


Рисунок 3.3 – Нагрузка от собственного веса конструкций:
а – в ПК Лира-САПР; б – в ПК ANSYS

2. Вес гирлянд изоляторов.

Весы гирлянд изоляторов и их количество на рассчитываемой опоре приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Ведомость гирлянд изоляторов

Шифр опоры	Название гирлянд изоляторов	Количество гирлянд изоляторов, шт	Масса, кг
У110-2П+9	Натяжная двухцепная изолирующая их 11х2 изоляторов типа ПСВ 120Б подвеска провода АСК 240/32	12	154,29
	Поддерживающая одноцепная изолирующая из 10 изоляторов типа ПСВ 120Б подвеска проводов АСК 240/32 для обводки шлейфа	12	63,21
	Натяжное одноцепное изолированное из изолятора типа ПСВ 120Б крепление ОКГТ-с	3	27,63

Чертежи гирлянд представлены в приложении В.

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

3. Гололедная нагрузка

В таблице 3.4 представлены значения линейной гололедной нагрузки на провода и тросы, рассчитанной по формулам (1) и (2).

Таблица 3.4 – Значения линейной гололедной нагрузки

Наименование	Линейная гололедная нагрузка, Н/м	
	Нормативная	Расчетная
Провод АСК 240/32	12,802	10,82
Трос ОКГТ	21,242	17,95

4. Ветер на опору ВЛ, провода и тросы

В таблице 3.5 представлены значения расчетной линейной ветровой нагрузки на провода и тросы, рассчитанной по формулам (3) и (5).

Таблица 3.5 – Значения расчетной линейной ветровой нагрузки

Наименование	Линейная ветровая нагрузка, Н/м	
	Без гололеда	При гололеде
Провод АСК 240/32	31,818	8,95
Трос ОКГТ	43,816	11,95

Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки рассчитана по формулам ПУЭ с учетом аэродинамических коэффициентов согласно приложению Д.1.14 [23] и расчет сведен в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Расчет статической ветровой нагрузки на опору ЛЭП

Элемент опоры	Кэф. по высоте	Нормат. Напор ветра, м/с ²	Площадь элементов опоры, м ²	Площадь по контуру, м ²	Кэф. заполнения , процентам	Аэродин. Коэф. Плоской фермы	эта	Аэродин. Коэф. Пространст в. фермы	Нормативная статическая ветровая нагрузка, кг
Подставка +9	1	50	7,807	55,1	0,142	0,198	0,813	0,360	990,79
Нижняя секция	1	50	5,66	30,5	0,186	0,260	0,714	0,445	679,09
Верхняя секция	1,29	64,5	6,729	21,7	0,310	0,434	0,426	0,619	866,24
Тросостойка	1,39	69,5	1,026	5,3	0,194	0,271	0,696	0,460	169,35
Траверса 5,0	1,3	65	0,667	2,4	0,278	0,389	0,499	0,583	44,53
Траверса нижняя	1,25	62,5	0,44	2,3	0,191	0,268	0,701	0,456	26,06
Траверса верхняя	1,35	67,5	0,44	2,3	0,191	0,268	0,701	0,456	28,15

Расчетная ветровая нагрузка на опору ЛЭП сведена в таблицу 3.7.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	АСИ-278.08.04.01.2018	Лист
							39

Таблица 3.7 – Расчетная ветровая нагрузка на опору ЛЭП

Элемент опоры	Нормативная статическая ветровая нагрузка, кг	Нормативная пульсационная ветровая нагрузка, кг	Расчетная ветровая Нагрузка, кг
Подставка +9	990,79	495,40	2125,24
Нижняя секция	679,09	339,54	1456,64
Верхняя секция	866,24	433,12	1858,08
Тросостойка	169,35	84,68	363,26
Траверса 5,0	44,53	22,27	95,52
Траверса нижняя	26,06	13,03	55,91
Траверса верхняя	28,15	14,07	60,38

5. Сейсмическая нагрузка

Для расчета на сейсмическое воздействие используется синтезированная акселерограмма для 7-балльного сейсмического воздействия по ДБН В.1.1-12:2006 «Строительство в сейсмических районах Украины» [32]. Общее время нагрузки 131,25 сек., с шагом 0,0125 сек. На рисунке 3.4 показана зависимость ускорения земной поверхности от времени. Максимальное значение ускорения $1,1934 \text{ м/с}^2$.

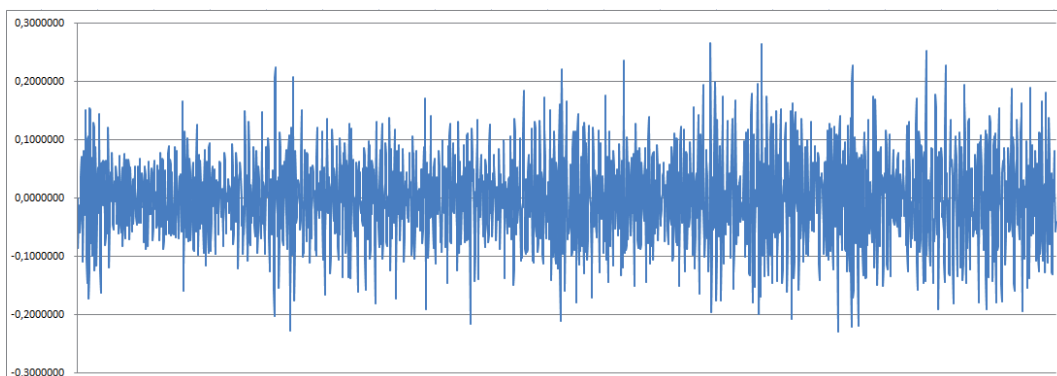


Рисунок 3.4 – Акселерограмма 7-балльного сейсмического воздействия

Сочетания нагрузок

Участок ЛЭП рассчитывается на три сочетания нагрузок:

- Собств. Вес + ветровая нагрузка
- Собств. Вес + гололедная нагрузка + ветровая нагрузка
- Собств. Вес + сейсмическое воздействие

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

Лист

40

4. Статический и динамический расчёты участка ЛЭП

В данном разделе приведены результаты расчета участка ЛЭП на действие статических нагрузок в программных комплексах Лира-САПР, ANSYS, САПР-ЛЭП.

4.1 Статический расчет

Статический расчет участка ЛЭП выполнен на действие собственного веса опоры ВЛ, проводов и тросов, массы гирлянд изоляторов, гололедной нагрузки на провода и тросы.

4.1.1 Расчет опоры ЛЭП, проводов и тросов

В связи с необходимостью проверки правильности расчета в ПК Лира-САПР, был произведен расчет отдельно стоящей опоры ЛЭП в ПК ANSYS.

Расчет был произведен на такие нагрузки, как собственный вес элементов опоры, масса гирлянд изоляторов, а также расчетную ветровую нагрузку.

В результате расчета были получены и сопоставлены вертикальные перемещения опоры, вычисленные с помощью указанных ПК. Результаты представлены на рисунках 4.1-4.3.

Максимальные значения вертикальных перемещений в ПК Лира-САПР составляют 7,73 мм, а в ПК ANSYS – 8,02 мм. Погрешность расчета – 3,62%, что позволяет говорить об идентичности расчётных моделей.

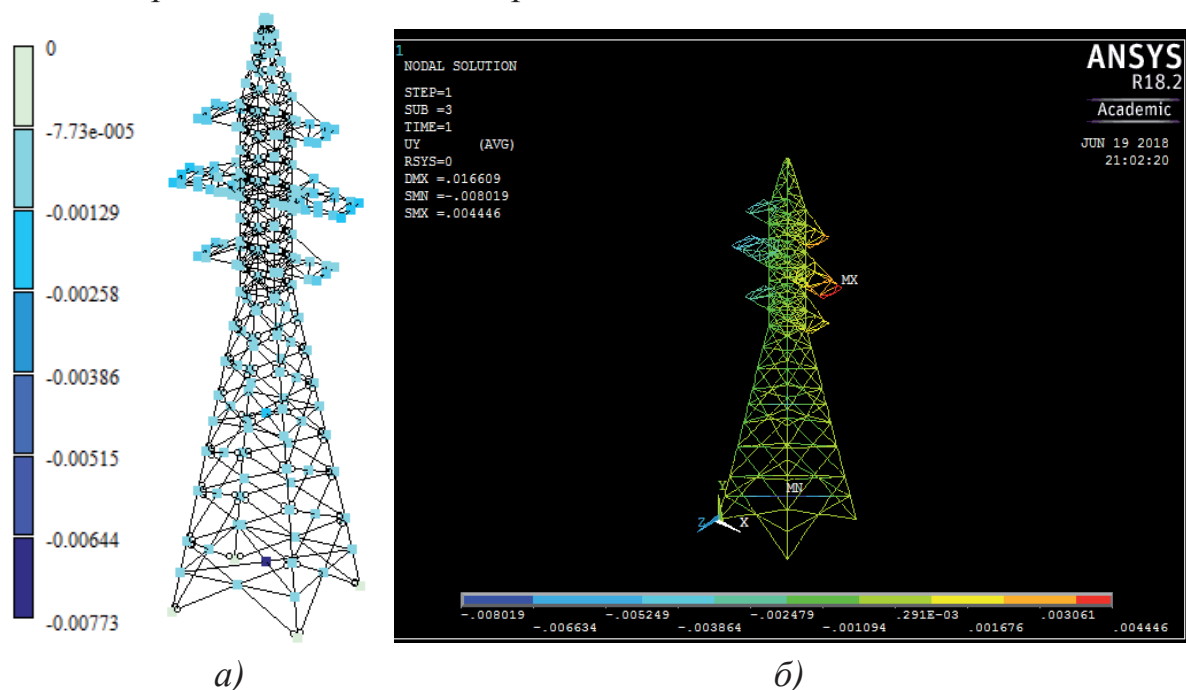


Рисунок 4.1 – Вертикальные перемещения опоры ЛЭП в (м):
а – в ПК Лира-САПР; б – в ПК ANSYS

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Был произведен расчет опоры ЛЭП вместе с проводами и тросами в ПК Лира-САПР.

Для того, чтобы убедиться в правильности расчета провода и троса в ПК Лира-САПР, был произведен механический расчет провода и троса в специализированной программе САПР-ЛЭП. Исходные данные для расчета проводов и тросов представлены на рисунке 4.2.

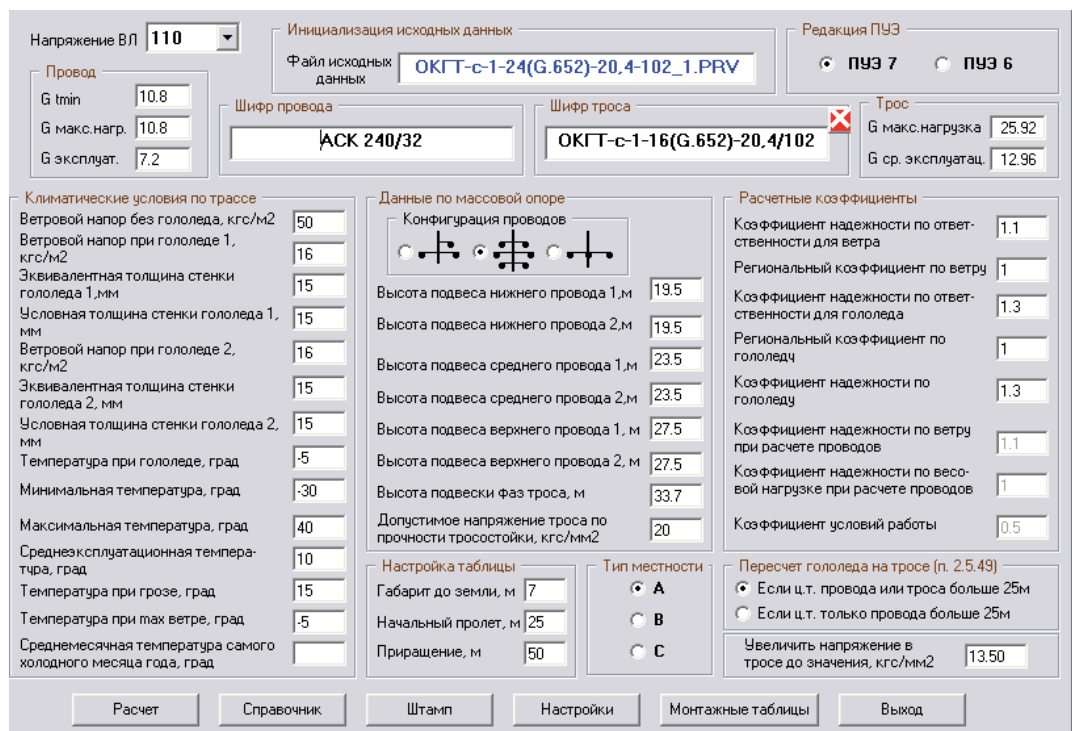


Рисунок 4.2 – Механический расчет провода и троса в ПК САПР-ЛЭП

Полученные результаты расчета в ПК САПР-ЛЭП представлены в приложении Г.

В ПК Лира-САПР были смоделированы нелинейные загрузки для статического расчета участка ЛЭП (рисунок 4.3).

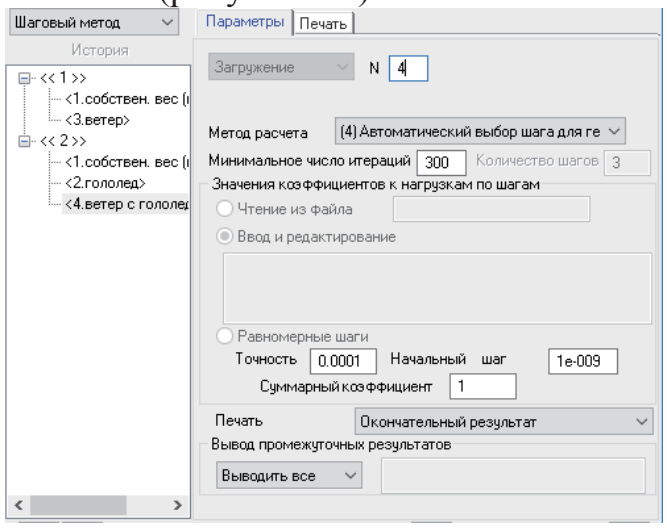


Рисунок 4.3 – Моделирование нелинейных загрузений

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Результаты максимальных прогибов проводов и тросов на статический расчет показаны на рисунках 4.4 и 4.5.

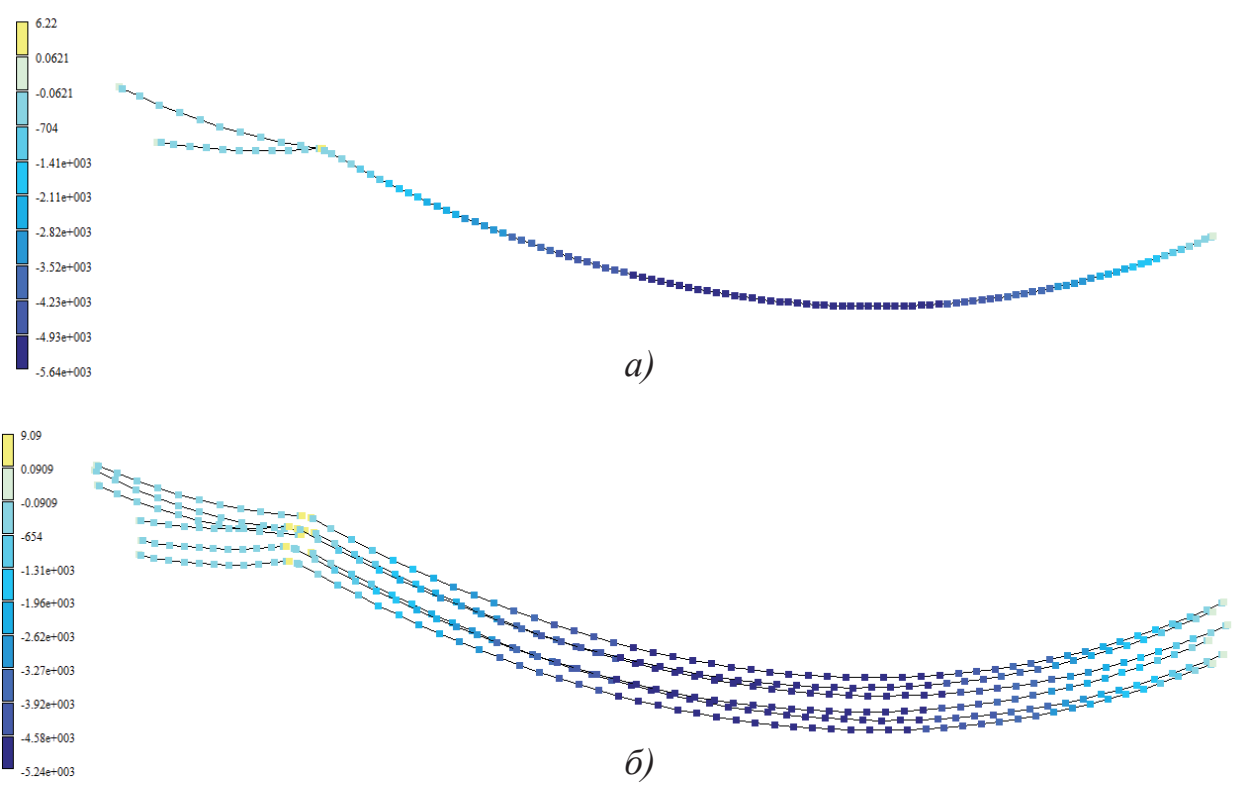
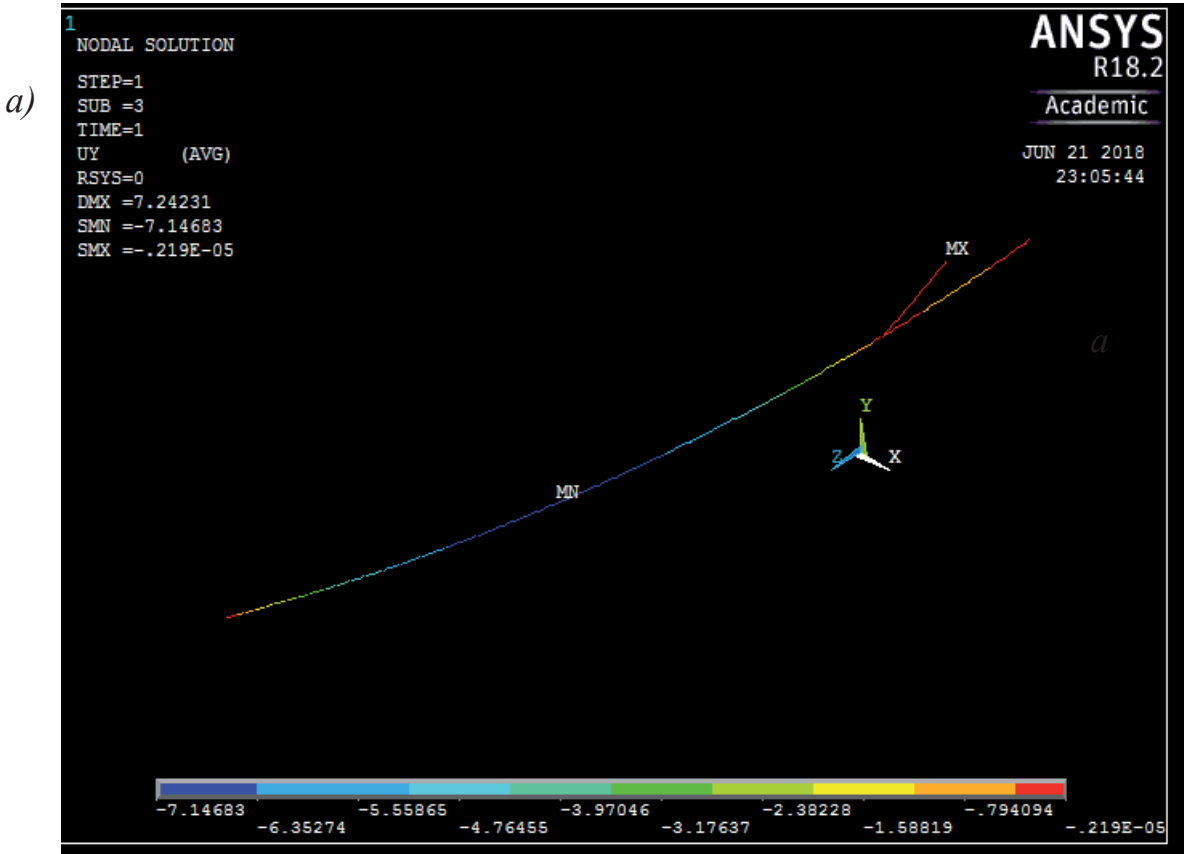


Рисунок 4.4 – Максимальные прогибы в мм в ПК Лири-САПР:
а – тросов, б – проводов



Ивн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

б)

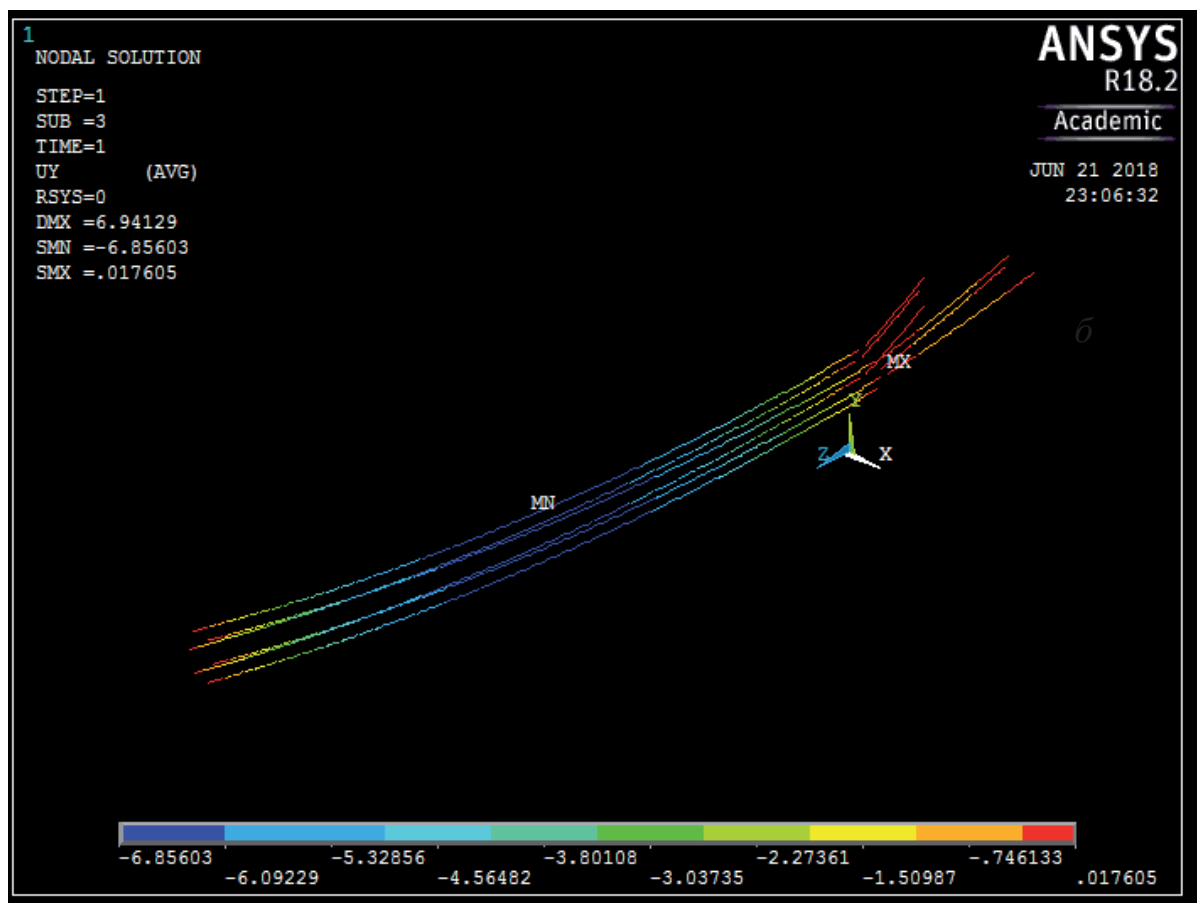


Рисунок 4.5 – Максимальные прогибы в метрах в ПК ANSYS:
а – тросов, б - проводов

Результаты расчета проводов и тросов сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Сравнение результатов провиса проводов и тросов в разных программных комплексах

Режим	Пролет	Провод АСК 240/32			Трос ОКГТ		
		Ли́ра-САПР	САПР-ЛЭП	ANSYS	Ли́ра-САПР	САПР-ЛЭП	ANSYS
Без гололеда, при тах ветре	220 м	4,12	4,44	5,39	4,21	4,48	5,47
	50 м	0,244	0,22	0,338	0,282	0,25	0,367
	36,11 м	0,151	0,149	0,196	0,129	0,134	0,168
С гололедом, при ветре	220 м	5,24	5,32	6,86	5,64	5,59	7,15
	50 м	0,402	0,37	0,557	0,394	0,36	0,487
	36,11 м	0,273	0,242	0,245	0,221	0,209	0,308

Результаты перемещения участка ЛЭП с проводами и тросами в программных комплексах представлены на рисунках 4.6.

Сравнивая результаты расчета проводов и тросов в программных комплексах Ли́ра-САПР, ANSYS и САПР-ЛЭП видно, что они соизмеримы.

Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

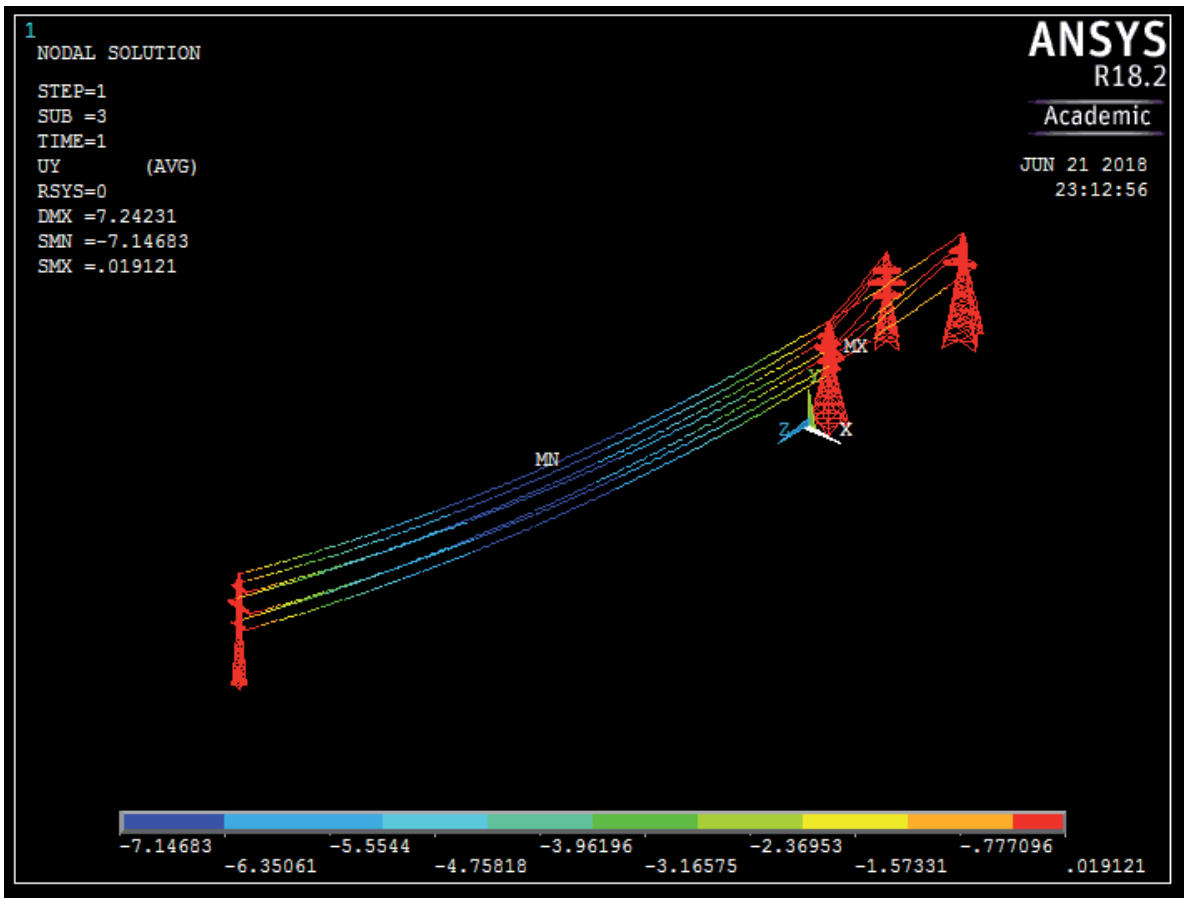
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	-------	------	--------	-------	------

АСИ-278.08.04.01.2018

Лист

44

a)



б)



Рисунок 4.6 - Вертикальные перемещения участка ЛЭП в (м):
а – в ПК ANSYS; б – в ПК Ли́ра-САПР

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

4.2 Динамический расчет

К динамическому расчету относятся сейсмическая нагрузка на участок ЛЭП.

4.2.1 Характеристики собственных колебаний РДМ

В данном разделе произведено определение собственных частот и форм колебаний одной опоры ВЛ типа У110-2П+9.

На рисунке 4.7 представлены первая и вторая изгибная, а также крутильная формы колебаний опоры в ПК Лири-САПР.

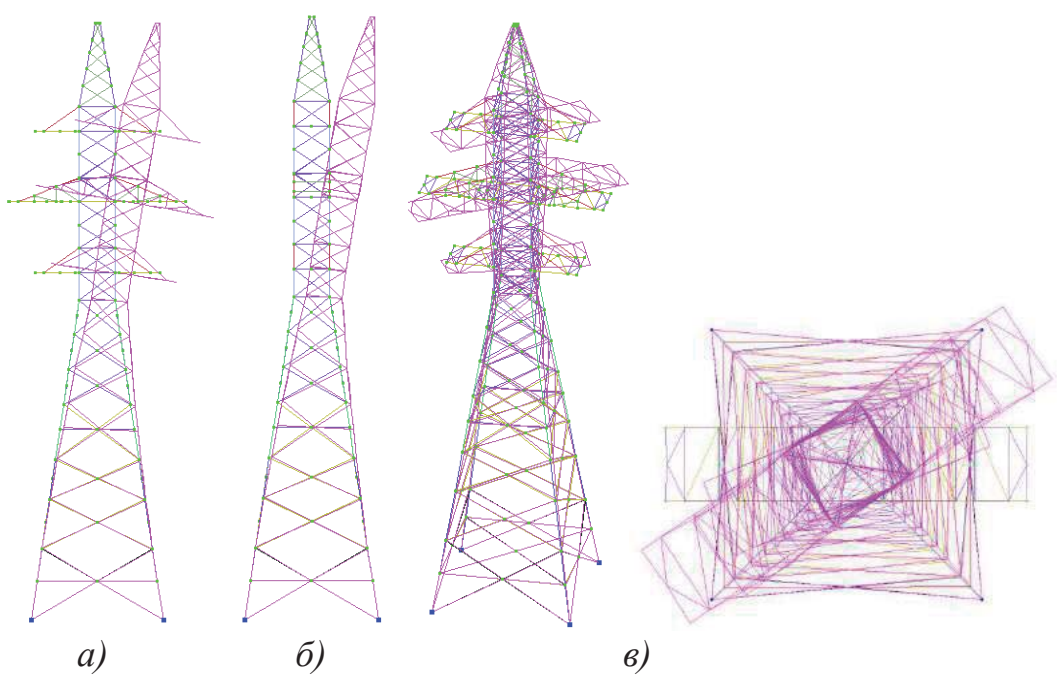


Рисунок 4.7 – Собственные формы колебаний опоры в ПК Лири-САПР
а – 1-ая изгибная форма колебаний; б - 2-ая изгибная форма колебаний; в - крутильная форма колебаний

На рисунке 4.8 представлены первая и вторая изгибная и крутильная формы колебаний опоры в ПК ANSYS

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	АСИ-278.08.04.01.2018	Лист
							46

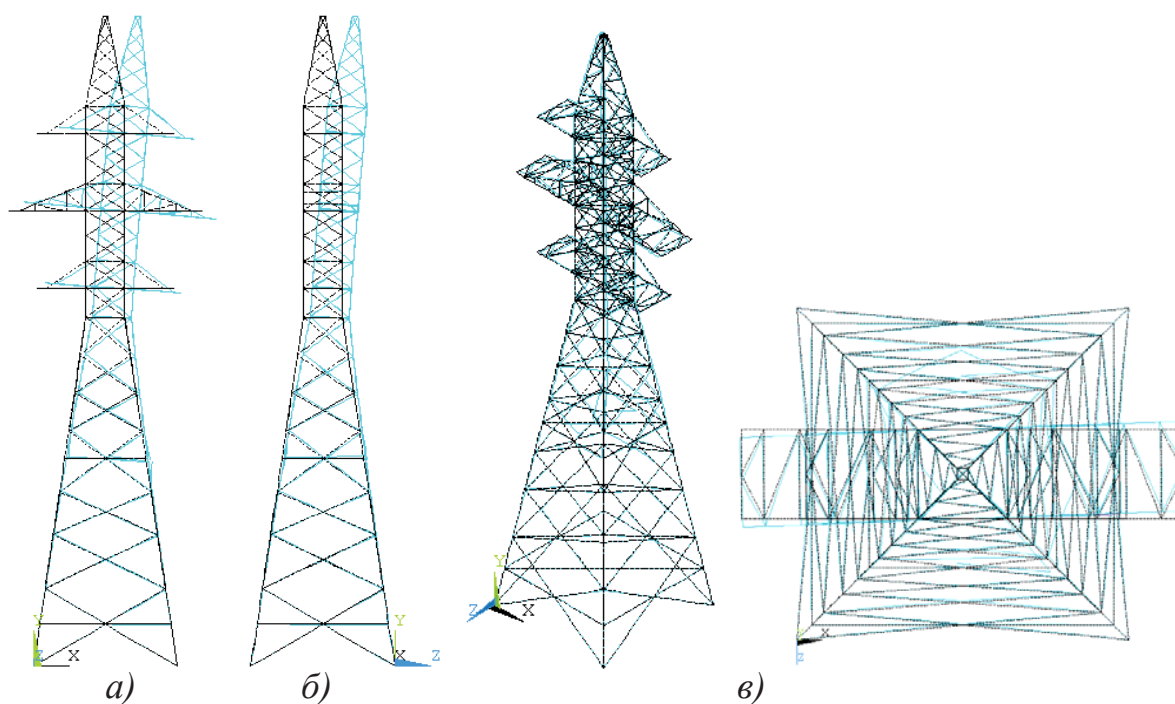


Рисунок 4.8 – Собственные формы колебаний опоры в ПК ANSYS
а – 1-ая изгибная форма колебаний; б - 2-ая изгибная форма колебаний; в - крутильная форма колебаний

В сравнительной таблице 4.2 приведены собственные частоты колебаний опоры и соответствующие им формы.

Таблица 4.2 – Собственные частоты колебаний опоры

№ формы	Частоты, Гц		Характер колебаний
	ПК Лира-САПР	ПК ANSYS	
1	4,151	4,102	1-ая изгибная форма колебаний опоры
2	4,191	4,146	2-ая изгибная форма колебаний опоры
3	9,298	9,493	Крутильная форма колебаний опоры

Анализ результатов полученных форм и частот, представленных в таблице, позволяет отметить, что собственные частоты опоры достаточно низки и находятся в диапазоне от 4 до 10 Гц. Различия между значениями частот собственных колебаний в используемых программных комплексах не превышает 3%, следовательно, можно сделать вывод об идентичности расчетных моделей обоих программных комплексов.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
--------------	--------------	--------------

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	-------	------	--------	-------	------

АСИ-278.08.04.01.2018

Лист

47

Убедившись в идентичности модального анализа в ПК Ли́ра-САПР и ANSYS для отдельно стоящей опоры, был произведен модальный анализ для всего участка ЛЭП .

Частота и масса обратно пропорциональны, следовательно чем больше масса, тем меньше частота колебаний. Таким образом, частота собственных колебаний участка ЛЭП должна уменьшиться.

В результате расчета в программных комплексах был получен большой диапазон частот и форм собственных колебаний. Из всего диапазона была найдена только 1-я изгибная форма колебаний, которой соответствуют частоты 0,401 Гц и 0,404 Гц для ПК Ли́ра-САПР и ANSYS, соответственно. Погрешность расчета составляет 0,748 %, что говорит об идентичности расчетных моделей.

На рисунке 4.9 показана 1-я форма колебаний в используемых ПК.

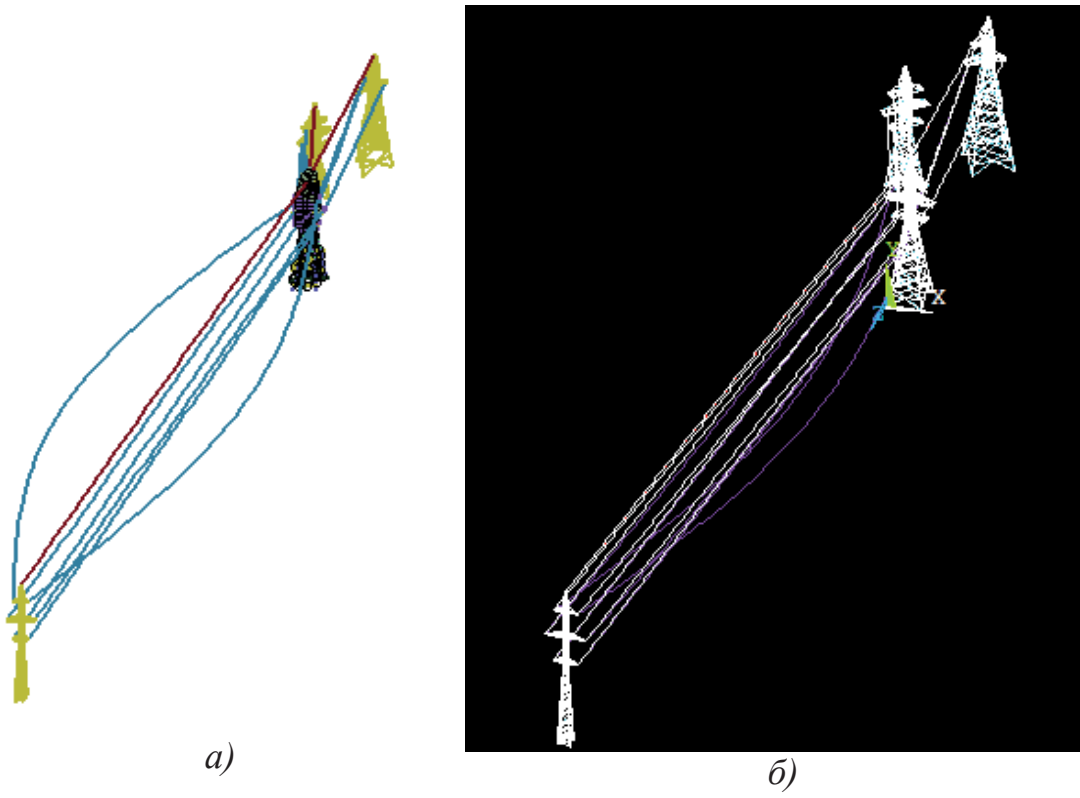


Рисунок 4.9 – Первая изгибная форма колебаний:
а – в ПК Ли́ра-САПР; б – в ПК ANSYS

4.2.2 Расчет на действие ветровой нагрузки

В данном пункте проводится расчет на действие расчетной ветровой нагрузки рассчитанной в подпункте 3.2 данной ВКР.

Пульсационная составляющая ветра, действующая на участок ЛЭП учитывается в статической постановке задачи с использованием динамического коэффициента $k = 1,5$ от статической составляющей.

Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Результаты расчета на действие расчетной ветровой нагрузки в используемых программных комплексах представлены на рисунках 4.10 и 4.11.

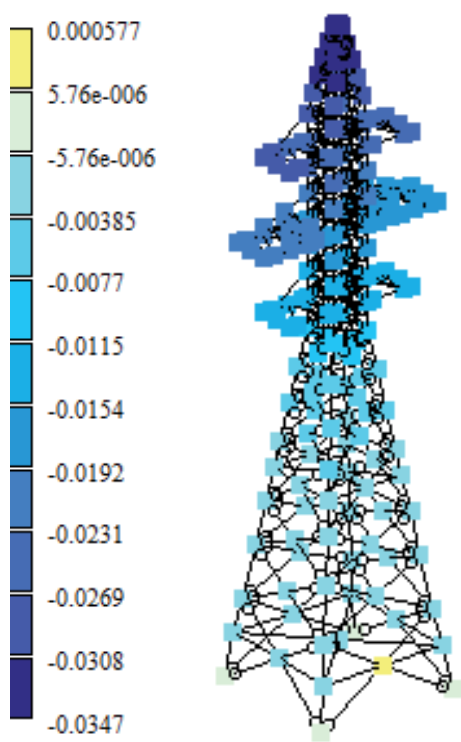
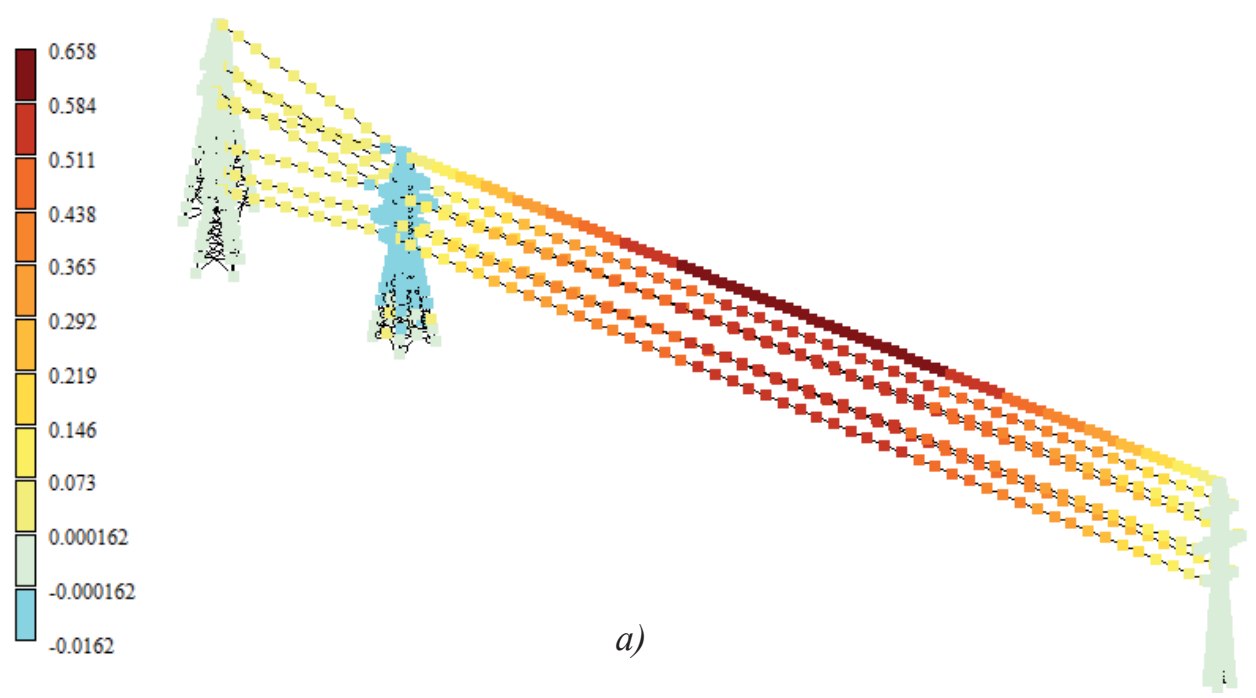


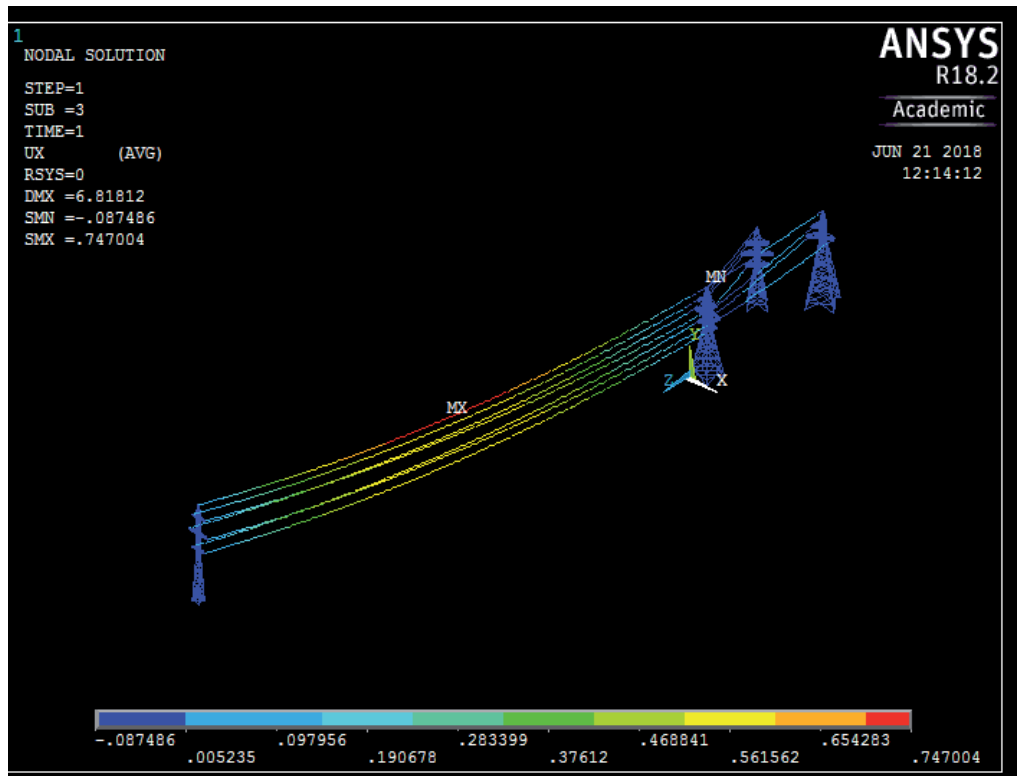
Рисунок 4.10 – Горизонтальные перемещения участка ЛЭП в ПК Лири-САПР от расчетной ветровой нагрузки:
а – на участок ЛЭП; б – на опору

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

a)



b)

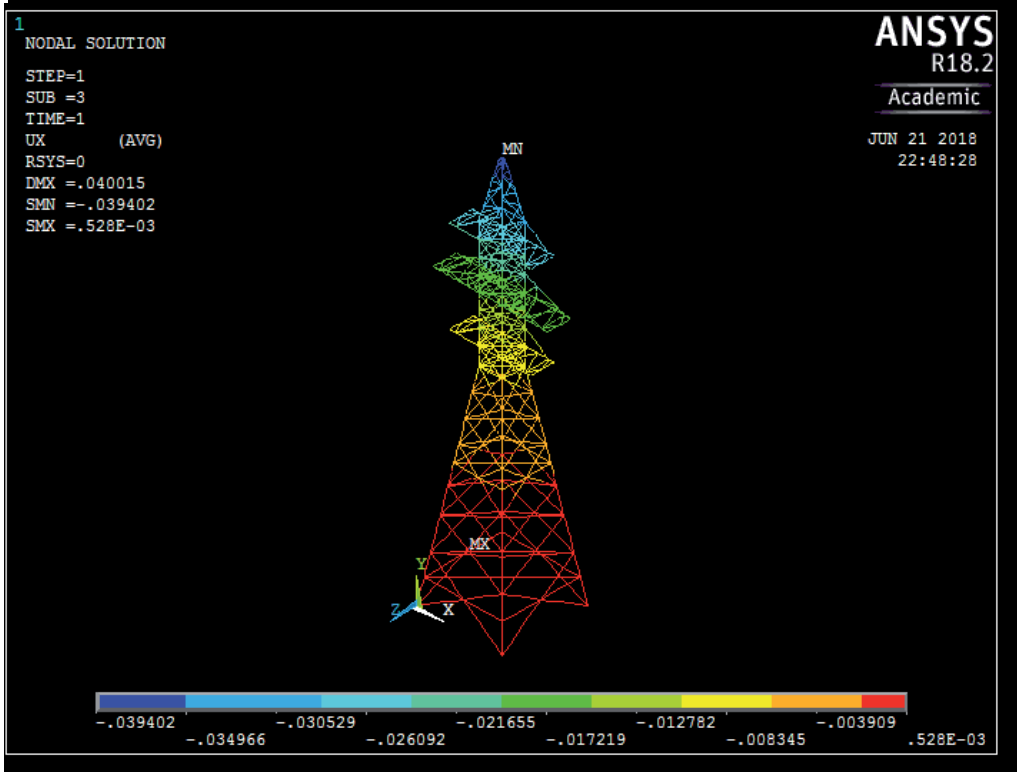


Рисунок 4.11 – Горизонтальные перемещения участка ЛЭП в ПК ANSYS от расчетной ветровой нагрузки:
 а – на участок ЛЭП; б – на опору

Максимальные перемещения опоры, проводов и тросов представлены в таблице 4.3.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

Таблица 4.3 – Горизонтальные перемещения от расчетной ветровой нагрузки

ПК Лира-САПР		ПК ANSYS	
Проводов и тросов	Опоры ЛЭП	Проводов и тросов	Опоры ЛЭП
0,658	0,0347	0,747	0,0394

При расчете только на статическую составляющую ветровой нагрузки горизонтальные перемещения проводов и тросов, а также опоры получаются меньше в $\sim 1,75$ раз меньше.

Согласно таблицы 46 СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [19] относительное отклонение верха опоры не должно превышать значения $l/100$, где l – высота опоры, таким образом предельное значение отклонения верха рассчитываемой опоры 339 мм. Полученные значения не превышают предельного.

4.2.3 Расчет на сейсмическое воздействие

В данном подпункте произведен расчет участка ЛЭП на сейсмическое воздействие в ПК Лира-САПР.

Согласно п. 5.1 [24] ветровые нагрузки при расчете на сейсмическое воздействие не учитываются. Следовательно, в данном расчете учитываются собственный вес конструкции опоры, проводов и тросов, массы гирлянд изоляторов, а также гололедная нагрузка на провода и тросы.

Для расчета на сейсмическое воздействие в ПК Лира-САПР используется акселерограмма. На рисунке 4.12 показано формирование динамического нагружения в ПК Лира-САПР. Для этого выполняется сбор масс с коэффициентами 0,9 для постоянного заргужения (собственный вес) и 0,5 для кратковременного заргужения (гололедная нагрузка на провода и тросы).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									51
			АСИ-278.08.04.01.2018						
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

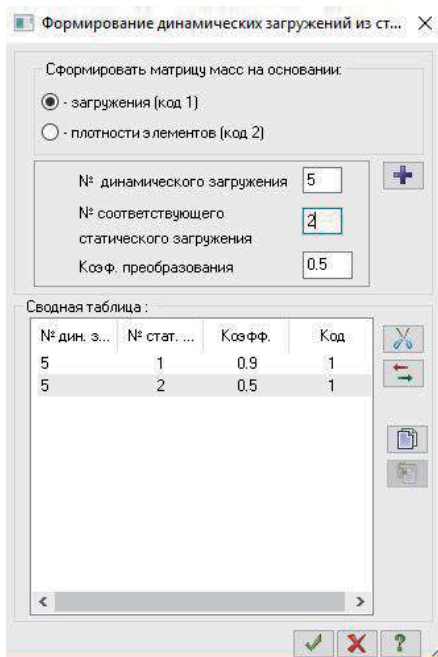


Рисунок 4.12 – Формирование динамических гаружений

На рисунке 4.13 показано задание динамического нагружения в ПК Лира-САПР, а также характеристики расчета по акселерограмме.

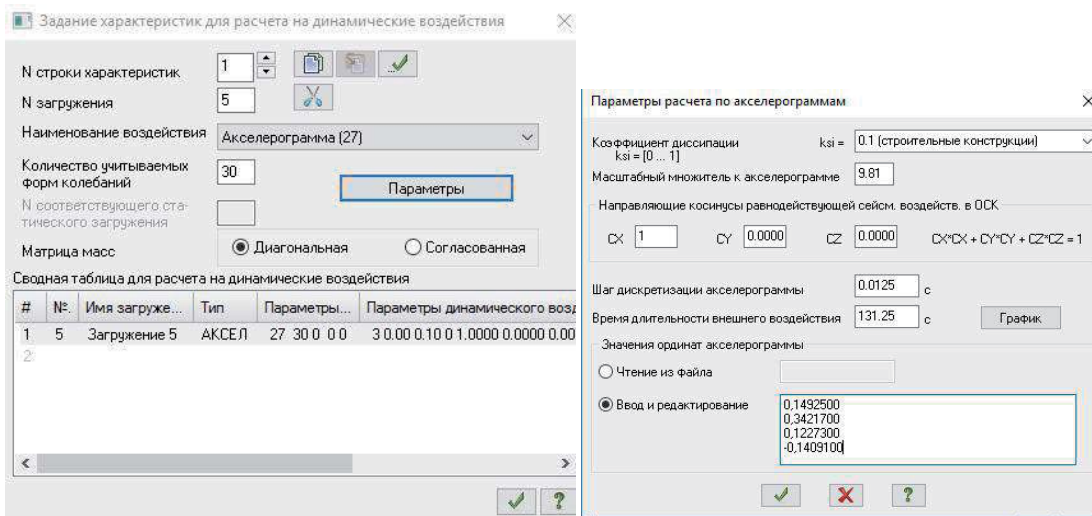


Рисунок 4.13 – Характеристики расчета на динамическое воздействие (сейсмика)

Результатами расчета на сейсмическое воздействия являются перемещения и усилия в элементах опоры. Фрагменты результатов расчета показан на рисунке 4.14.

Изм.	Колуч	Лист	№дож.	Подп.	Дата
Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

а)

1 (I) - РСН	10	198	1	471,53	-0,00044	1,4991	-1,972	2,5606	1,94
1 (I) - РСН	10	198	2	472	-0,00044	-2,5452	-2,0714	-1,32	1,94
1 (I) - РСН	10	199	1	491,15	-0,00045	-2,333	1,842	-1,3728	-1,9263
1 (I) - РСН	10	199	2	491,62	-0,00045	1,2519	1,7427	2,48	-1,9263
1 (I) - РСН	10	200	1	494,46	-0,00348	1,3774	-2,4015	2,389	0,9737
1 (I) - РСН	10	200	2	494,93	-0,00348	-3,5256	-2,5008	0,44585	0,9737
1 (I) - РСН	10	201	1	-544,03	-0,00117	-1,2427	2,1199	1,7945	1,8657
1 (I) - РСН	10	201	2	-543,61	-0,00117	2,4463	2,0316	-1,5216	1,8657
1 (I) - РСН	10	202	1	-544,24	0,00132	2,8252	-3,5043	-1,5454	-2,9334
1 (I) - РСН	10	202	2	-543,91	0,00132	-2,2129	-3,575	2,6305	-2,9334
1 (I) - РСН	10	203	1	-557,94	-0,0006	-1,9507	2,4701	2,6398	2,017
1 (I) - РСН	10	203	2	-557,48	-0,0006	2,8911	2,3707	-1,3946	2,017
1 (I) - РСН	10	204	1	-577,08	-0,00039	3,0164	-2,4441	-1,4447	-1,9844
1 (I) - РСН	10	204	2	-576,61	-0,00039	-1,9714	-2,5435	2,5243	-1,9844
1 (I) - РСН	10	205	1	-573,57	-0,00356	-1,8392	2,8526	2,4309	1,0068
1 (I) - РСН	10	205	2	-573,11	-0,00356	3,7673	2,7532	0,42184	1,0068
1 (I) - РСН	10	206	1	-543,7	0,00113	-1,3237	2,1775	-1,7841	-1,8478
1 (I) - РСН	10	206	2	-543,28	0,00113	2,4677	2,0892	1,5002	-1,8478
1 (I) - РСН	10	207	1	-543,92	-0,00131	2,8431	-3,5033	1,5241	2,9252
1 (I) - РСН	10	207	2	-543,59	-0,00131	-2,1937	-3,574	-2,6402	2,9252
1 (I) - РСН	10	208	1	-557,52	0,00062	-1,9319	2,4503	-2,6483	-2,0297
1 (I) - РСН	10	208	2	-557,05	0,00062	2,8701	2,3509	1,4116	-2,0297
1 (I) - РСН	10	209	1	-576,82	0,00039	2,9963	-2,428	1,4609	1,9985
1 (I) - РСН	10	209	2	-576,35	0,00039	-1,9593	-2,5274	-2,5361	1,9985
1 (I) - РСН	10	210	1	-573,31	0,00354	-1,8281	2,8429	-2,4418	-1,0156

б)

1 (I) - РСН	40	114,672	0,034611	-12,9122	0,102466	12,472	-0,10587
1 (I) - РСН	41	68,8847	-0,1203	8,01329	0,042446	10,207	0,23889
1 (I) - РСН	42	83,1958	-0,33197	8,73589	-0,05707	11,3899	0,671542
1 (I) - РСН	43	68,8833	0,107851	8,01092	-0,00702	10,2076	-0,2408
1 (I) - РСН	44	55,1961	-0,25885	7,03855	0,166175	9,50567	-0,8112
1 (I) - РСН	45	98,0086	-0,01093	9,22423	0,108482	11,3813	-1,37479
1 (I) - РСН	46	112,749	-0,07322	9,57461	-0,05875	12,3175	0,851584
1 (I) - РСН	47	112,751	0,051724	9,56592	0,050253	12,3291	-0,85359
1 (I) - РСН	48	98,01	-0,00525	9,2295	-0,1044	11,3808	1,37021
1 (I) - РСН	49	114,42	0,044094	9,59683	0,063051	12,4136	-0,09891
1 (I) - РСН	50	145,371	-0,02193	10,0393	0,043743	12,4072	-0,0276
1 (I) - РСН	51	145,387	-0,02177	10,0639	-0,02241	12,4149	0,005351
1 (I) - РСН	52	42,2694	0,126899	-8,14131	-0,53038	7,00882	-0,01914
1 (I) - РСН	53	224,03	-0,22365	-0,50406	-6,22005	11,5234	-33,1486
1 (I) - РСН	54	224,358	-0,10758	-0,39915	5,16381	17,1017	34,6585
1 (I) - РСН	55	223,914	0,043503	-3,4315	-5,00575	28,066	31,1763
1 (I) - РСН	56	161,841	0,004444	10,1578	-0,02728	12,1504	-0,09907
1 (I) - РСН	57	175,9	-0,02769	-11,481	-0,09312	12,3528	-0,10343
1 (I) - РСН	58	187,821	0,033569	5,85418	0,056456	12,9022	-0,17532
1 (I) - РСН	59	199,691	0,010116	-7,60748	-0,07613	12,028	0,460629
1 (I) - РСН	60	221,663	0,1285	-3,86516	-0,58166	22,7109	7,16719
1 (I) - РСН	61	209,798	-0,30694	2,19507	0,243852	13,5198	-0,54369
1 (I) - РСН	62	176,121	-0,20859	7,85362	0,023371	12,6609	0,334125
1 (I) - РСН	63	188,121	0,162377	-9,5226	-0,00843	12,6326	0,234463
1 (I) - РСН	64	200,015	-0,09735	3,8962	0,042814	11,8877	0,500053

Рисунок 4.14 – Фрагменты результатов расчета опоры ЛЭП на сейсмическое воздействие:

а – усилия в элементах опоры; б – перемещения узлов

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата
------	-------	------	-------	-------	------

АСИ-278.08.04.01.2018

Лист

53

Максимальное растягивающее/сжимающее усилия в элементе опоры 577,08 кН в поясе нижней секции, что соответствует напряжению в поясе 18,36 кН/см², а максимальное перемещение узла конструкции опоры составляет 224,358 мм, узел расположен на вершине опоры.

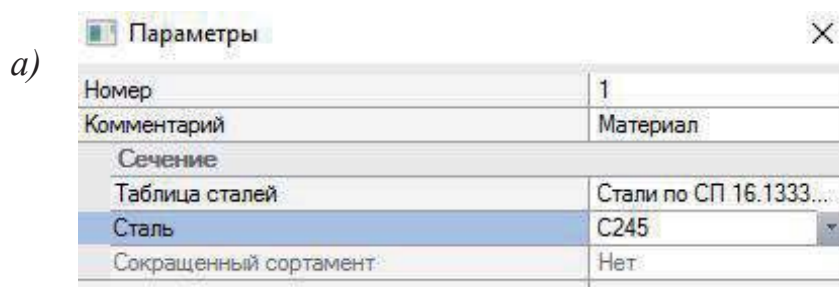
4.3 Конструирование опоры ЛЭП в ПК Лири-САПР

4.3.1 Конструирование опоры в нормальном режиме работы

Проводится проверка заданных сечений элементов опоры ЛЭП в ПК Лири-САПР на действие статических нагрузок в нормальном режиме работы опоры.

Для данного расчета задаются необходимые характеристики в ПК Лири-САПР, в их числе марка стали и расчетные длины элементов опоры. Расчетные длины элементов пространственных решетчатых конструкций задаются согласно п. 10.2 [СП 16]

На рисунке 4.15 показаны характеристики для подбора сечений в ПК Лири-САПР.



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018				
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

б)

Параметры	
Нормы проектирования	СП 16.13330.2011
Номер	1
Комментарий	Пояс
Тип элемента	
Ферменный	<input checked="" type="radio"/>
Колонна	<input type="radio"/>
Балка	<input type="radio"/>
Коэффициенты условий работы и надежности	
Ус устойчивости	1
Ус прочности	1
Уп	1
Дополнительный Ус=0.8	<input type="checkbox"/>
Предельная гибкость	
элемент пояса или опорный раскос фермы	<input checked="" type="radio"/>
неопорный элемент решетки фермы	<input type="radio"/>
одиночный элемент структурной конструкц...	<input type="radio"/>
прочий	<input type="radio"/>
На сжатие	180-60а
На растяжение	300
Расчетные длины	
Kz	1
Ky	1
использовать коэффициенты длины	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 4.15 – Параметры для конструирования в ПК Лири-САПР:
а – выбор материала; б – расчетные длины элементов конструкции

Полученные результаты проверки элементов конструкции по двум предельным состояниям и расчета на местную устойчивость представлены на рисунке 4.16.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018				
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	55	

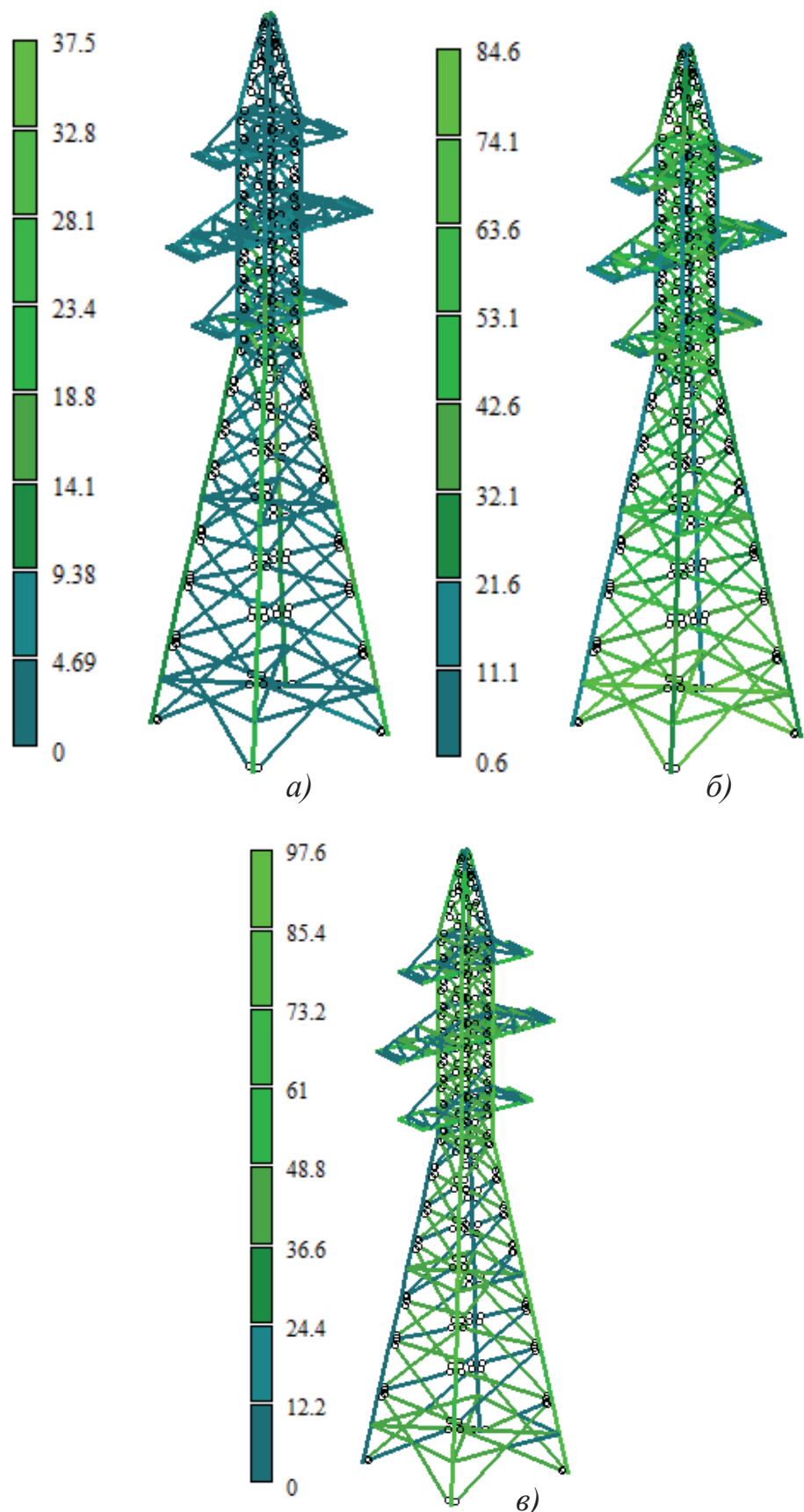


Рисунок 4.16 – Результаты конструирования элементов опоры ВЛ:
а – результаты расчета по 1ПС; *б* – результаты расчета по 2ПС; *в* -
 результаты расчета на местную устойчивость элементов.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

АСИ-278.08.04.01.2018

В данном расчете на действие статических нагрузок запас прочности по 1 ПС составляет 62,5%, по 2 ПС – 15,4%, а запас прочности на местную устойчивость составляет 2,4%.

Из результатов расчета следует, что типовым проектом заложен запас прочности по 1ПС для того, чтобы данный тип опор применять для различных климатических воздействий (ветровая нагрузка, гололед), а также для нагрузок от более тяжелых проводов, тросов и гирлянд изоляторов.

4.3.2 Конструирование опоры на особое сочетание нагрузок

Так как в типовом проекте элементы опор рассчитаны на действие только статических нагрузок, необходимо провести проверку сечений опоры на действие особых сочетаний нагрузок.

В программном комплексе Лира-САПР проводится расчет на прочность элементов опоры на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмического воздействия.

Согласно ПУЭ [1] опоры ВЛ при сейсмических воздействиях рассчитываются по первой группе предельных состояний.

Полученные результаты проверки элементов конструкции по первому предельному состоянию представлены на рисунке 4.17.

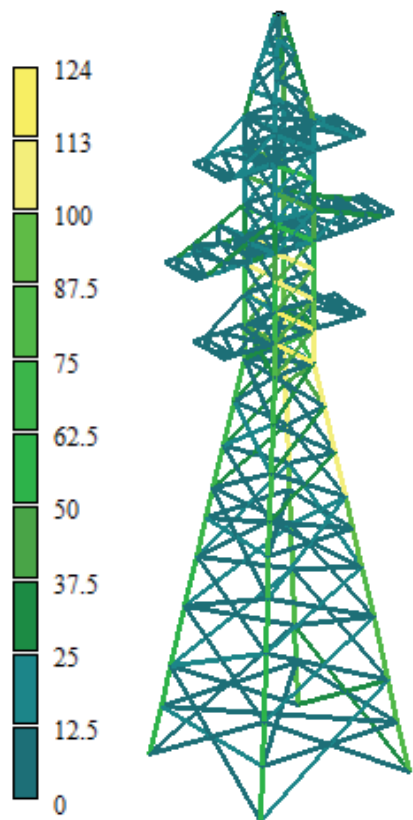


Рисунок 4.17 – Результаты конструирования опоры ВЛ по 1ПС

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Из результатов расчета, изображенный на рисунке, видно, что пояса нижней секции опоры, а также некоторые раскосы верхней секции превышают запас прочности, следовательно, необходимо произвести усиление этих элементов.

Программный комплекс Ли́ра-САПР не только позволяет вычислить запас прочности элементов, но и подобрать новые сечения, если назначенные не удовлетворяют требованиям расчета.

Результаты подбора новых сечений элементов опоры представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Замена элементов опоры

Элемент опоры	Назначенное сечение	Подобранное сечение
Пояс нижней секции	└ 160x160x10	└ 160x160x12
Пояс верхней секции	└ 140x140x9	└ 140x140x10
Раскосы верхней секции	└ 70x70x6	└ 80x80x6

Результаты расчета на прочность по 1ПС после замены уголков показаны на рисунке 4.18.

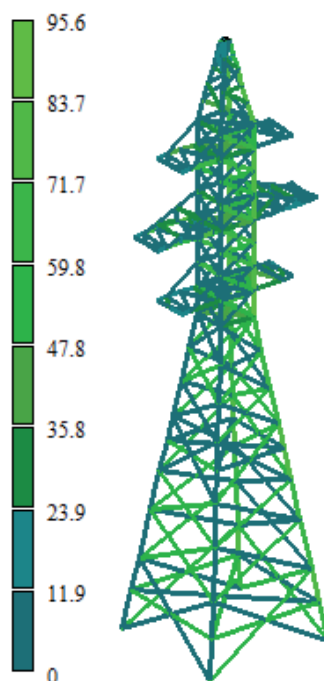


Рисунок 4.18 – Результаты расчета по 1ПС после замены элементов опоры
Запас прочности опоры при замене элементов опоры по 1ПС 4,4%.

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были созданы конечно-элементные модели участка ЛЭП в программных комплексах Лира-САПР и ANSYS.

Выполнен модальный анализ отдельно опоры, а также всего участка ЛЭП. Результатом анализа являются формы собственных колебаний и соответствующие им частоты. Погрешность обоих расчетов не превысила 3%.

Выполнен прочностной расчет модели в ПК Лира-САПР и ANSYS на действие статических и динамических нагрузок с учетом геометрической нелинейности (провис проводов). Сравнение результатов показало, что расчеты сопоставимы.

Был произведен механический расчет провода и троса в ПК САПР-ЛЭП и проведено сравнение расчета проводов и тросов с результатами, полученными в программных комплексах Лира-САПР и ANSYS. Разброс максимальных результатов получился 1-2 метра. В целом результаты сопоставимы.

Выполнено конструирование элементов опоры ЛЭП в программном комплексе Лира-САПР на работу участка ЛЭП в нормальном режиме, а также на действие сейсмических сил. Результаты показали, что запас прочности элементов опоры ВЛ, назначенных по типовому проекту, обеспечен в нормальном режиме. Однако по результатам конструирования элементов опоры при сейсмическом воздействии прочность конструкции по 1ПС не обеспечивается 24% , необходимо усиление элементов опоры.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							АСИ-278.08.04.01.2018	Лист
										59
			Изм.	Колуч	Лист	№док.	Подп.	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила устройства электроустановок. Издание 7
2. Костин, В.Н. Системы электроснабжения. Конструкции и механический расчет: Учебное пособие / В. Н. Костин – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2012. - 93 стр.
3. Федеральный закон "О стандартизации в Российской Федерации" от 29.06.2015 №162-ФЗ
4. Постановление РФ от 19.11.2008 №858. «О порядке разработки и утверждения сводов правил»
5. Сухов, М. Ф. Нелинейные задачи строительной механики: учеб. пособие / М.Ф. Сухов, Д.А. Кожанов – Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ , 2017. – 66 с.
6. Трушин, С. И. Метод конечных элементов. Теория и задачи / С. И. Трушин – Москва: Изд-во АСВ, 2008. – 256 с.
7. Рождественский, В.Б. Верификационный отчет по программному комплексу "ЛИРА-САПР" Том 1. Основные возможности. Библиотека конечных элементов. Примеры применения / В.Б. Рождественский - Москва, 2015 г.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000. Информационная технология. Пакеты программ. Требование к качеству и тестирования. – М: Изд-во стандартов, 2001. – 30 с.
9. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения. – М: Изд-во стандартов, 1989. – 32 с.
10. <http://rusapr.ru/prod/progs/element.php?ID=687>
11. Агапов, В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций / В. П. Агапов – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 248 с.
12. Маковкин, Г.А. Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела. Учебное пособие. Часть 1 / Г. А. Маковкин, С. Ю. Лихачева – Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2012. – 71 с.
13. <https://www.liraland.ru/lira/>
14. Клебанов, Я. М. Использование программного комплекса ANSYS в учебном процессе / Я. М. Клебанов, А. Н. Давыдов, В. Л. Папировский – Самара: Изд-во СГТУ, 2004. – 56 с.

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
--------------	--------------	--------------

							АСИ-278.08.04.01.2018	Лист
Изм.	Колуч	Лист	№док	Подп.	Дата			60

15. Жидков, А. В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования / А. В. Жидков – Н. Новгород: Изд-во НГУ, 2006. – 115 с.

16. Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя / К. А. Басов – М: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

17. Федеральный закон "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" от 30.12.2009 №384-ФЗ

18. ГОСТ 27772-2015. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. – М: Изд-во стандартов, 2016. – 22 с.

19. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. – М: Изд-во стандартов, 2017. – 148 с.

20. СТО 56947007-29.240.55.192-2014. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35 – 750 кВ. - ОАО «ФСК ЕЭС», 2014. – 72 с.

21. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. – М: Минрегион России, 2012. – 124 с.

22. Верескун, А. В. Комплексное исследование влияния рисков природных и техногенных чрезвычайных ситуаций на безопасность жизнедеятельности населения Республики Крым и г. Севастополя / А. В. Верескун, Т. Ш. Файзулин, И. Ю Олтян и др. – М: МЧС России, 2015

23. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. – М: Изд-во стандартов, 2016. – 104 с.

24. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. – М: Изд-во стандартов, 2014. – 131 с.

25. ГОСТ 839-80* Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия. – М: Изд-во стандартов, 1980. – 24 с.

26. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.

27. <https://www.ansys.com/>

Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	АСИ-278.08.04.01.2018	Лист
							61

28. Городецкий, Д. А. Программный комплекс Лира-САПР 2013. Учебное пособие / Д. А. Городецкий, М. С. Барабаш, Р. Ю. Водопьянов и др.; под ред. Академика РААСН А. С. Городецкого. – М: Электронное издание, 2013. – 376 с.

29. 1187-УК000/15. Симферопольская ПГУ-ТЭС. Проектная и рабочая документация. Отчет по инженерно-геофизическим изысканиям (сейсмическое микрорайонирование). Книга 7, 2015. – 93 с.

30. Рудых, О. Л. Введение в нелинейную строительную механику / О. Л. Рудых, Г. П. Соколов, В. Л. Пахомов. – М: Издательство Ассоциации строительных вузов, 1998 – 103 с.

31. Рождественский, В.Б. Верификационный отчет по программному комплексу "ЛИРА-САПР" Том 1. Основные возможности. Библиотека конечных элементов. Примеры применения / В.Б. Рождественский – Москва, 2015 г.

32. ДБН В1.1-12:2006. Строительство в сейсмических районах Украины. – Киев: Минстрой Украины, 2006. – 87 с.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			АСИ-278.08.04.01.2018				
Изм.	Колуч	Лист	№ док.	Подп.	Дата		