МИНОБРНАУКИ РОССИИфедеральное государственное бюджетное образовательное учреждениевысшего образования«Самарский государственный технический университет»(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.Телефон: (846) 2784-311 Тел./факс (846) 2784-321. [rector@samgtu.ru](mailto:rector@samgtu.ru)

**Кафедра «Инженерные дисциплины»**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**по дисциплине «Техническая механика»**

**на тему: «****Механический расчет железобетонной анкерной одноцепной**

**опоры воздушной линии электропередачи»**

Вариант 15

Выполнил студент

гр. ЭС-209

Сасина Н.А

Проверил:

доцент кафедры

«Инженерные дисциплины»,

к.т.н. Альмеев Р.И.

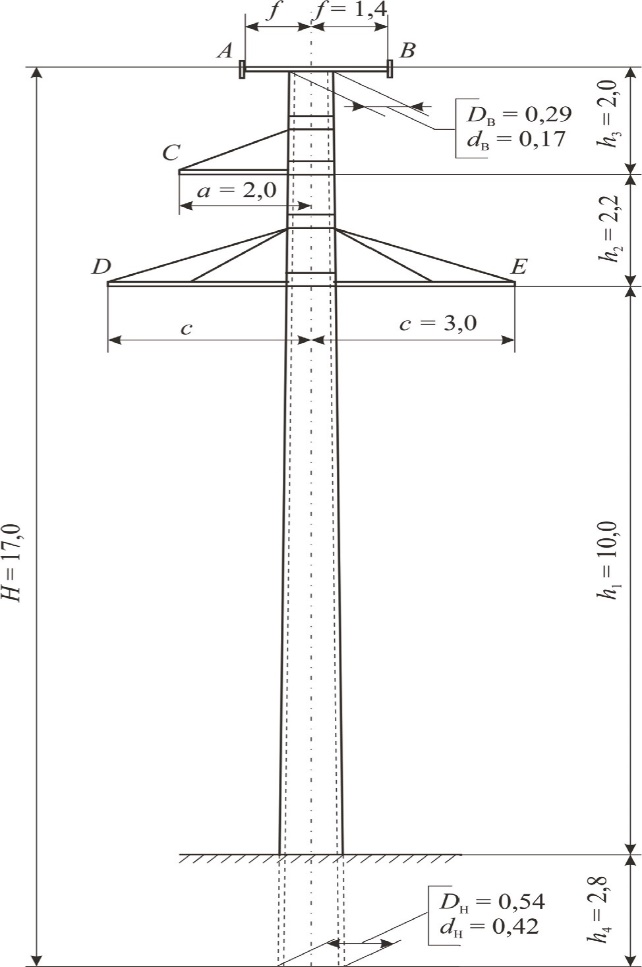
**Сызрань, 2021 г.**

**Исходные данные для расчета:**

**Вариант № 15**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Тип опоры ЛЭП** | **Мате-риал опоры** | **Номер режима** | **Нагрузки на опору в т. крепления проводов и троса, кН** | | | | **Горизонтальные нагрузки** | | **ɑ, град.** | **Вес опоры, кН** | **Давление ветра на опору\* Qв, кН или qв, кН/м2** | **Точки обрыва проводов и троса в аварийном режиме** |
| **Zп** | **Yп** | **Zт** | **Yт** | **Xп** | **Xт** | **ɑ** | **Q0** | **Qв, qв** | **В,Е** |  |
| **15** | **Анкерная одноцепная** | **Железо-бетон** | **|| нормаль-ный** | **37,3** | **75,9** | **20,5** | **47,3** | **52,5** | **27,8** | **38** | **35,2** | **0,19525** |

**\* давление ветра на опору во II нормальном режиме указано в учётом 0,25 от максимального расчетного**



Расчетные размеры опоры

Задание выдал доцент кафедры \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Р.И. Альмеев

«Инженерные дисциплины»

Задание принял студент гр. ЭС-209 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Н.А. Сасина

Зав. кафедрой «Инженерные

дисциплины», доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.А. Уютов

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение……………………………………………………………………3

1.Расчет ствола опоры в нормальном режиме………………………..4

1.1. Построение эпюры продольных сил N ……………………………..4

1.2. Построение эпюры изгибающих моментов в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП…...................................................................7

2. Расчет ствола опоры в аварийном режиме………………………11

2.1. Построение эпюры продольных сил N………………………………11

2.2. Построение эпюры изгибающих моментов в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП…………………………………………….13

2.3. Построение эпюры изгибающих моментов в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП……………………………………………..17

2.4. Построение эпюр крутящих моментов ………………………….17

3. Определение характеристик и прочности стойки железобетонной опоры……………………………………………………………………..19

4. Расчет траверсы………………………………………………………23

4.1. Выбор расчетной схемы и определение геометрических характеристик траверсы………………………………………………….23

4.2. Определение усилий в стержнях траверсы в нормальном режиме……………………………………………………………………..24

4.3. Определение усилий в стержнях траверсы в аварийном режиме……………………………………………………………………..26

4.4. Подбор углового сечения для тяги, работающей только на растяжение, по условию прочности на растяжение – сжатие…………27

4.5. Подбор равнобокого уголка для пояса траверсы по условию устойчивости методом последовательных приближений………………28

4.6 Определение критической силы и коэффициента запаса устойчивости……………………………………………………………30

Библиографический список……………………………………………31

Выводы……………………………………………………………….…32

**Введение**

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) служат для передачи и

распределения электрической энергии по проводам, расположенным на

открытом воздухе и прикрепленным с помощью изоляторов и линейной

арматуры к опорам или кронштейнам, стойкам на зданиях и инженерных

сооружениях (мостах, зданиях и т. д.). Основными элементами воздушных

линий являются провода, изоляторы, линейная арматура, опоры и

фундаменты.

На воздушных линиях переменного тока подвешивают не менее трех

проводов, составляющих одну цепь, на воздушных линиях постоянного тока

— не менее двух проводов.

По числу цепей воздушные линии делят на одноцепные, двухцепные и

многоцепные. Число цепей определяется схемой электроснабжения и

необходимой степенью резервирования потребителей электрической энергии.

Двухцепные линии могут быть выполнены на одноцепных или двухцепных

опорах.

Трасса воздушных линий должна выбираться по возможности

кратчайшей. В районах с большими отложениями гололеда, сильными

ветрами, лавинами, оползнями, камнепадами, болотами и т. п. необходимо по

возможности при проектировании предусматривать обходы особо

неблагоприятных мест, что должно быть обосновано сравнительными

технико-экономическими расчетами.

В зависимости от способа подвески проводов опоры делятся на две

группы:

а) опоры промежуточные, на которых провода закрепляются в

поддерживающих зажимах;

б) опоры анкерного типа, служащие для натяжения проводов; на этих

опорах провода закрепляются в натяжных зажимах.

**1. РАСЧЕТ СТВОЛА ОПОРЫ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ**

Рассматриваем опору как консольную балку с заделкой на

нижнем конце и начинаем построение всех эпюр внутренних усилий со

свободного конца. Начало отсчета координаты z выбираем в верхней точке

опоры, ось z направляем вниз.

**1.1 Построение эпюры продольных сил N**

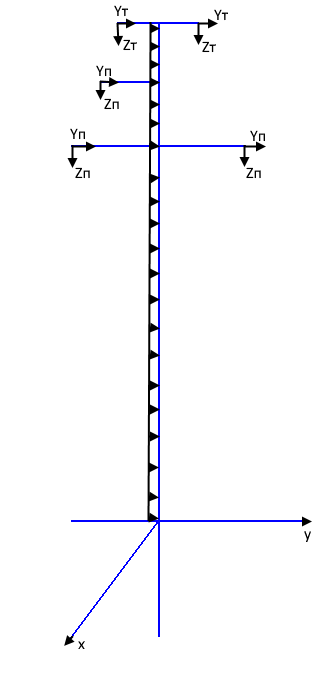
Продольная сила обусловлена действием вертикальных сил Zn, ZT

и силы тяжести конструкции Q0 Интенсивность вертикальной

равномерно распределенной нагрузки.

Вычисляем значения продольной силы в характерных сечениях и

строим эпюру:



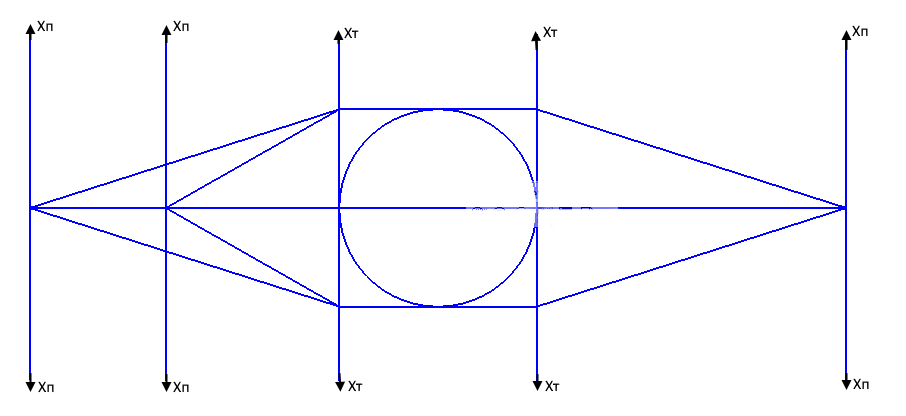


Рисунок 1- Расчетная схема опоры в нормальном режиме

|  |  |
| --- | --- |
| Z=0 |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

На эпюре продольных сил все наклоны прямые и параллельны.

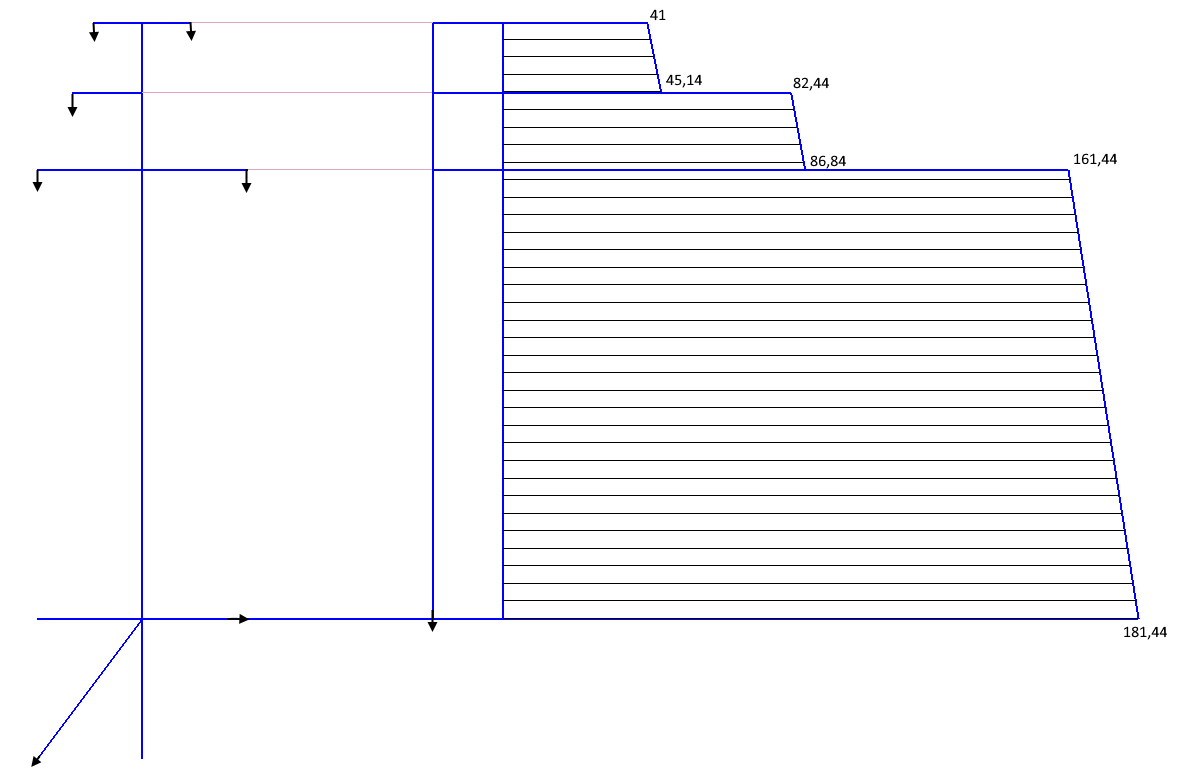


Рисунок 2- Эпюра ,

**1.2 Построение эпюры изгибающих моментов Мх в плоскости,**

**перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость yz).**

Железобетонная опора имеет вид полого усеченного конуса (в частном случае — цилиндра), для которого внешний и внутренний диаметры нижнего основания соответственно равны DH и dH, а верхнего основания — DB и dB.

Вычисляем значения внешнего D и внутреннего d диаметров на уровне земли.

Определяем внешний диаметр опоры на уровне поверхности земли, составляя пропорцию:

Определяем внутренний диаметр опоры на уровне поверхности земли, составляя пропорцию:

Величина ветрового напора согласно заданию (с учетом 2-го нормального режима составляет 25%):

Считаем, что ветровой напор по высоте стойки опоры распределен равномерно. Определим площадь боковой проекции опоры (продольного диаметрального сечения), как площадь трапеции:

Полное давление ветра на опору:

.

Интенсивность ветровой нагрузки на единицу длины стойки опоры:

Вычисляем значение изгибающих моментов в характерных сечения и строим эпюру со стороны сжатых волокон.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Z=0 | |  |
|  | |  | | |
|  | |  | | |
|  | |  | | |
|  | |  | | |
|  | |  | | |

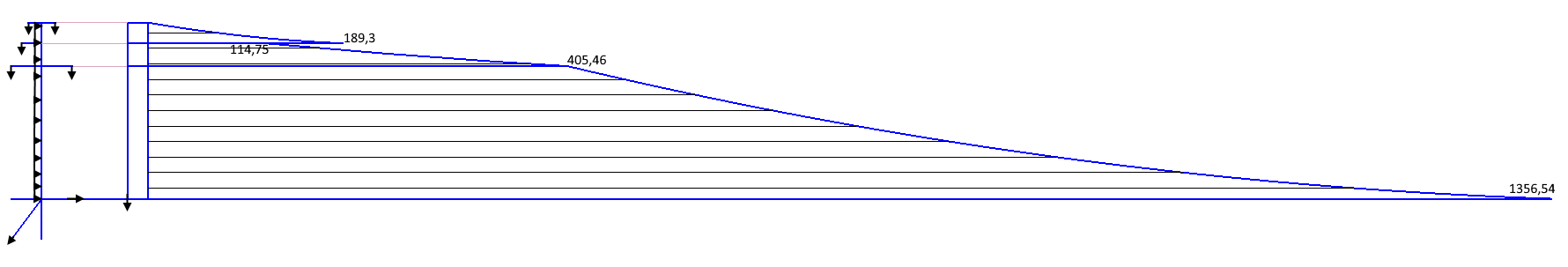


Рисунок 3- Эпюра Мх,

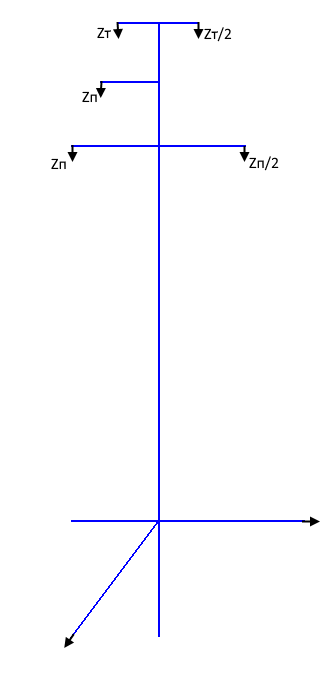
**2. РАСЧЕТ СТВОЛА ОПОРЫ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ**

**2.1 Построение эпюры продольных сил N**

При обрыве одного троса в точке С вертикальные силы 𝑍пи 𝑍 т в них

уменьшится в два с половиной раза. Вычисляем значение продольной силы в

характерных сечениях и строим эпюру:



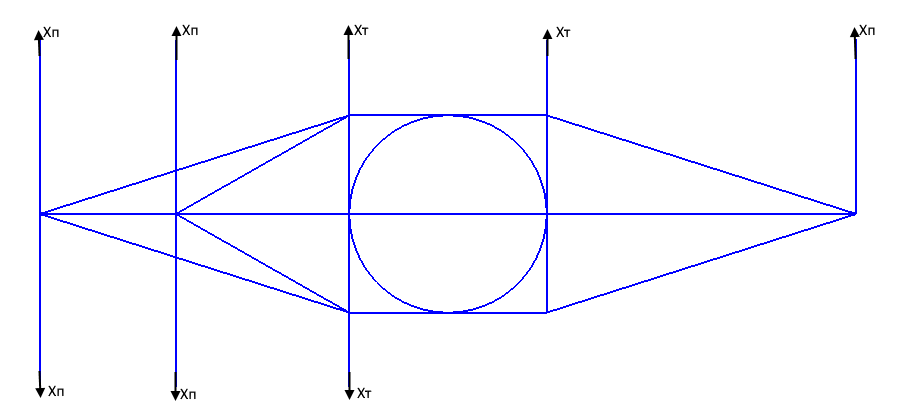


Рисунок 4 - Расчетная схема опоры в аварийном режиме

|  |  |
| --- | --- |
| Z=0 |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

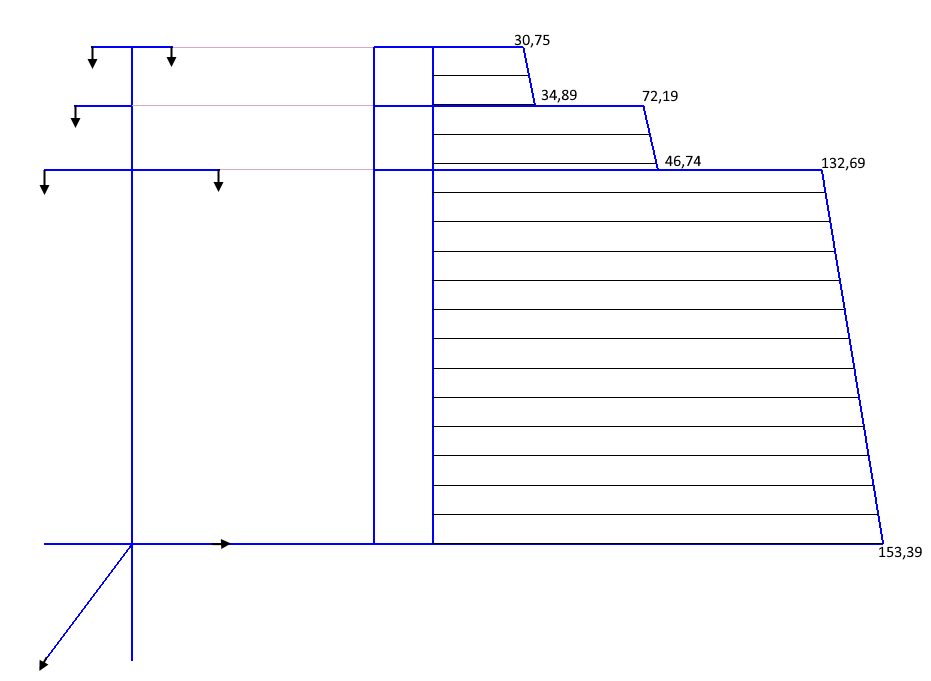


Рисунок 5 - Эпюра ,

**2.2 Построение эпюры изгибающих моментов Мх в плоскости,**

**перпендикулярной оси ЛЭП ( плоскости yz)**

Аварийный режим рассчитывается без учета ветра, поэтому горизонтальные нагрузки от давления ветра на провода, трос и ствол опоры ( 𝑌п , 𝑌т , 𝑞В) отсутствуют. Изгибающий момент Мх обусловлен действием только вертикальных сил 𝑍п , 𝑍т

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Z=0 | |  | | |
|  | |  | |
|  | |  | |
|  | |  | |
|  | |  | |
|  | |  | |

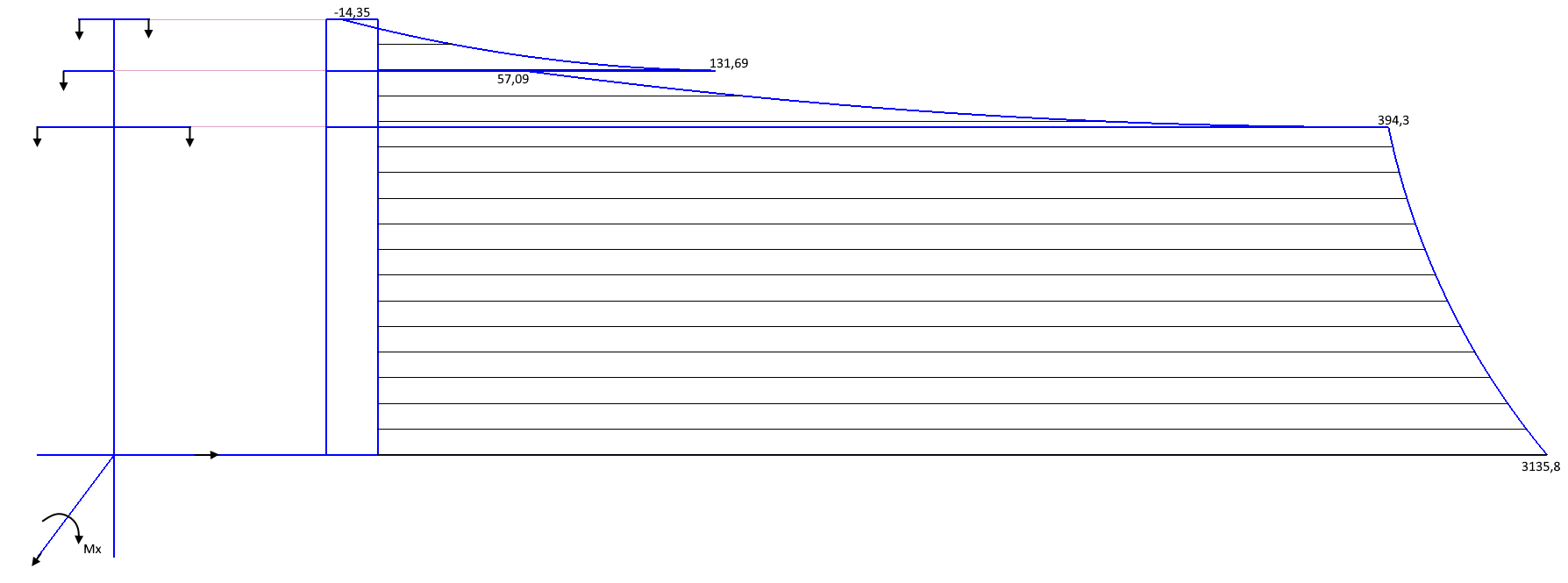


Рисунок 6 - Эпюра Мх,

**2.3 Построение эпюры изгибающих моментов Му в плоскости, параллельной оси ЛЭП (плоскость xz).**

Изгибающий момент Му обусловлен действием только горизонтальных сил 𝑋п 𝑋т приложенных в точках обрыва троса.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

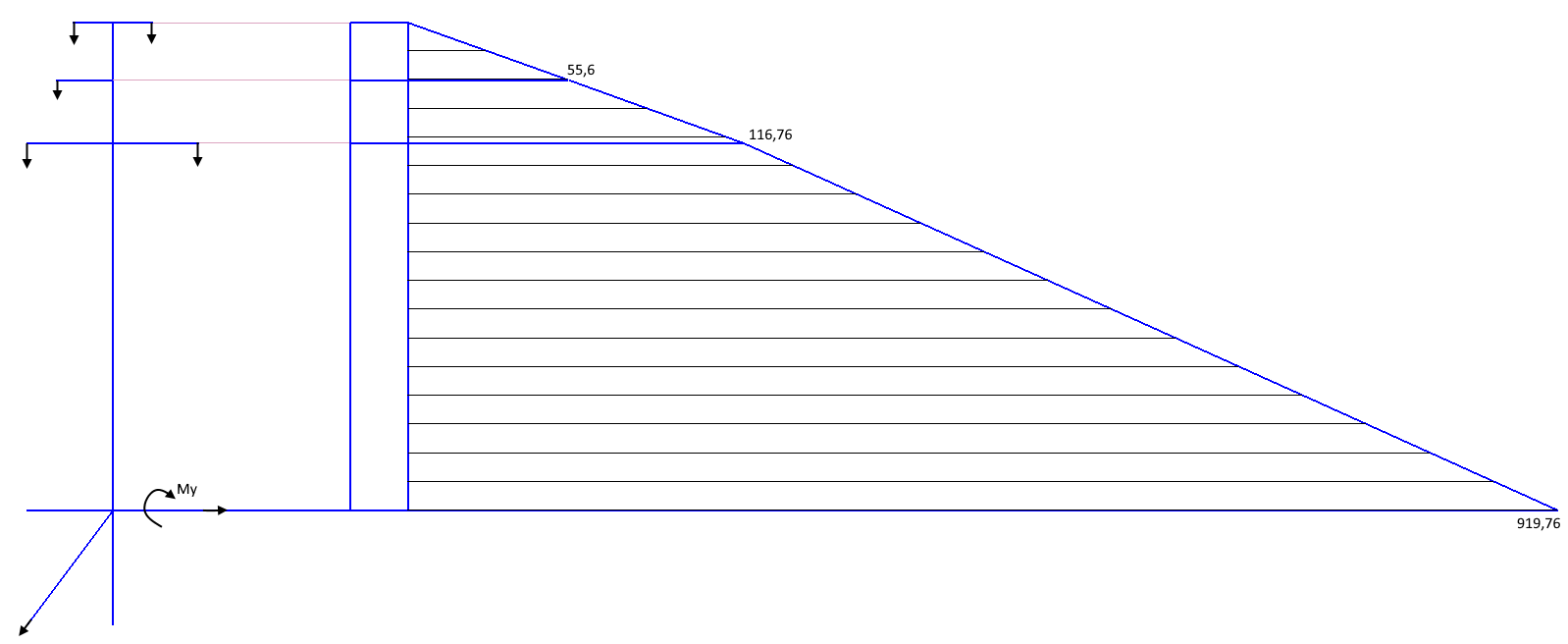


Рисунок 7 - Эпюра Му,

**2.4 Построение эпюры крутящих моментов**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

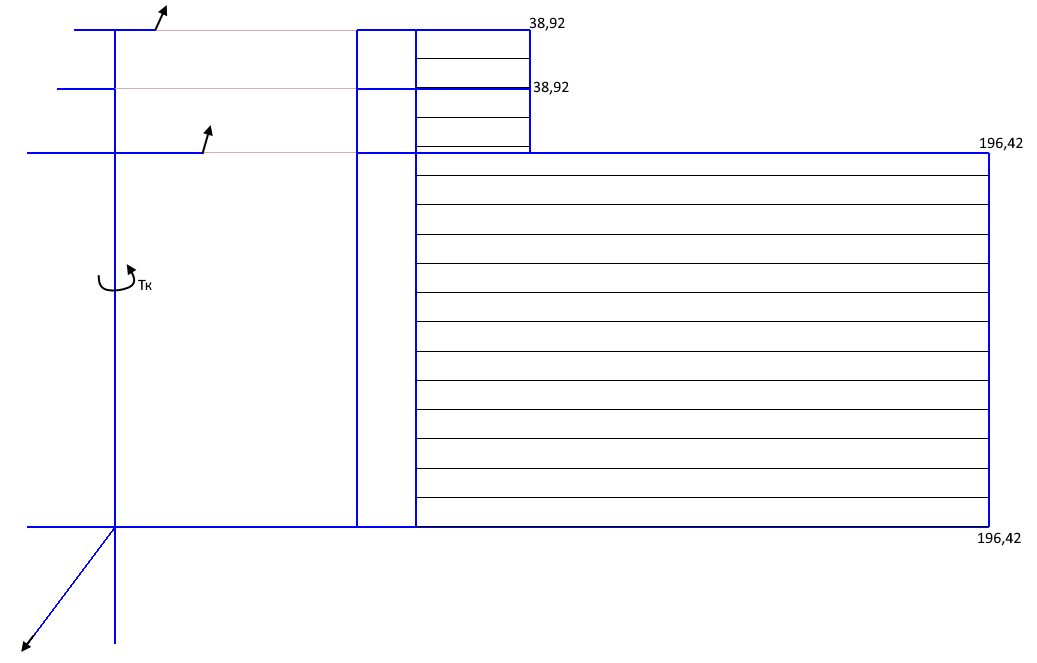


Рисунок 8 – Эпюра

**3.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРОЧНОСТИ СТОЙКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОПОРЫ**

Определить прочность центрифугированной железобетонной стойки опоры с внешним *D* и внутренним *d* диаметрами на уровне земли, армированной стержневой или канатной арматурой.

Класс бетона по прочности выбрать самостоятельно из вариантов: С25/30, С30/37, С35/45, С40/50, С45/55.

F:\YandexDisk\2020-2021 УЧЕБНЫЙ ГОД\ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА ЭС 2020\0_ЛЕКЦИИ\К расчету ЖБ опор\Фрагмент.tif

Рисунок 9

*R*б - расчетное сопротивление бетона осевому сжатию, равное 16.7, 20, 23.3, 26.7, 30 МПа (Н/мм2) для класса бетона С 25/30, С 30/37, С 35/45, С 40/50, С 45/55;

*F*б - площадь поперечного сечения бетона, мм2;

*rб* - средний радиус бетонного сечения опоры на уровне земли:

*F*a*, F*н - площадь поперечного сечения ненапряженной и напря­женной арматуры, мм2;

*R*a, *R*н - расчетное сопротивление на растяжение продольной ненапрягаемой и напрягаемой арматуры, равное 450 и 1000 МПа (Н/мм2);

*R*ac - расчетное сопротивление ненапрягаемой продольной арматуры на сжатие, принимаемое равным 355 МПа (Н/мм2);

*r*a, *r*н - радиусы расположения ненапрягаемой и напрягаемой продольной арматуры в рассматриваемом сечении, мм, при этом *r*a ≠ *r*н ≠ *r*б;

ϭс ≥ *R*ас - предварительное напряжение продольной напрягаемой арматуры сжатой зоны бетона, принимаем от 400…700 МПа (Н/мм2);

φ - коэффициент, характеризующий относительную площадь поперечного сечения сжатой зоны бетона;

*d*н - диаметр напрягаемого стержня, мм; примем равным 12 или 14 мм.

*d*а - диаметр ненапрягаемых стержней, мм; примем равным 12 или 14 мм.

где *n*н - количество напрягаемых стержней (принимается не менее шести: 6, 12, 18);

*n*а - количество ненапрягаемых стержней; при использовании канатной арматуры *n*a = 0, стержневой *n*a ≈ (1,5...2,0) *n*н.

Вычисляю площадь сечения:

Вычисляю осевые моменты инерции сечения:

Вычисляем основные моменты сопротивления сечения:

Вычисляю эквивалент напряжение в нормальном режиме:

Вычисляю эквивалент напряжение в аварийном режиме:

Определяю площади поперечного сечения бетона:

Рассчитываю радиусы (напряженной, ненапряженной, бетонной):

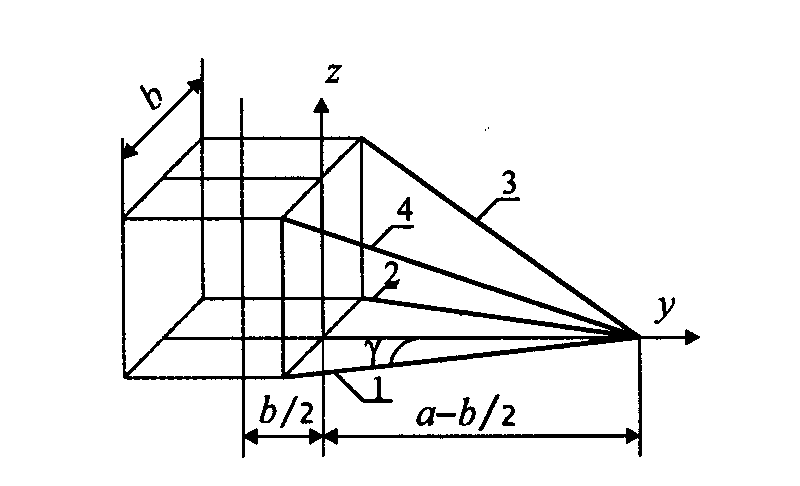
Определяю коэффициент при армировании напрягаемой и ненапрягаемой стержневой арматурой:

Определяю прочность железобетонной стойки опоры, характеризуемая пре­дельным изгибающим моментом *М*пр:

После вычислений проверяю условие:

**4. РАСЧЕТ ТРАВЕРСЫ**

Для траверсы определяем максимальные по модулю усилия в стержнях пояса (горизонтальные стержни), тяги (верхние наклонные стержни) и подкоса (нижние наклонные стержни). Угол при вершине траверсы принять равным а. Подбираем размер сечения тяги по условию прочности на растяжение-сжатие. Подбираем размеры сечений пояса и подкоса по условию устойчивости. Если при расчете на устойчивость пояса или подкоса гибкость стержня получается больше 200, то вводим вертикальные ребра жесткости (стойки) для уменьшения длины стержней. Для железобетонных опор выбираем сечение тяги в виде круга, а подкоса и пояса в виде равнобоких уголков или швеллеров.

* 1. ** Выбор расчетной схемы и определение геометрических характеристик траверсы**

Траверса состоит из четырех стержней (1, 2 – стержни пояса, 3, 4 – тяги). Полагаем, что стержни соединены между собой и со стойкой опоры шарнирами.

Рисунок 10

Заменяем две тяги одной, в результате получаем статистически определимую конструкцию.

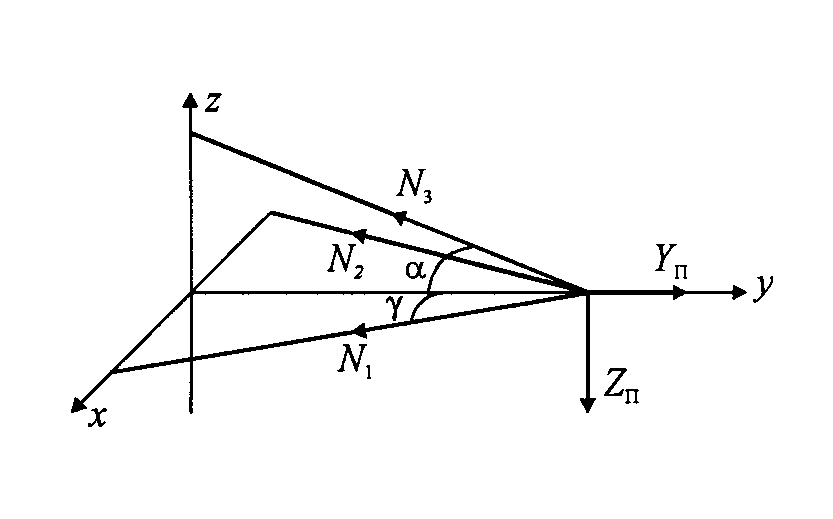
Определяем диаметр стойки опоры на уровне траверсы (второй уровень, правая траверса):

Рисунок 11

По условию находим угол :

*.*

Расчетная длина пояса траверсы:

* 1. ** Определение усилий в стержнях траверсы в нормальном режиме.** Нагрузки в нормальном режиме:. Составляем уравнения равновесия и определяем усилия в стержнях.

- Ветер слева

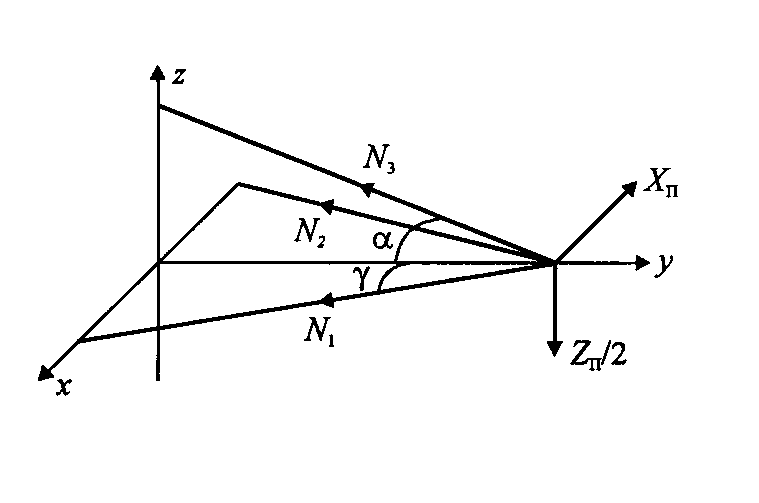
Получаем стержни растянуты; стержень растянут.

Меняем направление ветра на противоположное

-Ветер справа

Получаем стержни сжаты; стержень растянут.

* 1. **Определение усилий в стержнях траверсы в аварийном режиме**

Аварийный режим рассчитывается без ветра. Один провод оборван.

Нагрузки в аварийном режиме:

Рисунок 12

Получаем стержень растянут; стержень сжат; стержень растянут.

За расчетные принимаем максимальное растягивающее усилие в тяге и максимальное по модулю сжимающее усилие в поясе *.*

* 1. **Подбор круглого сечения для тяги, работающей только на растяжение, по условию прочности на растяжение – сжатие**

, где  – основное допускаемое напряжение, *А* – площадь поперечного сечения:

Принимаем d=22 мм

Недогрузка

Для тяги траверсы подобран круглый стержень d=22 мм.

**4.5 Подбор равнобокого уголка для пояса траверсы по условию устойчивости методом последовательных приближений.**

Условие устойчивости

В первом приближении полагаем .

По сортаменту (ГОСТ 8240-97) выбираем швеллер №30

Гибкость стержня (

По справочным таблицам для стали Ст3

При

При

При =0,6252

Допускаемое напряжение

Натяжение, возникающее в стержне

Недонапряжение

(недопустимо)

Во втором приближении примем

Швеллер №27:

=0,5912

Проверим пригодность предыдущего швеллера №24а:

=0,6063

Окончательно принимаем швеллер №24а

**4.6 Определение критической силы и коэффициента запаса устойчивости.**

Гибкость стержня , поэтому определяем критическое напряжение по формуле Ясинского , где  (для стали Ст3). Тогда .

Коэффициент запаса устойчивости равен отношению критического напряжения к максимальному напряжению в стержне .

**Вывод**

Воздушные линии служат для передачи и распределения электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и закрепленным на опорах при помощи изоляторов и линейной арматуры. Основными элементами воздушных линий являются провода, изоляторы, линейная арматура, опоры и фундаменты. Дополнительные элементы — грозозащитные тросы, заземления и разрядники.

В ходе курсовой работы мы рассчитали ствол опоры в нормальном и аварийном режимах, построили 6 эпюр. Подобрали равнобокий уголок для нижней панели ствола опоры. Определяли характеристики и прочности стойки железобетонной опоры. Рассчитали траверсу и подобрали равнобокий уголок для тяги. Определили критические силы и коэффициент запаса устойчивости.

За расчетные приняты следующие размеры швеллера №24а

**Библиографический список**

1. Воронцова, О. А. В75 Основы механического расчета опор воздушных линий электропередачи: учеб. метод. пособие / О. А. Воронцова, Т. В. Дружинина, А. А. Мироненко. — 2-е изд., перераб. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 60 с.

2. ГОСТ 8240-97: <https://docs.cntd.ru/document/1200019824>