**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.

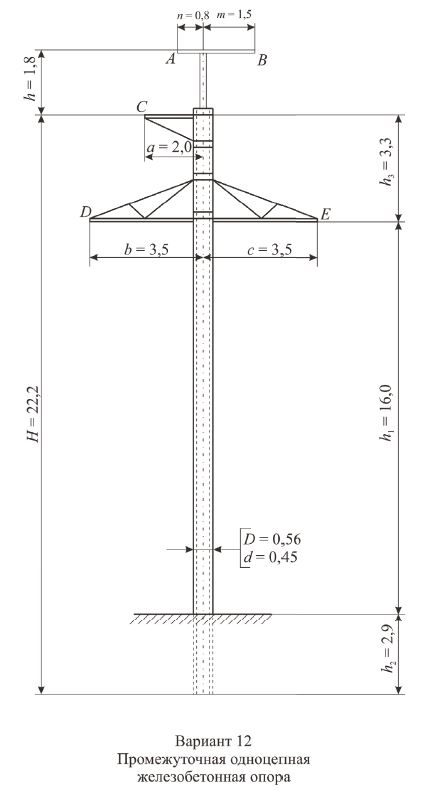
4 Построение эпюр крутящих моментов Тк.

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

**Исходные данные для расчета:**

**Вариант № 12**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **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** |  |
| **12** | **Промежуточная одноцепная** | **Железобетон** | **I нормальный** | **4,7** | **2,7** | **1,8** | **1,6** | **12,9** | **13,6** | **36** | **56,8** | **0,68** | **B, E** |



Расчетные размеры опоры

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

«Химическая технология»

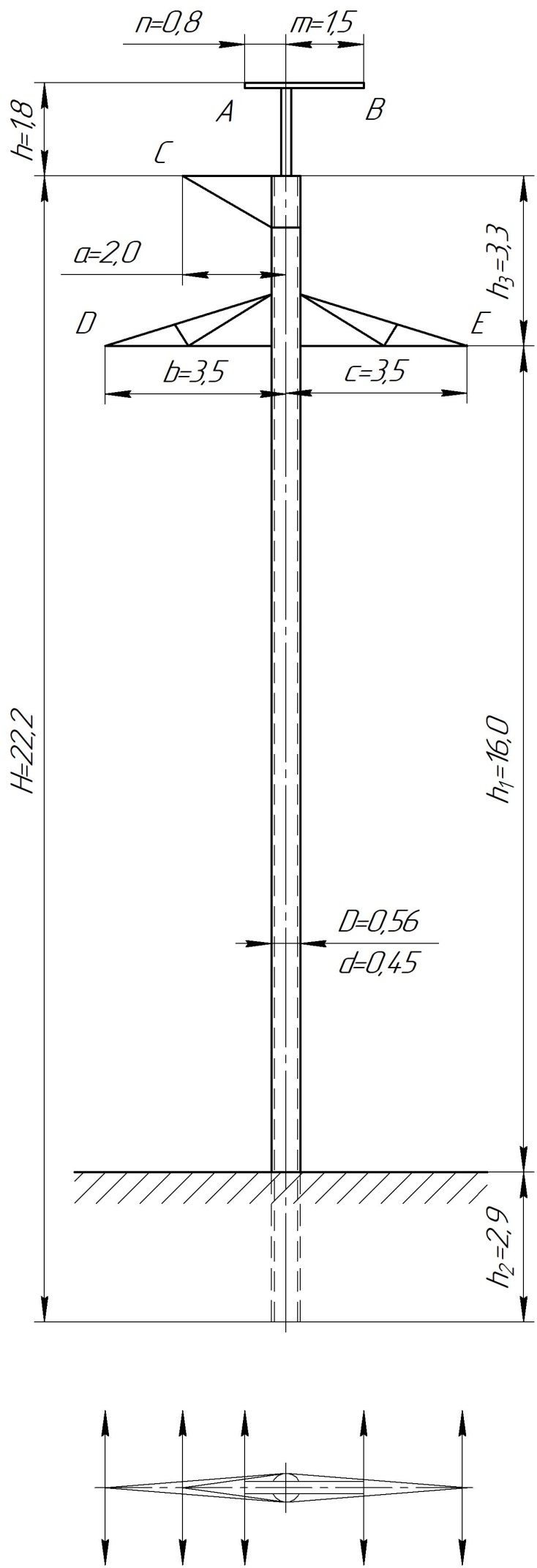
Задание принял студент гр. \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Зав. кафедрой «Химическая

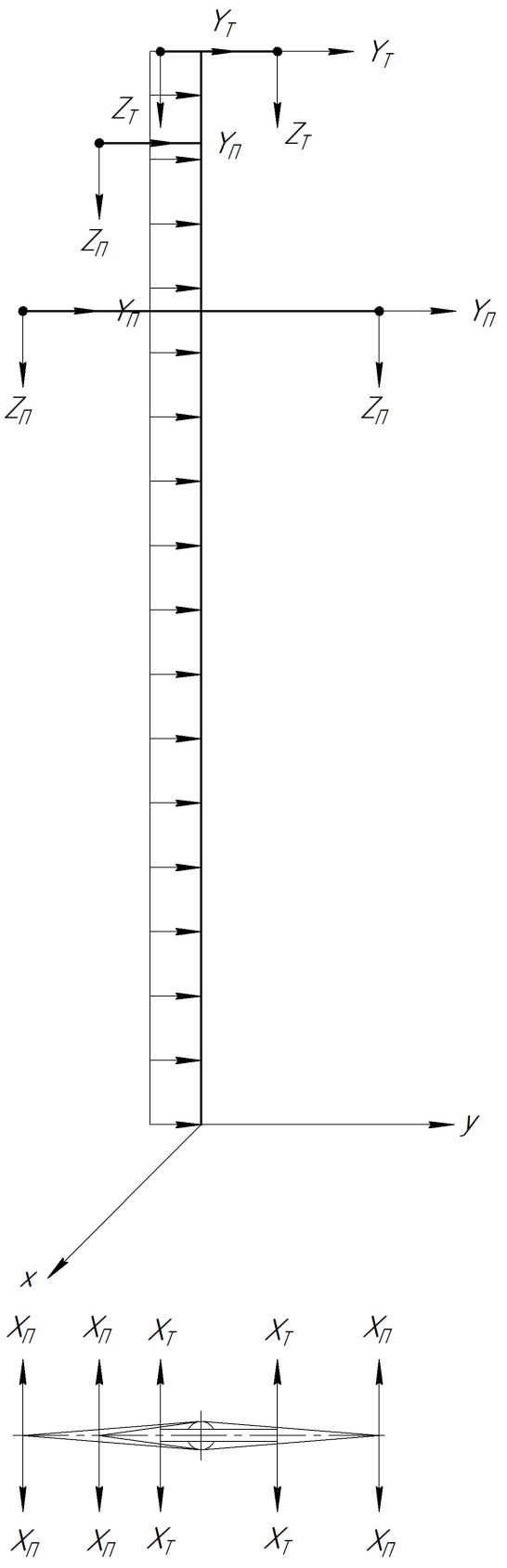
технология», доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.А. Уютов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | 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. | 8-11 |
| 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. | 12-16 |
| 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 |
| 12 | 2.3. Построение эпюры изгибающих моментов M в плоскости, параллельной оси ЛЭП (плоскость xz ) | 15 |
| 13 | 2.4. Построение эпюры крутящих моментов | 16 |
| 14 | 3. Определение характеристик и прочности стойки железобетонной опоры | 17-20 |
| 19 | 4. Расчет траверсы | 21-24 |
| 20 | 4.1 Выбор расчетной схемы и определение геометрических характеристик траверсы | 21 |
| 21 | 4.2 Определение усилий в стержнях траверсы в нормальном режиме | 21-22 |
| 22 | 4.3 Определение усилий в стержнях траверсы в аварийном режиме | 22 |
| 23 | 4.4 Подбор равнобокого уголка для тяги, работающей только на растяжение | 22-23 |
| 24 | 4.5 Подбор равнобокого уголка для пояса траверсы по условию устойчивости методом последовательных приближений | 23-24 |
| 25 | 4.6 Определение критической силы и коэффициента запаса устойчивости | 24 |
| 26 | 5. Выводы | 24 |
| 27 | Список литературы | 25 |

Промежуточная одноцепная железобетонная опора



Расчетная схема опоры в нормальном режиме



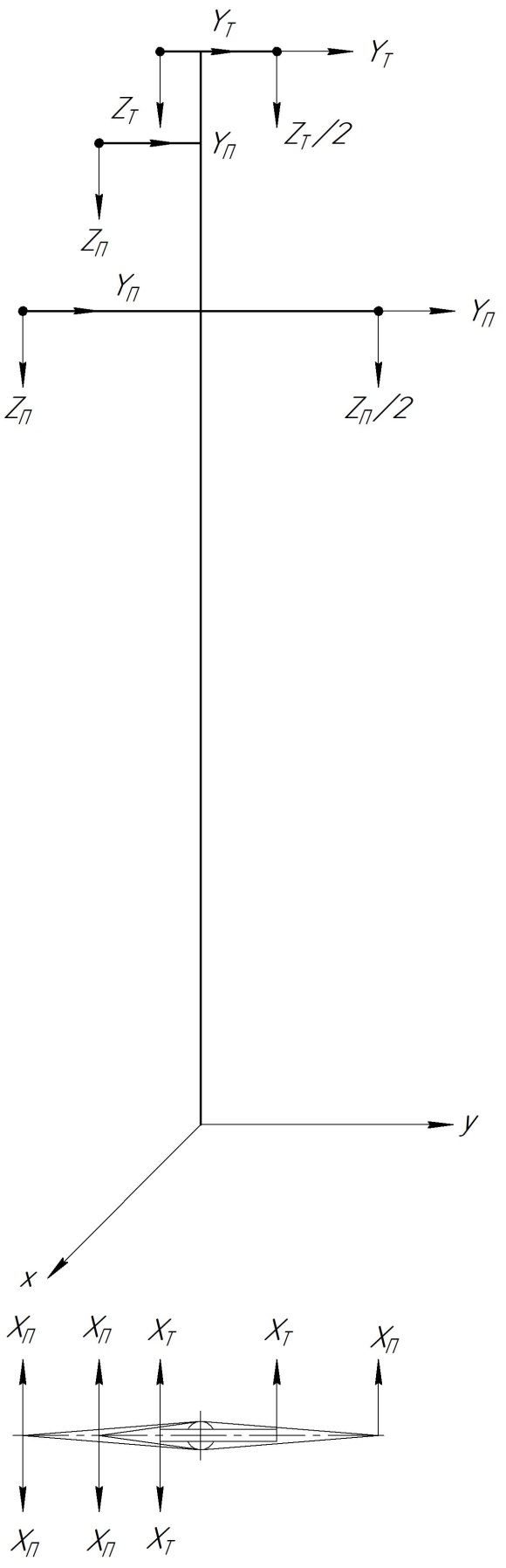
I нормальный режим

Ветер максимальной интенсивности , гололеда нет

Вес опоры

Угол при вершине траверсы равен

Расчетная схема опоры в аварийном режиме



Аварийный режим. Ветра нет.

Вес опоры

В точках B, E оборван передний провод.

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

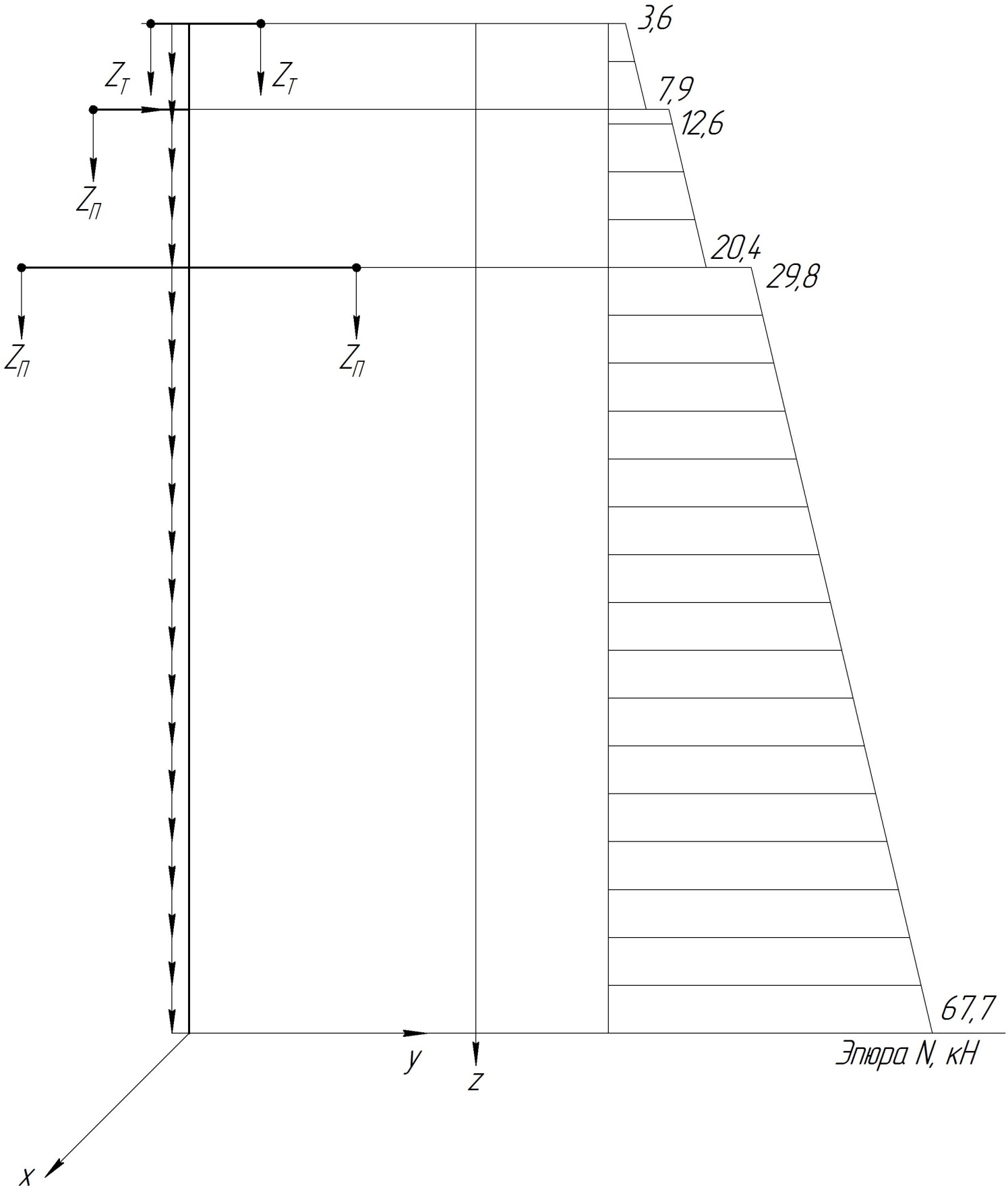
Рассматриваем опору как консольную балку с заделкой на нижнем конце и начинаем построение всех эпюр внутренних усилий со свободного конца. Начало отсчета координаты  выбираем в верхней точке опоры, ось  направляем вниз.

* 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.

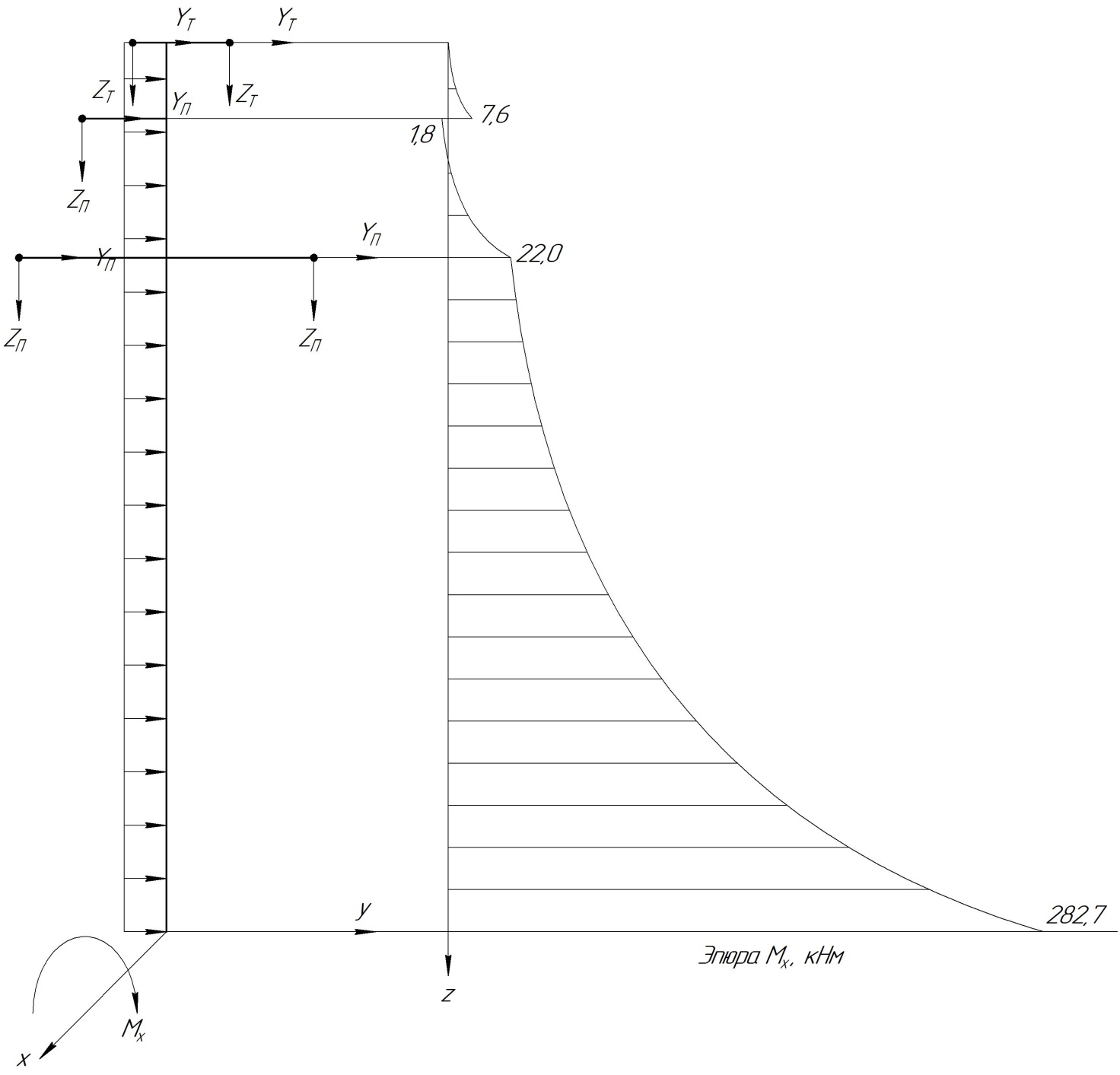


* 1. **Построение эпюры изгибающих моментов  в плоскости,**

**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:



* 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 .

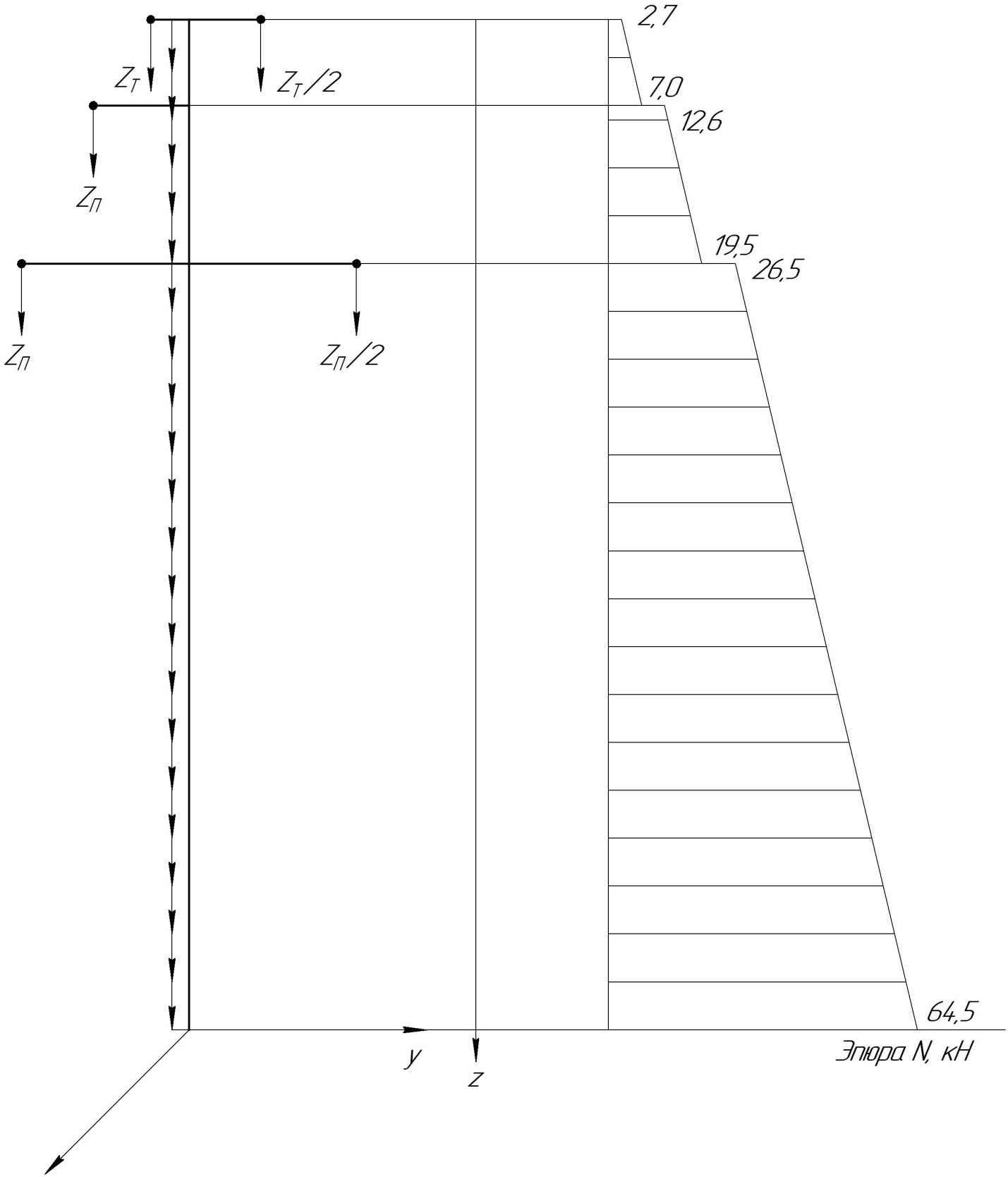
* 1. **Построение эпюры крутящих моментов **

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, E** вертикальные силы и в этих точках уменьшаются в два раза. Вычисляем значения продольной силы в характерных сечениях и строим эпюру:

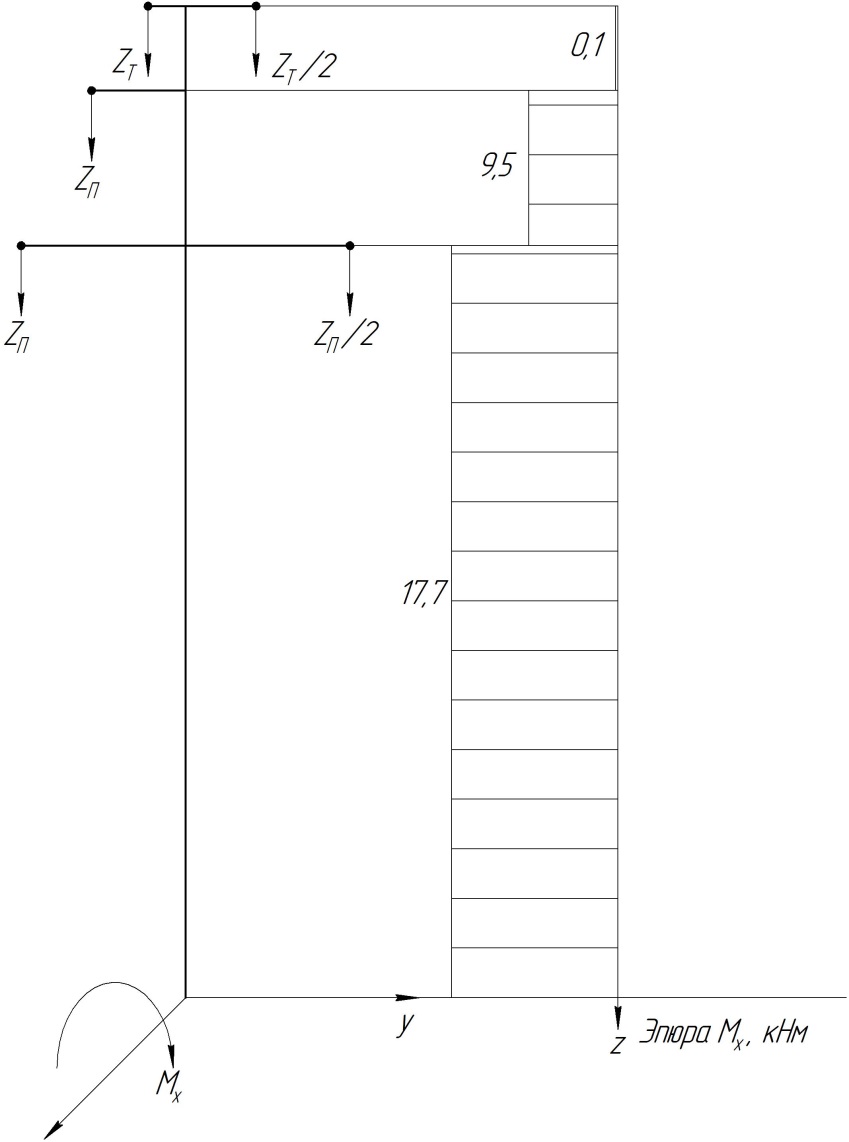
Вычисляем значения продольной силы в характерных сечениях и строим эпюру:



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

**перпендикулярной оси ЛЭП (плоскость )**

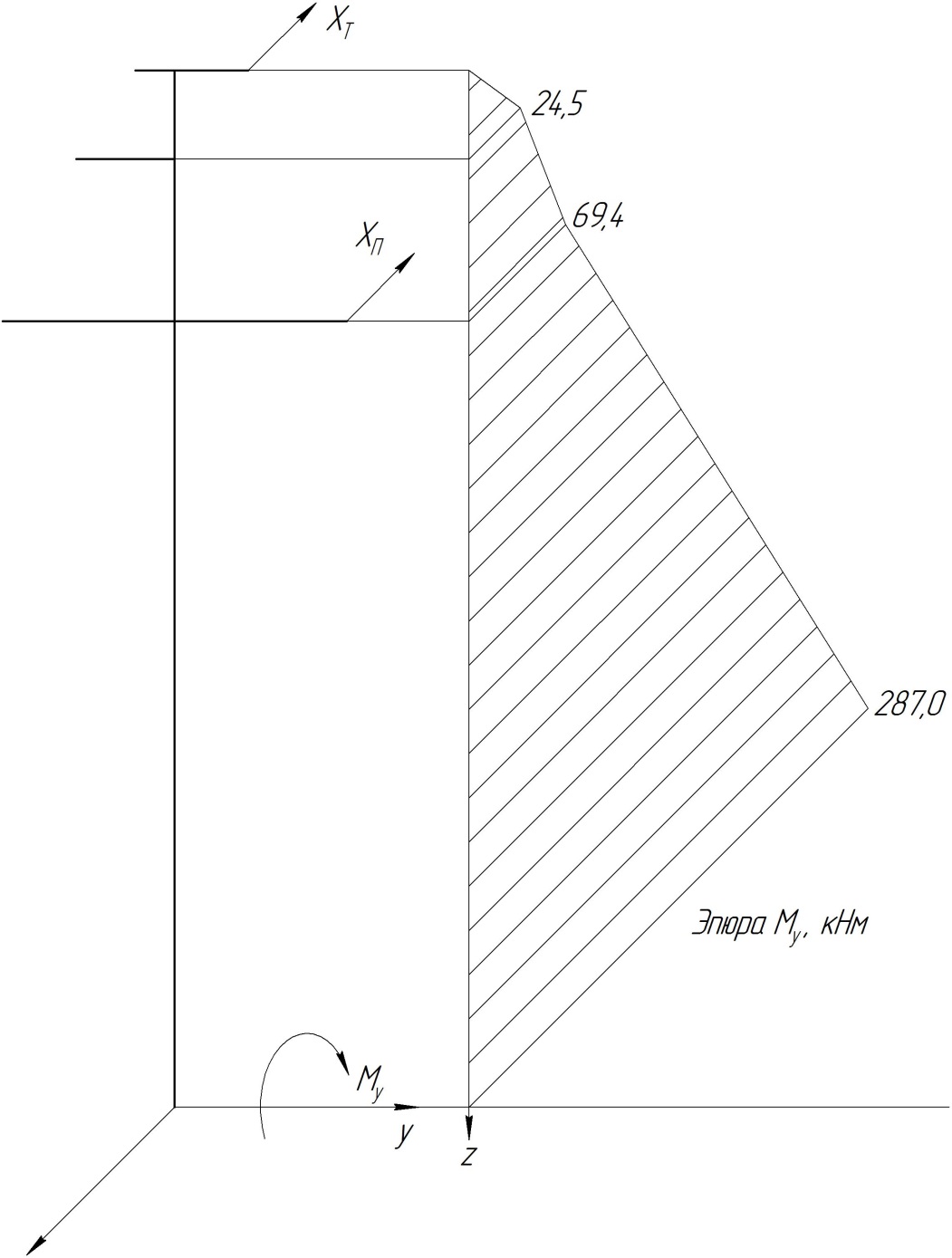
Аварийный режим рассчитывается без ветра, поэтому горизонтальные нагрузки от давления ветра на провода, трос и ствол опоры (*Y*п,*Y*т ,*q*в ) отсутствуют. Изгибающий момент  обусловлен действием только вертикальных сил .



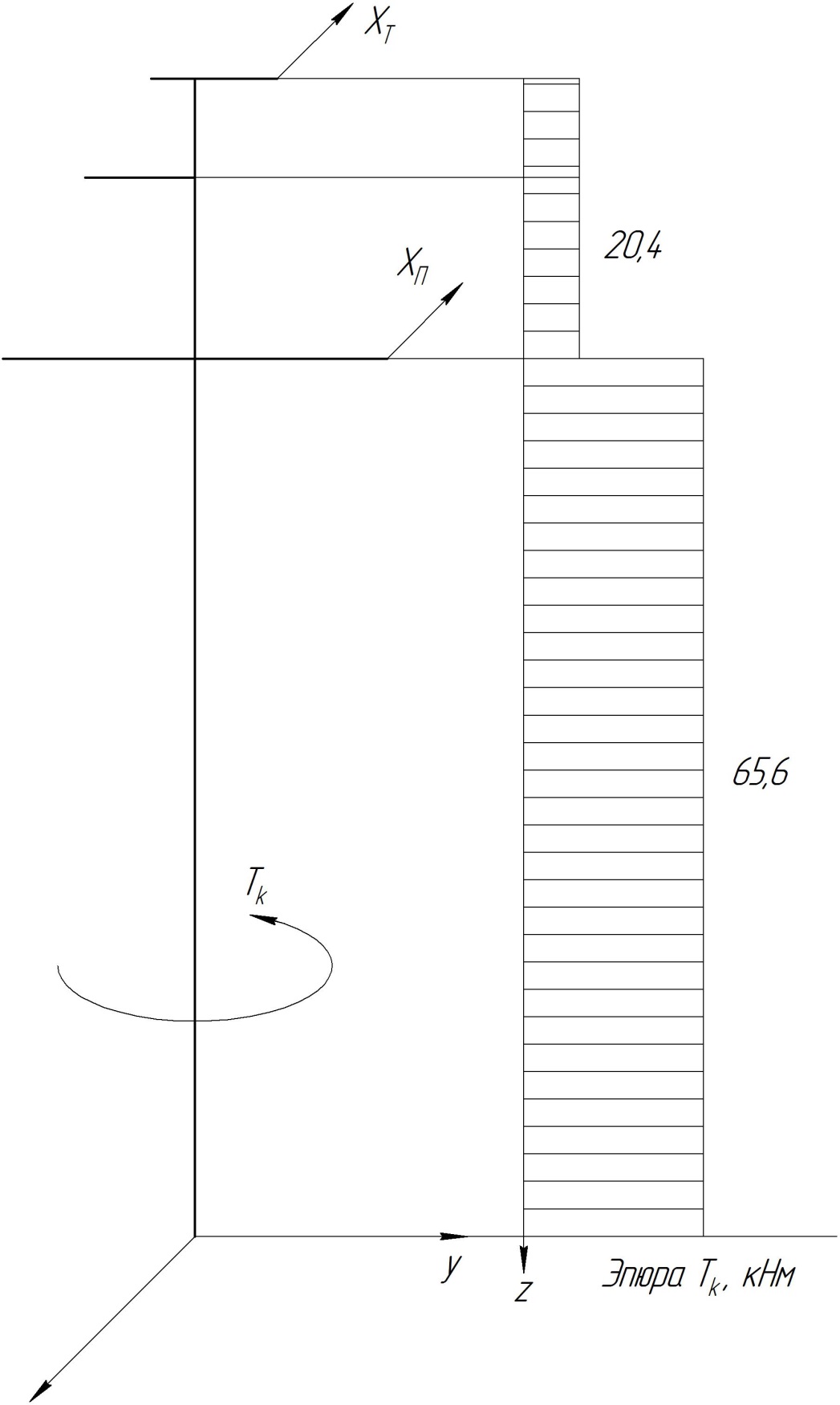
* 1. **Построение эпюры изгибающих моментов  в плоскости,**

**параллельной оси ЛЭП (плоскость )**

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



* 1. **Построение эпюры крутящих моментов **



**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

*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:

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 50х50х5мм с наиболее близкой площадью поперечного сечения . Максимальное растягивающее напряжение в стержне

.

Сравнивая это напряжение с допускаемым, получаем недогрузку на

Для тяги траверсы подобран уголок 50х50х5мм.

* 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 75х75х7мм с площадью и минимальным радиусом инерции

Находим гибкость  стержня длиной , Гибкость больше 200, поэтому введем ребро жесткости для уменьшения расчетной длины стержня, тогда и чему соответствует коэффициент понижения основного допускаемого напряжения для стали Ст3 =0,52. Допускаемое напряжение при расчете на устойчивость Максимальное сжимающее напряжение в стержне

Сравнивая напряжения, получаем недогрузку на

Рассмотрим ближайший меньший по площади профиль.

По сортаменту находим уголок 70х70х7мм с площадью и минимальным радиусом инерции

Находим 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 перегрузку на

Принимаем первый вариант профиля: 75х75х7.

* 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 75х75х7мм.

1. **Выводы**

За расчетные приняты следующие размеры равнобоких уголков:

- тяга траверсы 50х50х5мм;

- пояс траверсы 75х75х7мм, .

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