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 «Химическая технология»**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**по дисциплине «Техническая механика»**

**на тему: «****Механический расчет промежуточной металлической опоры воздушной линии электропередачи»**

Вариант №8

Выполнил студент

гр. \_ \_ЭСЗ-209(с)

(группа)

\_\_\_\_\_Савинов П.Ю.\_\_\_\_\_\_\_\_

(ФИО)

Проверил:

доцент кафедры

«Химическая технология»,

к.т.н. Альмеев Р.И.

**Сызрань, 2022 г.**

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего 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)

**ЗАДАНИЕ**

**на курсовую работу**

по дисциплине «Техническая механика»

студенту гр. ЭСЗ-209(с) \_\_\_\_\_\_\_\_ Савинову Павлу Юрьевичу

Тема: «Механический расчет промежуточной металлической опоры воздушной линии электропередачи»

**Состав курсовой работы:**

**Расчетно-пояснительные записи в объеме 25-30 страниц:**

1 раздел – Расчет ствола опоры в нормальном режиме.

2 раздел – Расчет ствола опоры в аварийном режиме.

3 раздел – Определение характеристик и прочности стойки железобетонной опоры (для железобетонной опоры).

3 раздел – Подбор равнобокого уголка для нижней панели ствола опоры по условию устойчивости методом последовательных приближений (для стальной опоры).

4 раздел – Расчет траверсы.

**Содержание графической части работы:**

**Нормальный режим:**

1. Эпюра продольных сил N.

2. Эпюра изгибающих моментов Мх в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП.

3. Построение нейтральной линии в нижнем сечении ствола опоры в нормальном режиме (для стальной опоры).

**Аварийный режим:**

1. Эпюра продольных сил N.

2. Эпюра изгибающих моментов Мх в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП.

3. Эпюра изгибающих моментов Му в плоскости, параллельной оси ЛЭП.

4 Построение эпюр крутящих моментов Тк.

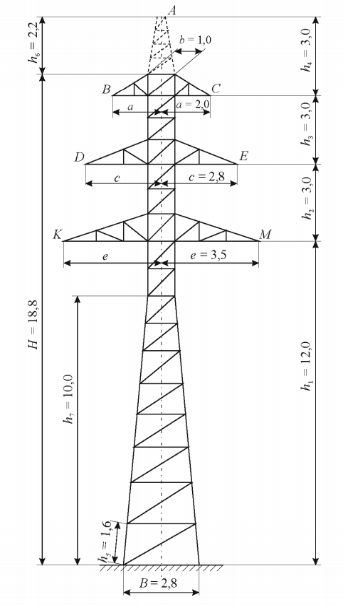
5. Построение нейтральной линии в нижнем сечении ствола опоры в аварийном режиме (для стальной опоры).

**Исходные данные для расчета:**

**Вариант № 8**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **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** |  |
| **8** | **Промежу-точная двухцепная** | **Металл** | **I нормальный** | **2,8** | **2,1** | **1,3** | **1,2** | **11,1** | **7,9** | **20** | **19,6** | **10,1** | **А, E, M** |

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



Расчетные размеры опоры

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

«Инженерные дисциплины»

Задание принял студент гр. ЭСЗ-209(с) \_П.Ю. Савинов

Зав. кафедрой «Инженерные

дисциплины», доцент \_\_ \_А.А. Уютов

**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 кронштейна 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**

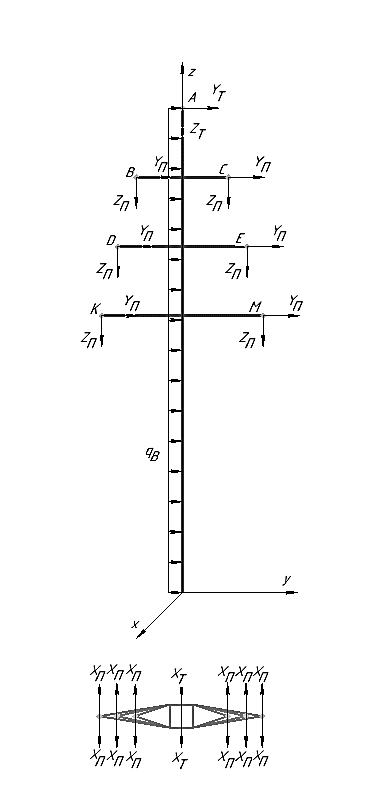


Рисунок 1- Расчетная схема опоры в нормальном режиме

1.Построение эпюры продольных си л *N*

Вычисляем значения продольной силы в характерных сече­ниях и строим эпюру:

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

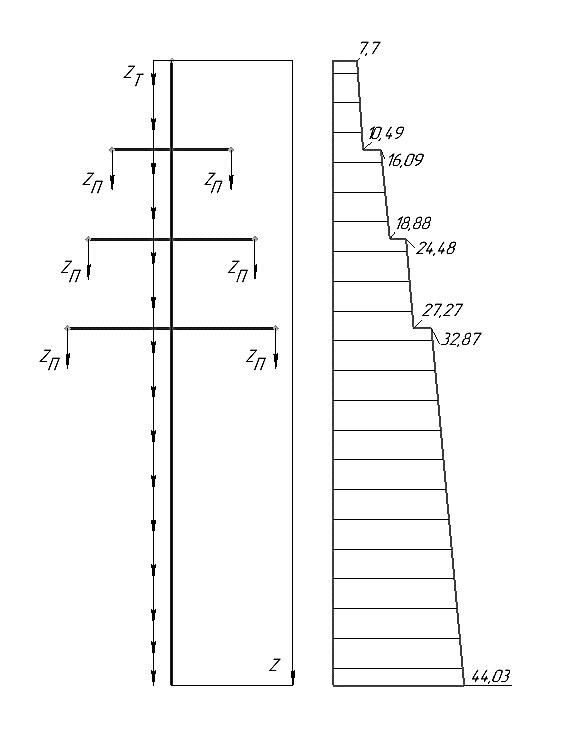


Рисунок 2- Эпюра ,

На эпюре продольных сил все наклоны прямые и параллельны.

2.Построение эпюры изгибающих моментов в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость yz).

Вычисляем значения изгибающего момента в характерных сечениях и строим эпюру со стороны сжатых волокон:

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

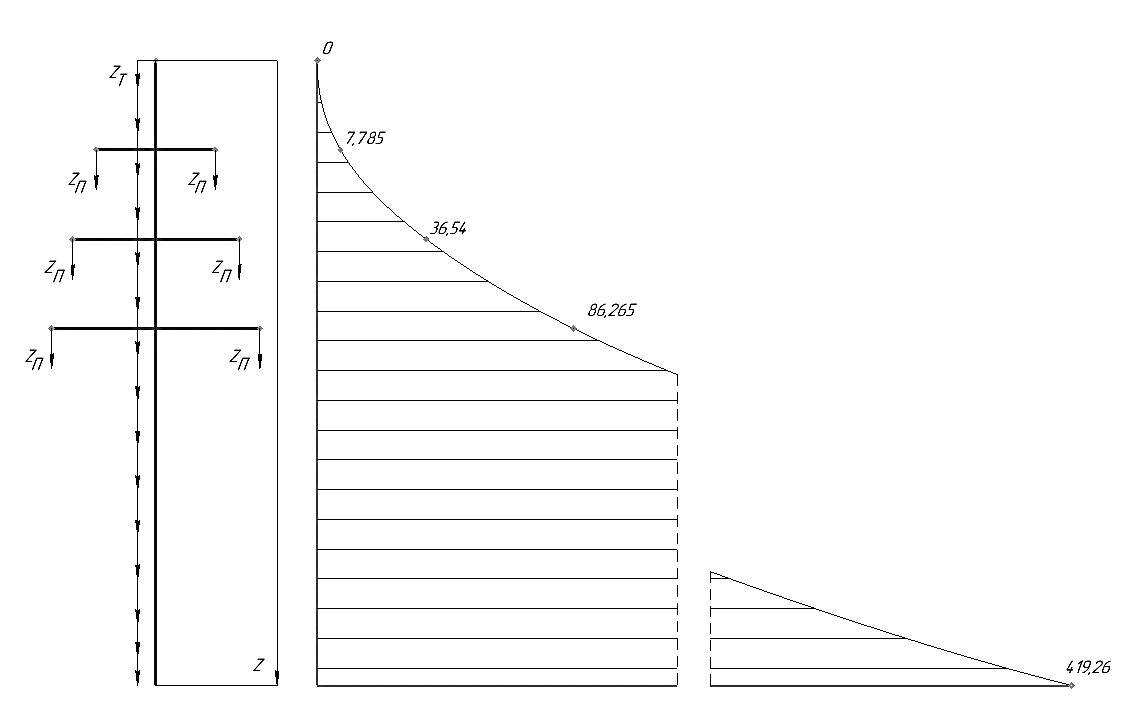


Рисунок 3 – Эпюра ,

4. Определение усилия в нижней панели (стержне h3) ствола опоры

By=Bx=B

В нижнем сечении ствола опоры имеем N = 44,03 кН, Мx = |-419,625| кН\*м, тогда

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

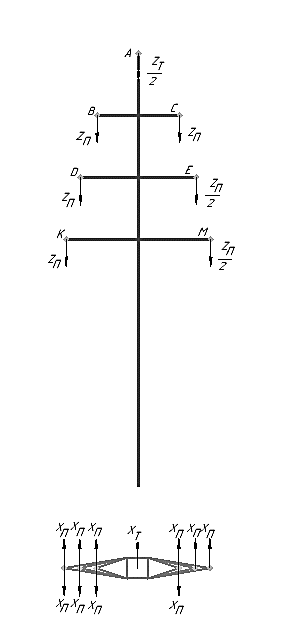


Рисунок 4- Расчетная схема опоры в аварийном режиме

1.Построение эпюры продольных сил N

Вычисляем значения продольной силы в характерных сечениях и строим эпюру:

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

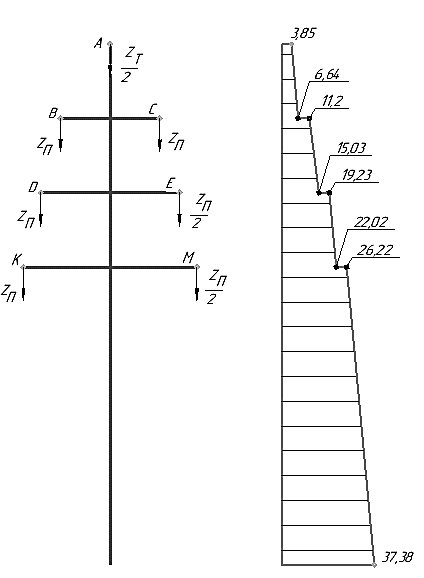


Рисунок 5- Эпюра ,

2. Построение эпюры изгибающих моментов в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость yz)

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

+

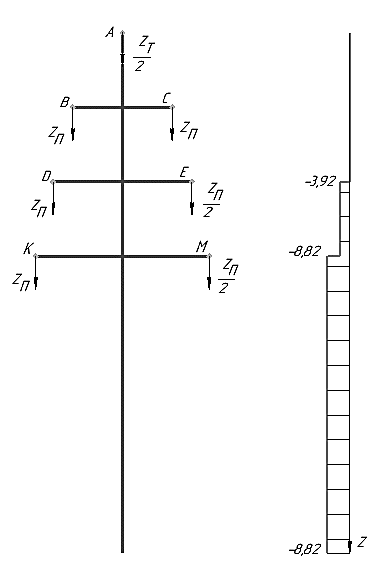


Рисунок 6-Эпюра ,

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

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

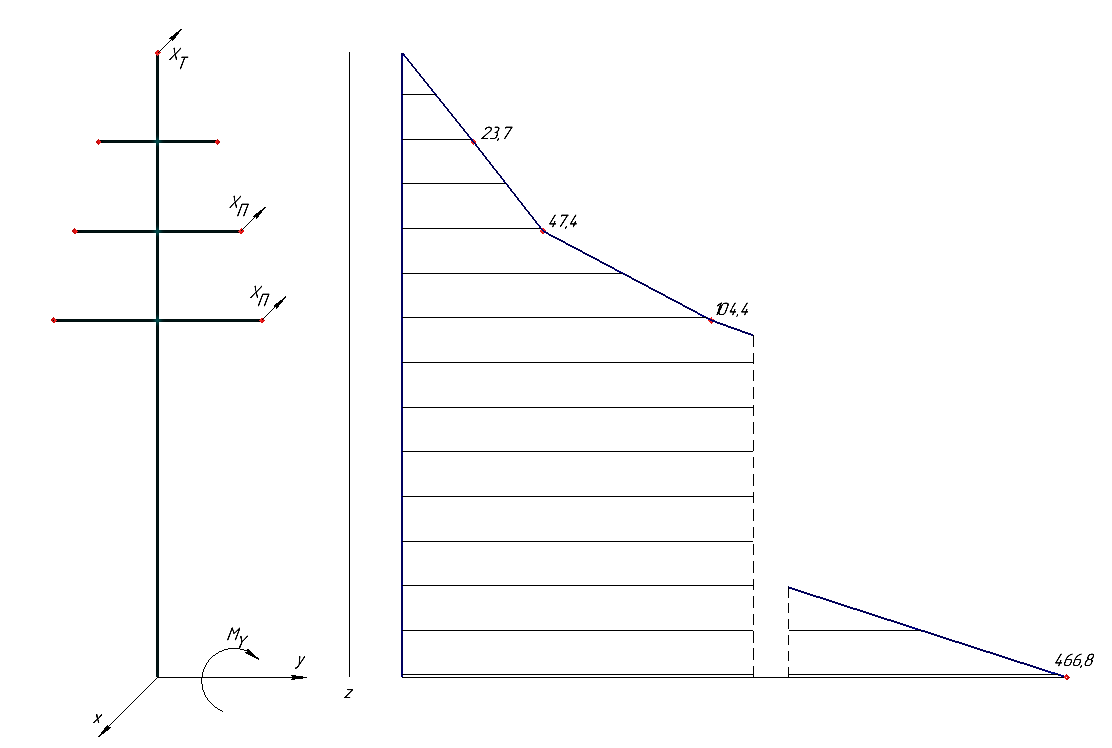


Рисунок 7-Эпюра ,

4.Построение эпюры крутящих моментов ТК

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

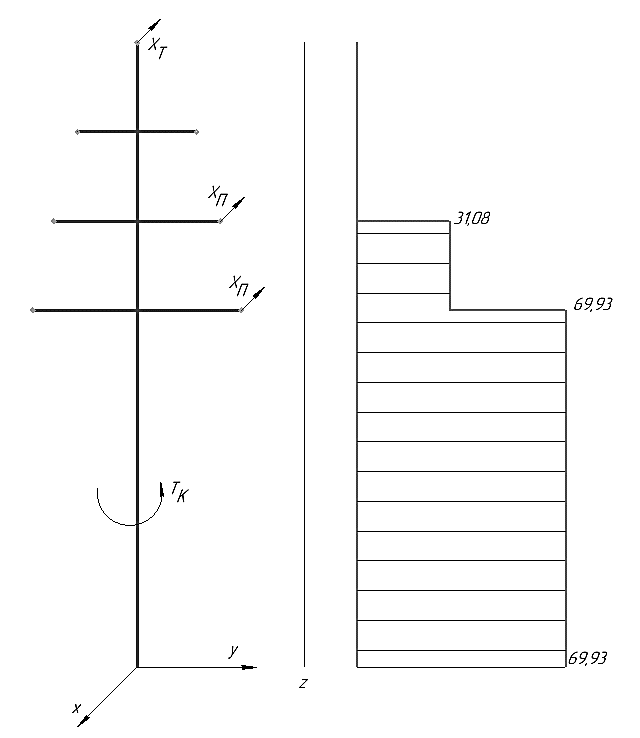


Рисунок 8-Эпюра

5.Определение усилия в нижней панели (стержне h3) ствола опоры

Наибольшее по модулю сжимающее усилие в стержне:

В нижнем сечении ствола опоры имеем N = 37,38 кН, Мx = |-8,82| кН\*м, Мy = кН\*м, тогда

**3. ПОДБОР РАВНОБОКОГО УГОЛКА ДЛЯ НИЖНЕЙ ПАНЕЛИ СТВОЛА ОПОРЫ**

1.Подбор равнобокого уголка по условию прочности на растяжение-сжатие:

.

По сортаменту подходит уголок 50x50x16 мм, так как площадь поперечного сечения наиболее близкий к полученному A' = 5,69 см2 , минимальный радиус инерции imin = 0,98 см.

,

Определяем гибкость стержня по формуле:

Для стали Ст3 при = 120 имеем = 0,45, а при = 130 имеем =0,4, тогда при = 122,5 получим .

Допускаемое напряжение при расчете на устойчивость [] = [ ], [] = 160 \* 0,43 = 68,6 МПа.

Максимальное напряжение для уголка данной площади

Получаем, что, на перегрузка, что недопустимо.

2.Подбор равнобокого уголка для нижней панели ствола опоры по условию устойчивости, увеличивая угол.

Попробуем взять уголок 75x75x8 мм с площадью поперечного сечения A' = 11,5 см2 и минимальным радиусом инерции imin = 1,47 см.

При = 80 имеем = 0,75, а при = 90 имеем =0,69, тогда при = 81,6 получим .

[] = [ ], [] = 160 \* 0,67 = 107,2 МПа.

3.Определение критической силы и коэффициента запаса устойчивости.

Гибкость стержня , так как > 100, то определяем критическое напряжение по формуле Ясинского = —, где = 310 МПа, *b* = 1,14 МПа для стали Ст3.

, запас устойчивости обеспечен.

4.Определение геометрических характеристик нижнего сечения ствола опоры.

Для уголка 180x180x12 мм имеем площадь А' =11,5 см2, осевые моменты инерции , расстояние от полки уголка до его центра тяжести .

, ,

.

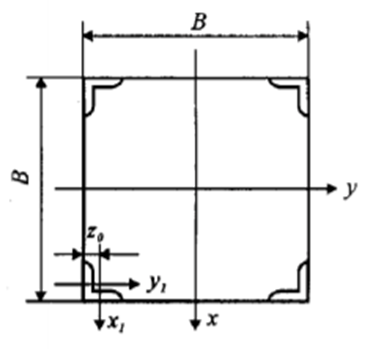


Рисунок 9-нижнее сечение ствола опоры

5.Построение нейтральной линии в нижнем сечении ствола опоры в нормальном режиме. Определение максимальных растягивающих и максимальных по модулю сжимающих напряжений.

N = 44,03 кН, Мx = |-419,265| кН\*м, Мy = 0 кН\*м.

, уравнение нейтральной линии , или .

,

Максимальные растягивающие напряжения:

Минимальные (максимальные по модулю) сжимающие напряжения:

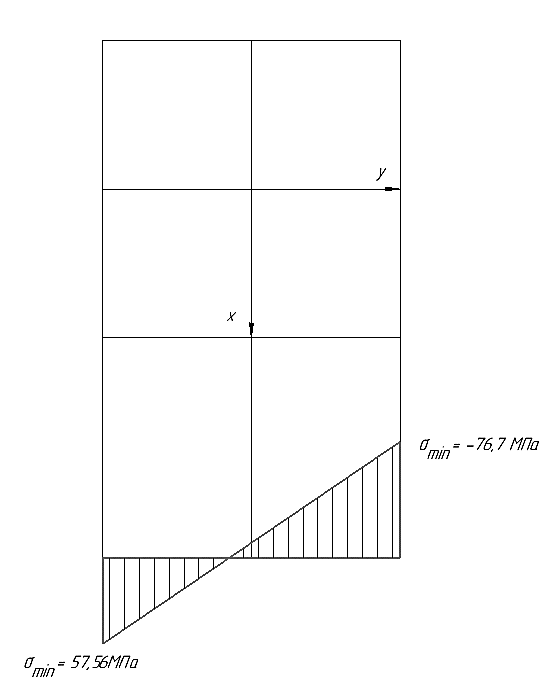


Рисунок 10-Нейтральная линия при нормальном режиме

6.Построение нейтральной линии в аварийном режиме. Определение максимальных растягивающих и максимальных по модулю сжимающих напряжений.

N = 37,38 кН, Мx = |-8,82| кН\*м, Мy = 466,8 кН\*м.

, уравнение нейтральной линии , или .

,при , а при .

Строим нейтральную линию и эпюру нормальных напряжений. Максимальные растягивающие напряжения:

Минимальные (максимальные по модулю) сжимающие напряжения:

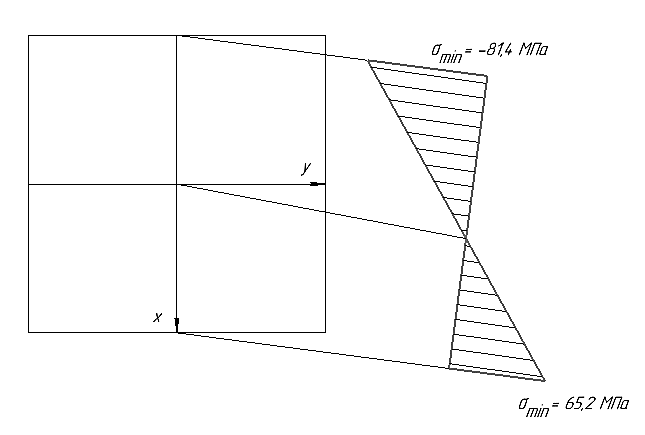


Рисунок 11 - Нейтральная линия в аварийном режиме

**4.РАСЧЕТ ТРАВЕРСЫ**

1.Выбор расчетной схемы и определение геометрических характеристик траверсы

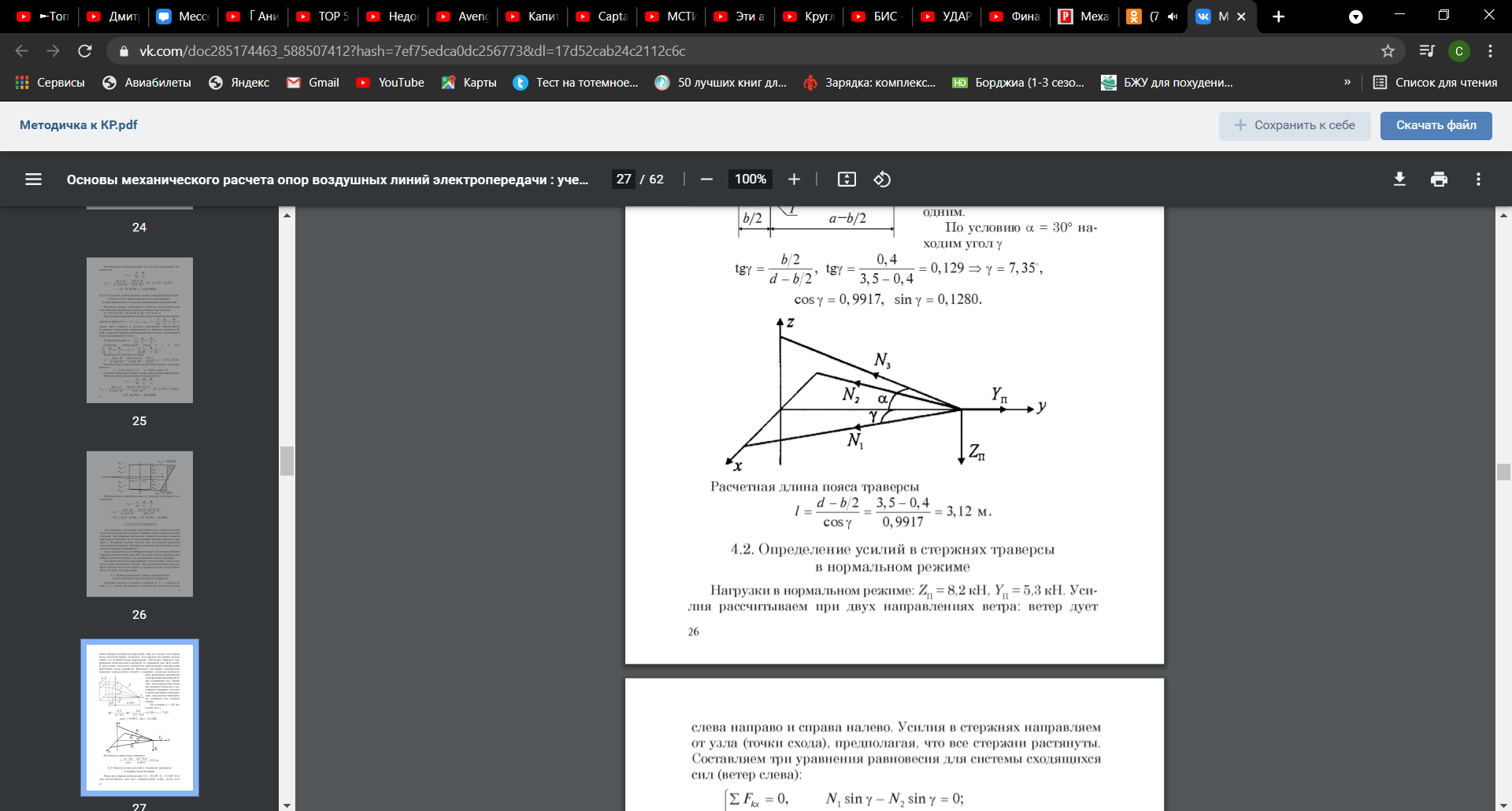


Рисунок 12.

Траверса состоит из четырех стержней (1, 2 – стержни пояса, 3, 4 – тяги). Полагаем, что стержни соединены между собой и со стойкой опоры шарнирами. Заменяем две тяги одной, в результате получаем статистически определимую конструкцию.

По условию α = 20° находим угол γ.

,

.

Расчетная длина пояса траверсы:

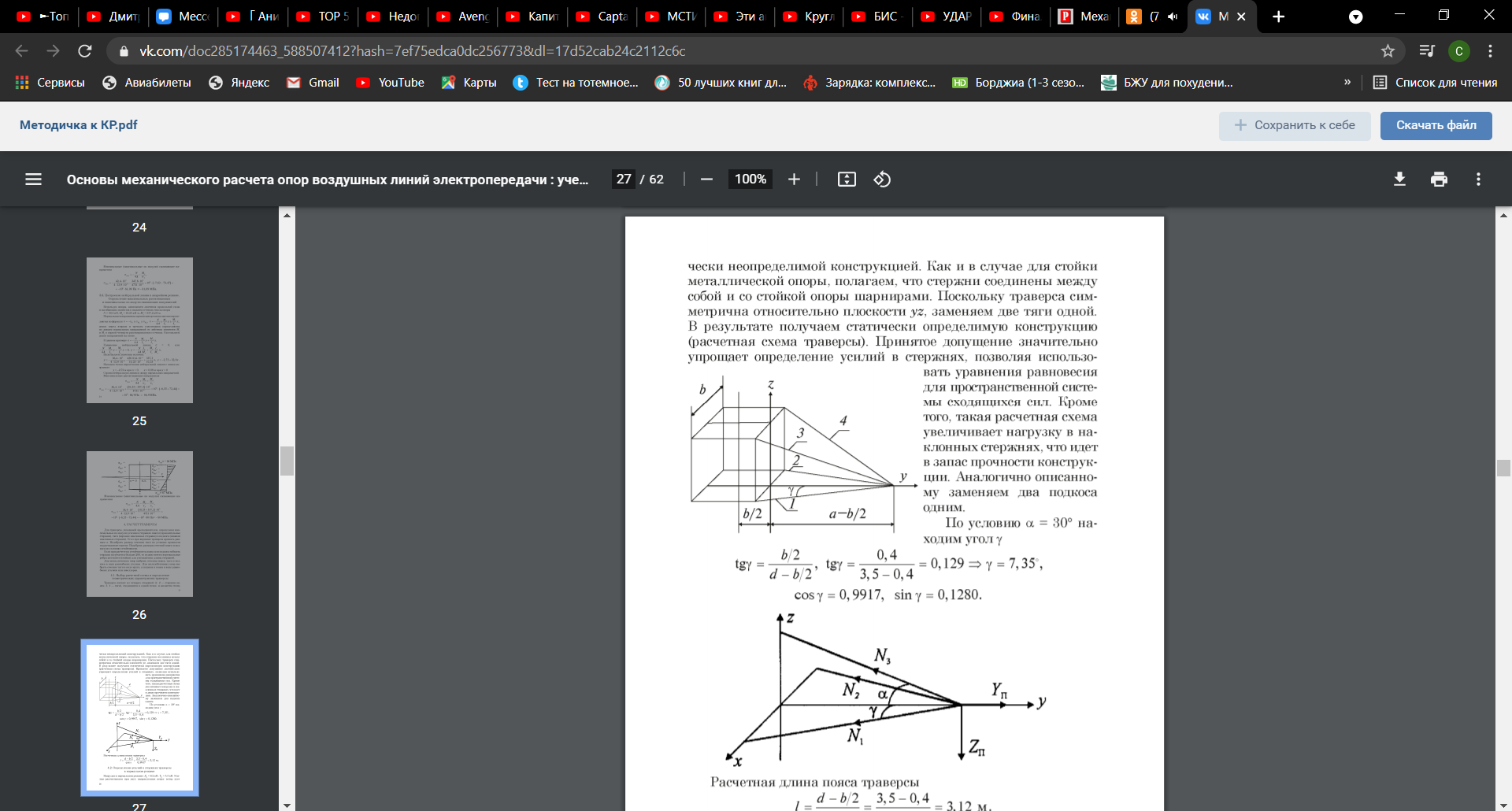


Рисунок 13.

2.Определение усилий в стержнях траверсы в нормальном режиме

Нагрузки в нормальном режиме: Zп = 2,8 кН, Yп = 2,8 кН. Усилия рассчитываем при двух направлениях ветра: ветер дует слева направо и справа налево. Усилия в стержнях направляем от узла (точки схода), предполагая, что все стержни растянуты. Составляем три уравнения равновесия для системы сходящихся сил (ветер слева):

Получаем: , стержни сжаты; , стержень растянут.

Меняем направление ветра на противоположное (ветер справа):

Получаем: , стержни сжаты; , стержень растянут.

3.Определение усилий в стержнях траверсы в аварийном режиме

Получаем: , стержн сжат; , стержень растянут.

4. Подбор равнобокого уголка для тяги, работающей только на растяжение, по условию прочности на растяжение-сжатие.

,

*.*

По сортаменту прокатной стали подходит уголок 35x35x3 мм с наиболее близкой площадью поперечного сечения A' = 2,04 . Максимальное растягивающее напряжение в стержне . Сравнивая это напряжение с допускаемым, получаем недогрузку на .

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

Максимальное сжимающее усилие в поясе |N2| = 35,72 кН.

.

В первом приближении полагаем, что .

.

Уголок 50 x50x5 мм с площадью поперечного сечения A' = 4,8 см2 и минимальным радиусом инерции imin = 0,98 см.

*.*

Гибкость больше 200, поэтому вводим дополнительно шесть ребер жесткости для уменьшения расчетной длины стержня, тогда

*.*

Для стали Ст3 при = 100 имеем = 0,6, а при = 110 имеем =0,52, тогда при = 106,1 получим .

[] = [ ], [] = 160 \* = 88,192 МПа.

Получаем, что, на , что недопустимо.

Во втором приближении полагаем, что .

.

Уголок 50 x50x5 мм с площадью поперечного сечения A' = 4,38 см2 и минимальным радиусом инерции imin = 0,98 см.

*.*

Для стали Ст3 при = 100 имеем = 0,6, а при = 110 имеем =0,52, тогда при = 103,36 получим .

[] = [ ], [] = 160 \* = 91,69 МПа.

Получаем, что, на , что допустимо.

6. Определение критической силы и коэффициента запаса устойчивости.

Гибкость стержня , поэтому определяем критическую силу по формуле Эйлера , где модуль Юнга для стали E=.

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

Для пояса траверсы подобран уголок 45x45x3 мм.

**ВЫВОДЫ**

В ходе курсовой работы мы рассчитали ствол опоры в нормальном и аварийном режимах, построили 8 эпюр. Подобрали равнобокий уголок для нижней панели ствола опоры. Построили нейтральную линию в нижнем сечении ствола опоры в нормальном и аварийных режимах, определили максимальную растягивающие и максимальные по модулю сжимающие напряжения. Рассчитали траверсу и подобрали равнобокий уголок для тяги. Определили критические силы и коэффициент запаса устойчивости.

За расчетные приняты следующие размеры равнобоких уголков: нижняя панель ствола опоры 75x75x8 мм, тяга траверсы 35x35x3 мм, пояс траверсы 45x45x3 мм, .

**БИБИЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. 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. ГОСТURL: https://isopromat.ru/sopromat/kratkij-spravochnik/ugo