**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)

**Кафедра «Химическая технология»**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**по дисциплине «Техническая механика»**

**на тему: «****Механический расчет \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**опоры воздушной линии электропередачи»**

Вариант \_\_\_\_

Выполнил студент

гр. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(группа)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(ФИО)

Проверил:

доцент кафедры

«Химическая технология»,

к.т.н. Альмеев Р.И.

**Сызрань, 2023 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. \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Тема: «Механический расчет \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 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.

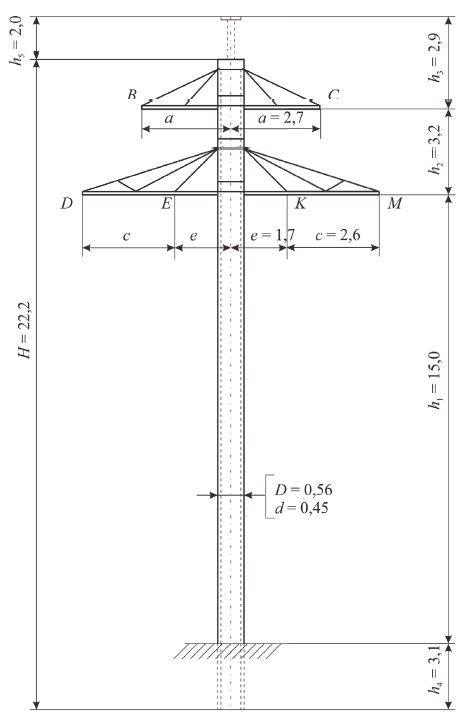
4 Построение эпюр крутящих моментов Тк.

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

**Исходные данные для расчета:**

**Вариант № 6**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **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** |  |
| **6** | **Промежуточная двухцепная** | **Железобетон** | **II нормальный** | **7,1** | **2,6** | **5,9** | **3,1** | **6,1** | **13,6** | **30** | **58,1** | **0,18** | **B, M** |



Расчетные размеры опоры

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

«Химическая технология»

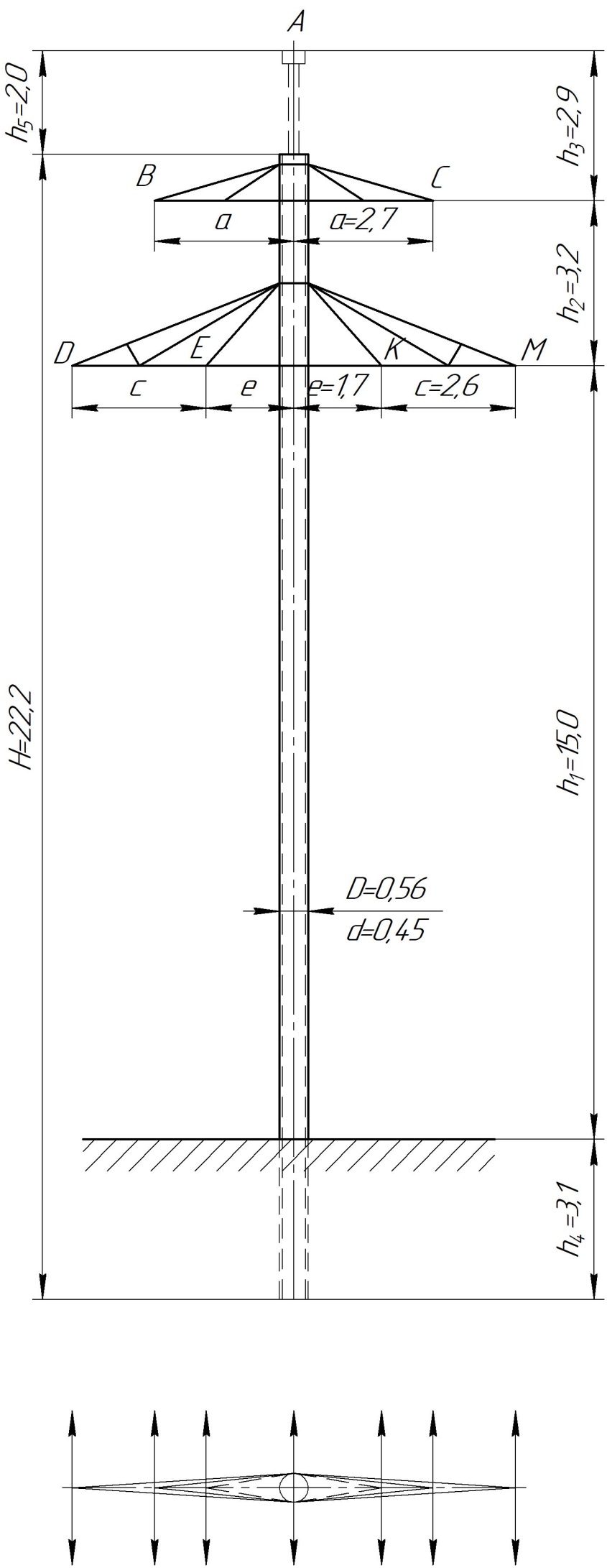
Задание принял студент гр. \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Зав. кафедрой «Химическая

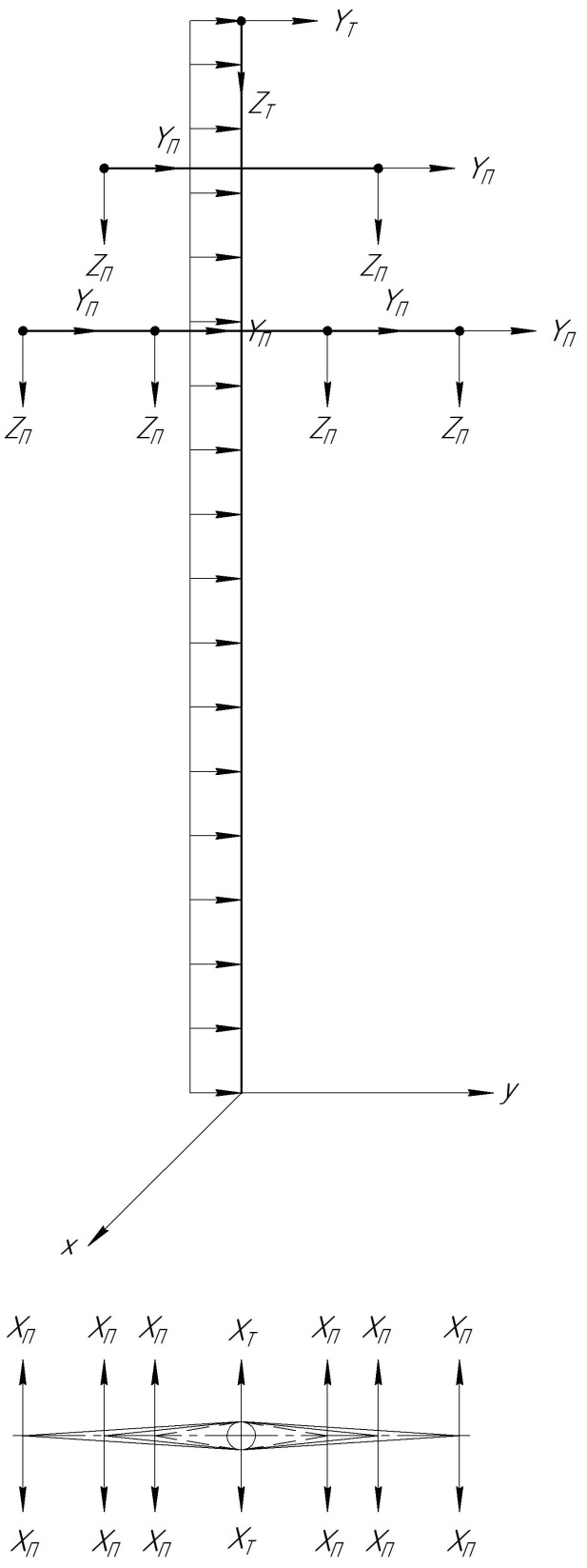
технология», доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.А. Уютов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Содержание | Страница |
| 1 | Промежуточная двухцепная железобетонная опора (рисунок) | 5 |
| 2 | Расчетная схема опоры в нормальном режиме | 6 |
| 3 | Расчетная схема опоры в аварийном режиме | 7 |
| 4 | 1. Расчет ствола опоры в нормальном режиме. | 8-10 |
| 5 | 1.1 Построение эпюры продольных сил | 8-9 |
| 6 | 1.2 Построение эпюры изгибающих моментов M, в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость VZ ) | 10-11 |
| 7 | 1.3 Построение эпюры изгибающих моментов M, в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость XZ ) | 11 |
| 8 | 1.4. Построение эпюры крутящих моментов | 11 |
| 9 | 2. Расчет ствола опоры в аварийном режиме. | 12-17 |
| 10 | 2.1. Построение эпюры продольных сил N | 12-13 |
| 11 | 2.2. Построение эпюры изгибающих моментов M в плоскости, перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость yz) | 14-15 |
| 12 | 2.3. Построение эпюры изгибающих моментов M в плоскости, параллельной оси ЛЭП (плоскость xz ) | 15-16 |
| 13 | 2.4. Построение эпюры крутящих моментов | 17 |
| 14 | 3. Подбор равнобокого уголка для нижней панели ствола опоры | 18-21 |
| 15 | 3.1. Подбор равнобокого уголка по условию прочности на растяжение-сжатие | 18 |
| 16 | 3.2. Подбор равнобокого уголка для нижней панели ствола опоры по условию устойчивости методом последовательных приближений | 18 |
| 17 | 3.3. Определение критической силы и коэффициента запаса устойчивости | 19 |
| 18 | 3.4. Определение геометрических характеристик нижнего ствола опоры | 20-21 |
| 19 | 4. Расчет траверсы | 22-26 |
| 20 | 4.1 Выбор расчетной схемы и определение геометрических характеристик траверсы | 22 |
| 21 | 4.2 Определение усилий в стержнях траверсы в нормальном режиме | 22-23 |
| 22 | 4.3 Определение усилий в стержнях траверсы в аварийном режиме | 23 |
| 23 | 4.4 Подбор равнобокого уголка для тяги, работающей только на растяжение | 23-24 |
| 24 | 4.5 Подбор равнобокого уголка для пояса траверсы по условию устойчивости методом последовательных приближений | 24-25 |
| 25 | 4.6 Определение критической силы и коэффициента запаса устойчивости | 26 |
| 26 | 5. Выводы | 26 |
| 27 | Список литературы | 27 |

Промежуточная двухцепная железобетонная опора



Расчетная схема опоры в нормальном режиме



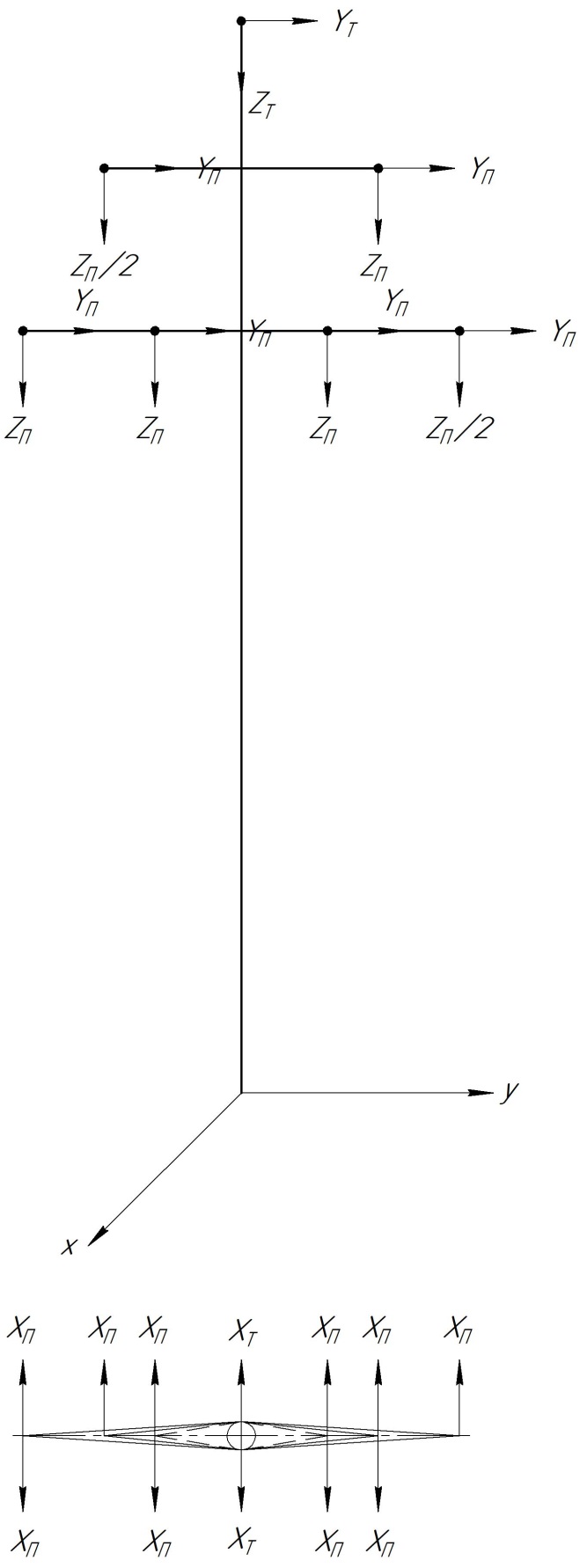
II нормальный режим

Гололед, интенсивность ветра

Вес опоры

Угол при вершине траверсы равен

Расчетная схема опоры в аварийном режиме



Аварийный режим. Ветра нет.

Вес опоры

В точках B, M оборван передний провод.

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

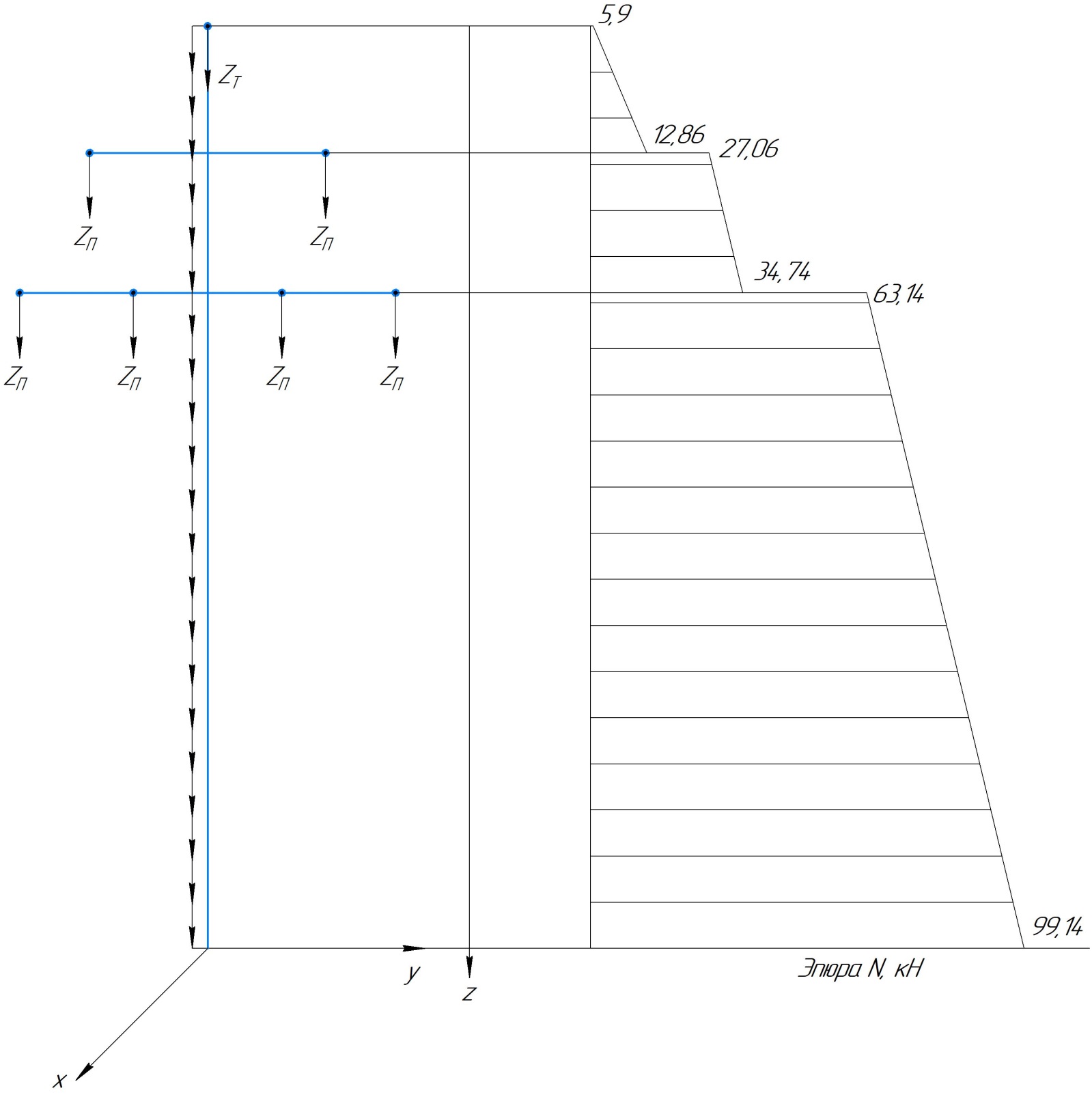
Рассматриваем опору как консольную балку с заделкой на нижнем конце и начинаем построение всех эпюр внутренних усилий со свободного конца. Начало отсчета координаты  выбираем в верхней точке опоры, ось  направляем вниз.

* 1. **Построение эпюры продольных сил **

Продольная сила обусловлена действием вертикальных сил  и силы тяжести конструкции . Интенсивность вертикальной равномерно распределенной нагрузки равна

Вычисляем значения продольной силы в характерных сечениях и строим эпюру:

На эпюре продольных сил все наклонные прямые параллельны.



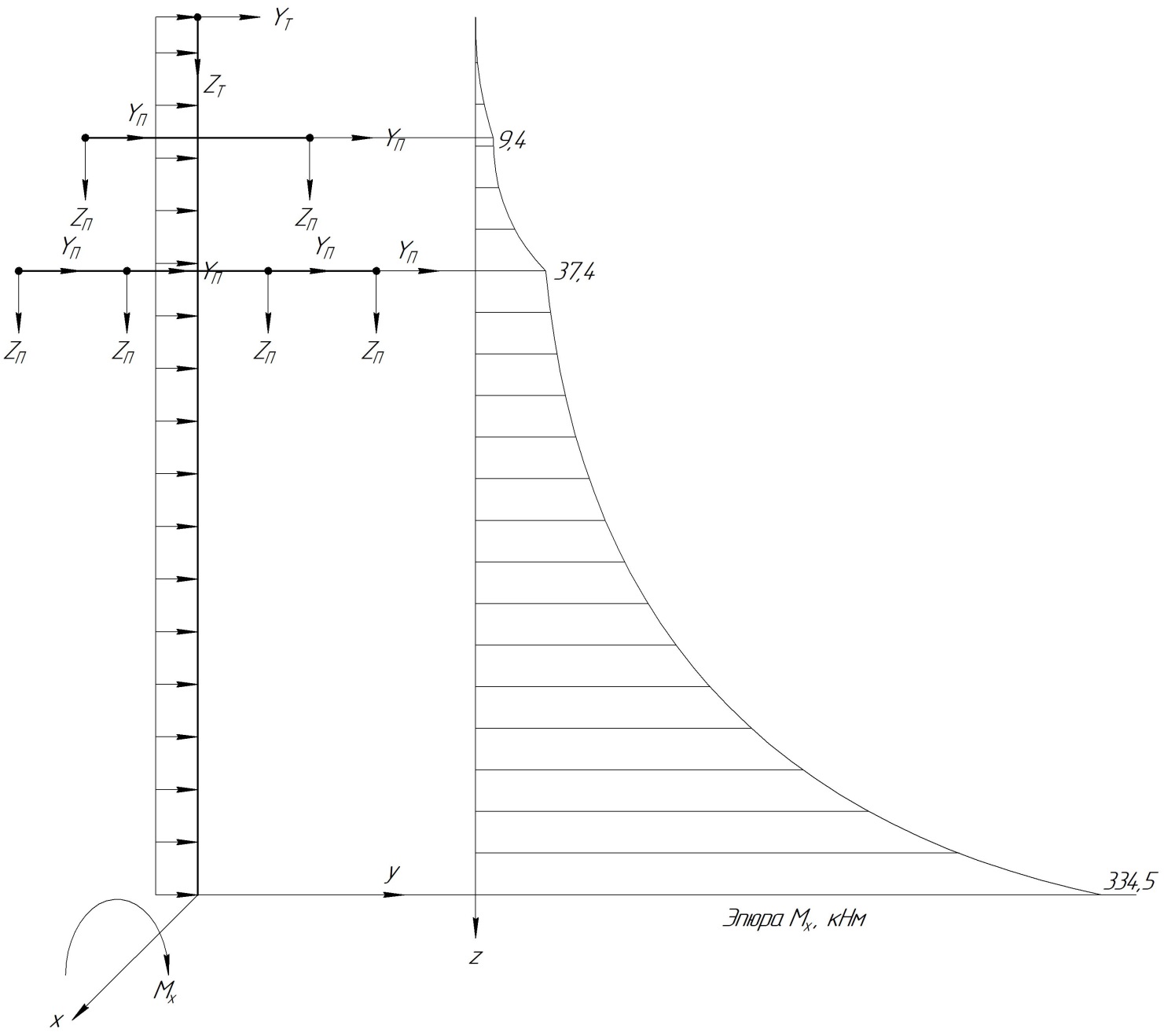
* 1. **Построение эпюры изгибающих моментов  в плоскости,**

**перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость )**

Изгибающий момент  обусловлен действием вертикальных сил , горизонтальных сил  и силы давления ветра . Интенсивность давления ветра равна

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

Моменты от сил взаимно уравновешены.



* 1. **Построение эпюры изгибающих моментов  в плоскости,**

**параллельной оси ЛЭП (плоскость )**

Для промежуточной опоры силы натяжения проводов и троса уравновешиваются, поэтому силы, создающие моменты относительно оси , отсутствуют и .

* 1. **Построение эпюры крутящих моментов **

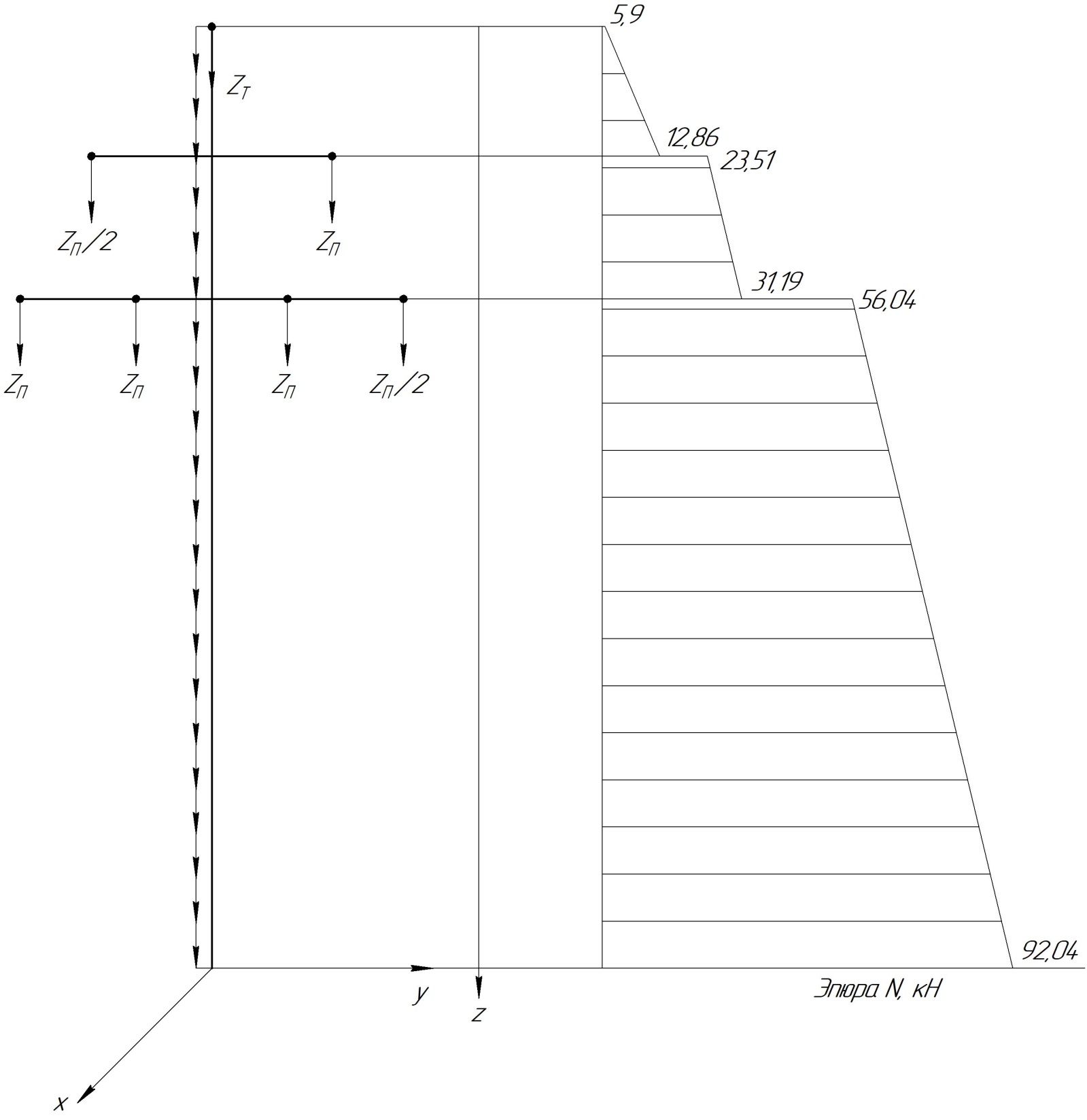
Силы натяжения проводов и троса уравновешиваются, поэтому силы, создающие моменты относительно оси , отсутствуют и .

1. **РАСЧЕТ СТВОЛА ОПОРЫ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ**
   1. **Построение эпюры продольных сил **

При обрыве троса в точках B, M вертикальная сила в этой точке уменьшается в два раза. Вычисляем значения продольной силы в характерных сечениях и строим эпюру:

Вычисляем значения продольной силы в характерных сечениях и строим эпюру:

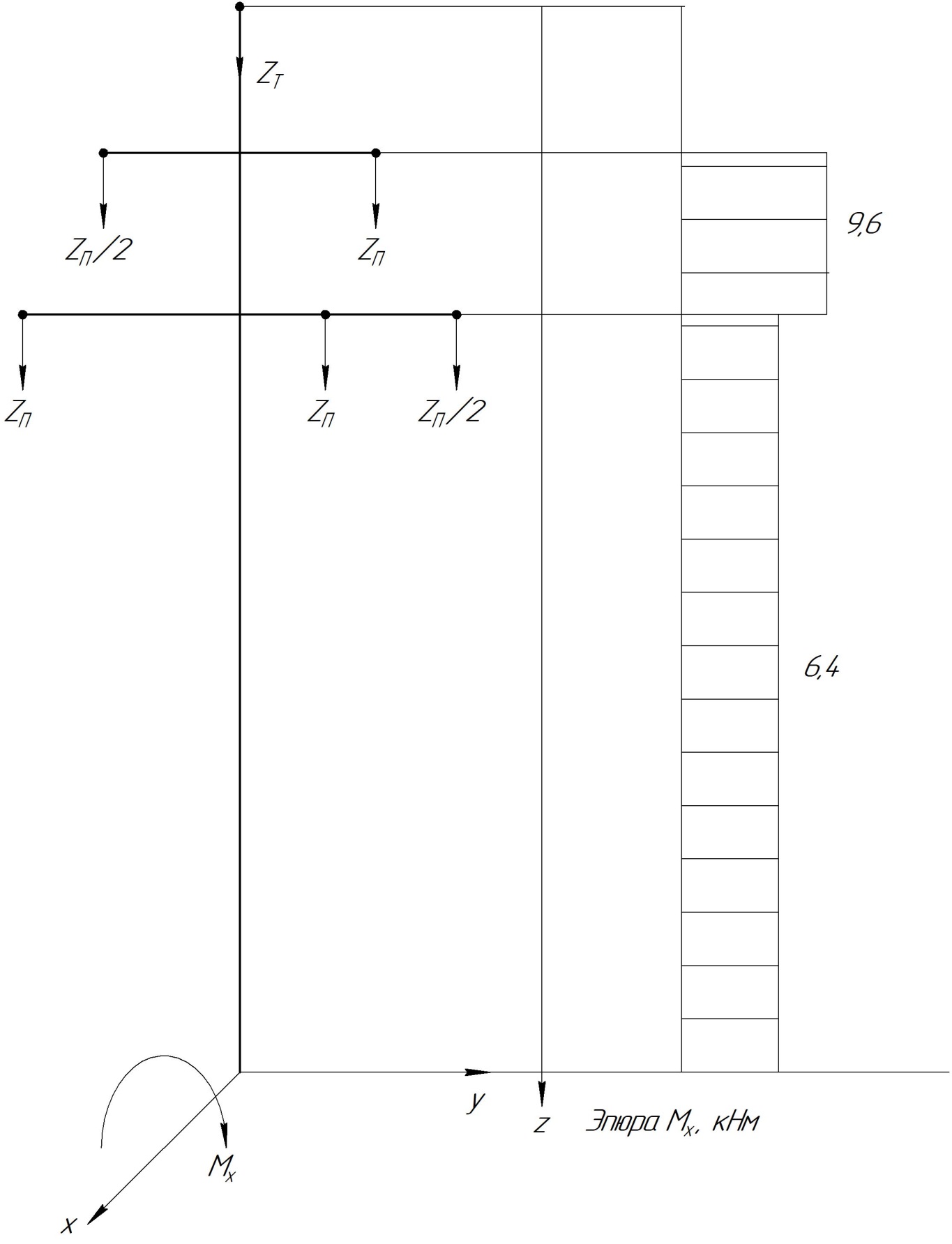
На эпюре продольных сил все наклонные прямые параллельны.



* 1. **Построение эпюры изгибающих моментов  в плоскости,**

**перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость )**

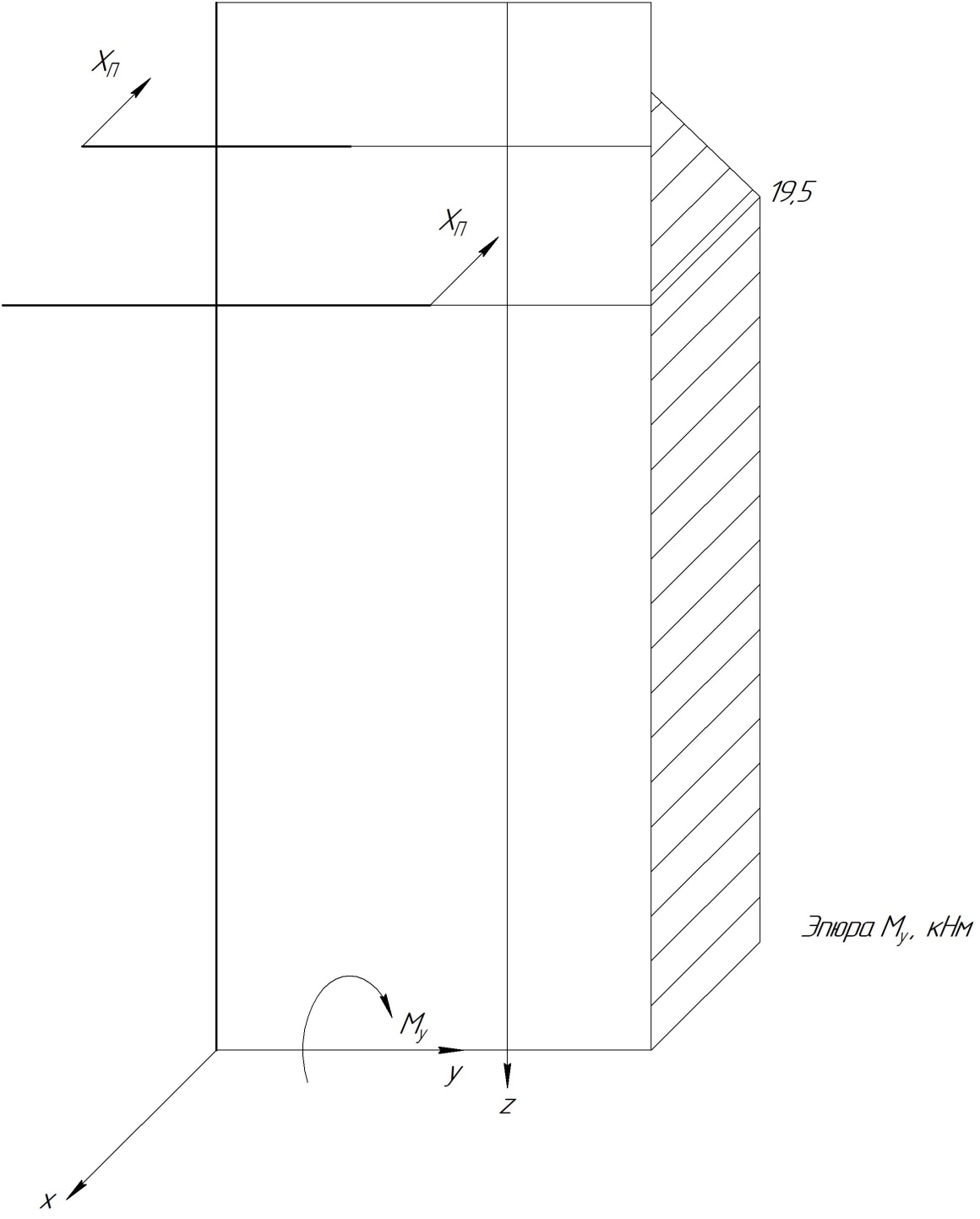
Аварийный режим рассчитывается без ветра, поэтому горизонтальные нагрузки от давления ветра на провода, трос и ствол опоры (*Y*п,*Y*т ,*q*в ) отсутствуют. Изгибающий момент  обусловлен действием только вертикальных сил .



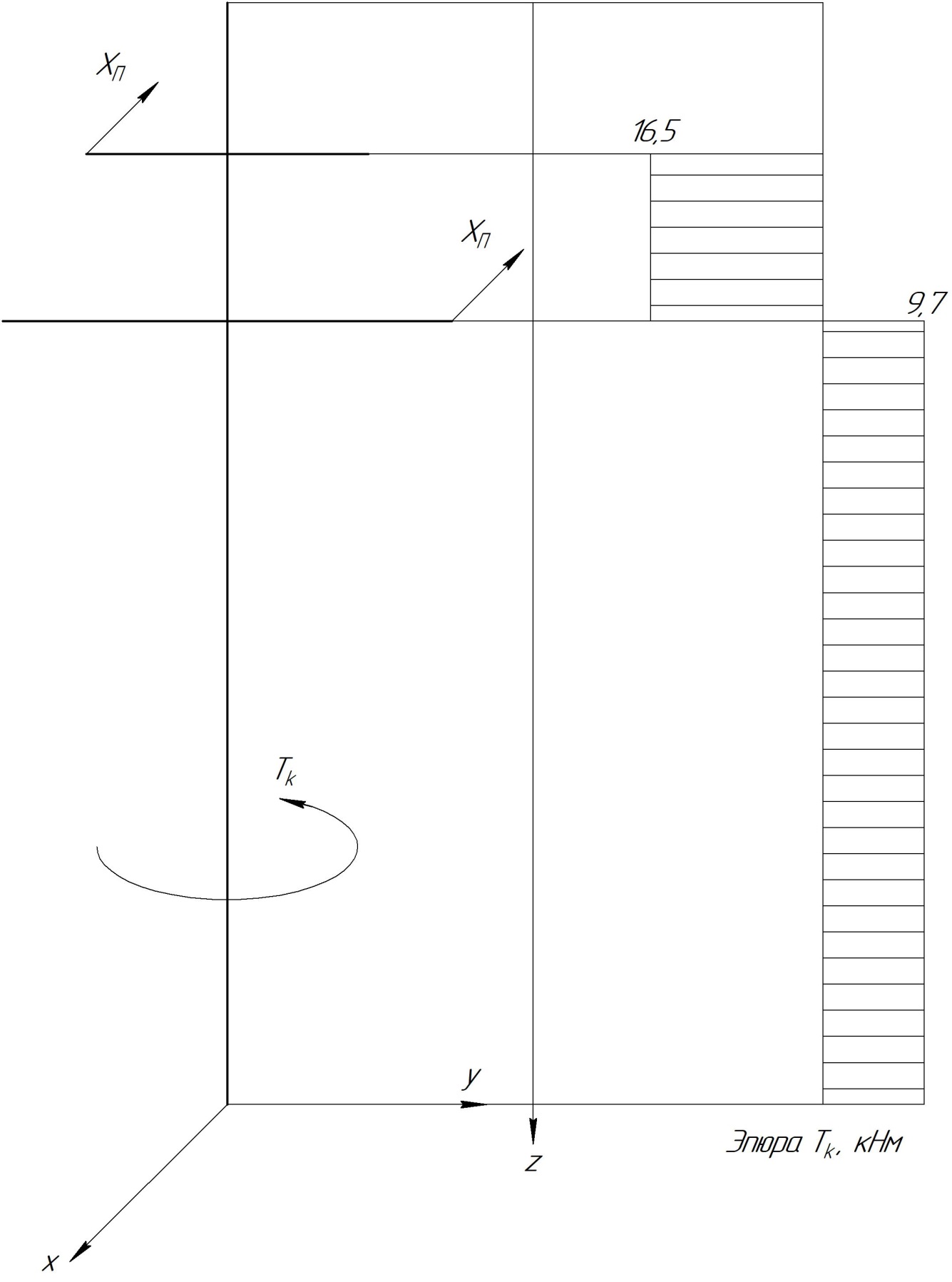
* 1. **Построение эпюры изгибающих моментов  в плоскости,**

**параллельной оси ЛЭП (плоскость )**

Изгибающий момент  обусловлен действием только горизонтальных сил , действующих в точках обрыва троса и провода.



* 1. **Построение эпюры крутящих моментов **



1. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЯ**

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОПОРЫ**

* 1. **Определение геометрических характеристик сечения опоры**

Геометрические характеристики кольцевого сечения на уровне земли:

площадь сечения

осевые моменты инерции сечения

осевые моменты сопротивления сечения

полярный момент сопротивления сечения:

* 1. **Определение интенсивности давления ветра на опору**

Величина ветрового напора Считаем, что ветровой напор по высоте стойки опоры распределен равномерно. Площадь продольного диаметрального сечения опоры

Полное давление ветра на опору равно

Интенсивность ветровой нагрузки на единицу длины стойки опоры

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

Используя эпюры, записываем значения продольной силы и изгибающих моментов в нижнем сечении ствола опоры:

Нормальные напряжения при сжатии с изгибом определяются по формуле , при этом знак перед вторым слагаемым определяется по знаку нормального напряжения от действия момента  в первой четверти сечения.

Расставляем знаки напряжений на схеме. В данном примере .

Уравнение нейтральной линии , или .

Подставляем значения величин: .

Максимальные растягивающие напряжения

Минимальные (максимальные по модулю) сжимающие напряжения

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

Используя эпюры, записываем значения продольной силы и изгибающих моментов в нижнем сечении ствола опоры

Нормальные напряжения при внецентренном сжатии определяются по формуле

, знаки перед вторым и третьим слагаемыми определяются по знакам нормальных напряжений от действия моментов  и  в первой четверти рассматриваемого сечения.

Расставляем знаки напряжений на схеме.

.

Уравнение нейтральной линии  или

.

Подставляем значения величин:

Находим точки пересечения нейтральной линии с осями координат:

при при

Максимальные растягивающие напряжения

Минимальные (максимальные по модулю) сжимающие напряжения

1. **Расчет траверсы**

**4.1 Выбор расчетной схемы и определение геометрических характеристик**

**траверсы**

Траверса состоит из четырех стержней, сходящихся в одной точке, и является статически неопределимой конструкцией. Как и в случае стойки металлической опоры, полагаем, что стержни соединены между собой и со стойкой опоры шарнирами. Поскольку траверса симметрична относительно плоскости *yz*, заменяем две тяги одной. В результате получаем статически определимую конструкцию (расчетная схема траверсы). Принятое допущение значительно упрощает определение усилий в стержнях, позволяя использовать уравнения равновесия для пространственной системы сходящихся сил. Кроме того, такая расчетная схема увеличивает нагрузку в наклонных стержнях, что идет в запас прочности конструкции. Аналогично заменяем два подкоса одним.

По условию . Находим угол :

Расчетная длина пояса траверсы

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

Нагрузки в нормальном режиме: 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.

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

Аварийный режим рассчитывается без ветра. Один провод оборван.

Нагрузки в аварийном режиме:

Уравнения равновесия

.

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 равнобокого уголка для тяги, работающей только на растяжение**

По условию прочности на растяжение – сжатие , где  – основное допускаемое напряжение, *А* – площадь поперечного сечения:

По сортаменту прокатной стали находим равнобокий уголок 20х20х3мм с наиболее близкой площадью поперечного сечения . Максимальное растягивающее напряжение в стержне

.

Сравнивая это напряжение с допускаемым, получаем недогрузку на

Для тяги траверсы подобран уголок 20х20х3мм.

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

Выбираем максимальное сжимающее усилие в поясе .

Условие устойчивости .

В первом приближении полагаем, что .

Находим площадь сечения

По сортаменту находим уголок 75х75х8мм с площадью и минимальным радиусом инерции

Находим гибкость  стержня длиной , Гибкость менее 200.

Находим коэффициент понижения основного допускаемого напряжения . Для стали Ст3 при имеем , а при имеем . Тогда при получим . Допускаемое напряжение при расчете на устойчивость Максимальное сжимающее напряжение в стержне

Сравнивая напряжения, получаем перегрузку на

Во втором приближении полагаем, что и повторяем расчет:

Уголок 100х100х7, с площадью и минимальным радиусом инерции

Гибкость стержня длиной , Гибкость менее 200.

Коэффициент понижения основного допускаемого напряжения . Для стали Ст3 при имеем , а при имеем . Тогда при получим . Допускаемое напряжение при расчете на устойчивость Максимальное сжимающее напряжение в стержне

Сравнивая напряжения, получаем недогрузку на

В третьем приближении применим уголок 90х90х7, с площадью и минимальным радиусом инерции

Гибкость стержня длиной , Гибкость менее 200.

Коэффициент понижения основного допускаемого напряжения . Для стали Ст3 при имеем , а при имеем . Тогда при получим . Допускаемое напряжение при расчете на устойчивость Максимальное сжимающее напряжение в стержне

Сравнивая напряжения, получаем недогрузку на

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

Гибкость стержня , поэтому определяем критическое напряжение по формуле Эйлера

где – модуль упругости для стали.

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

Для пояса траверсы подобран уголок 90х90х7мм.

1. **Выводы**

За расчетные приняты следующие размеры равнобоких уголков:

- тяга траверсы 20х20х3мм;

- пояс траверсы 90х90х7мм, .

Список литературы

1. Степин П.А. Сопротивление материалов: учебник для вузов / П.А. Степин. – М.: Лань,

2010. – 320 с.

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

3. Крюков К. П., Новгородцев Б. П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи / – Энергия: Ленинградское отделение, 1970. – 392 с.

4. ГОСТ 8509-93. Межгосударственный стандарт. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент. 1997.01.01

5. СТО 70238424.29.240.20.001-2011 Воздушные линии напряжением 0,4 - 20 кВ. Условия создания. Нормы и требования.

5.1 РАЗРАБОТАН Филиалом Открытого акционерного общества "Научно-технический центр электроэнергетики" - Институтом по проектированию сетевых и энергетических объектов (РОСЭП)  
5.2 ВНЕСЕН Комиссией по техническому регулированию НП "ИНВЭЛ"  
5.3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ [Приказом НП "ИНВЭЛ" от 01.11.2011 N 109/4](http://docs.cntd.ru/document/902354038)  
5.4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ