|  |  |
| --- | --- |
| **1** | **Северо-Западный НПЦ АрхиМет**  **Общество с ограниченной ответственностью**  ИНН 7816456217 КПП 780101001  Юр. Адрес: Санкт-Петербург, 5-я линия В.О., д.70  Тел.: (812)309-38-03  [www.archimet.ru](http://www.archimet.ru)  [mail@archimet.ru](mailto:mail@archimet.ru) |
|  | |
|  | |
| **{{ project\_name }}** | |
|  | |
| **Технологические и конструктивные решения объекта. Искусственные сооружения** | |
| **{{ project\_code }}-ТКР** | |
|  | |
|  | |
|  | |
|  | |
| **{{ year }}** | |

|  |  |
| --- | --- |
| **1** | **Северо-Западный НПЦ АрхиМет**  **Общество с ограниченной ответственностью**  ИНН 7816456217 КПП 780101001  Юр. Адрес: Санкт-Петербург, 5-я линия В.О., д.70  Тел.: (812)309-38-03  [www.archimet.ru](http://www.archimet.ru)  [mail@archimet.ru](mailto:mail@archimet.ru) |
|  | |
|  | |
| **{{ project\_name }}** | |
|  | |
| **Технологические и конструктивные решения объекта. Искусственные сооружения** | |
| **{{ project\_code }}-ТКР** | |
|  | |
| Генеральный директор Собин К.Н. | |
| Главный инженер проекта Родчихин С.В. | |
|  | |
| **{{ year }}** | |

**Содержание тома**

[1 Общие сведения 2](#_Toc170418611)

[1.1 Реквизиты документов, на основании которых принято решение о разработке документации 2](#_Toc170418612)

[1.2 Исходные данные и условия для подготовки документации 2](#_Toc170418613)

[2 Сведения о климатической, географической и инженерно-геологической характеристике района 2](#_Toc170418614)

[3 Сведения об объекте 8](#_Toc170418615)

[3.1. Описание объекта 8](#_Toc170418616)

[3.2. Конструктивные решения 9](#_Toc170418617)

[3.3. Фундамент 10](#_Toc170418618)

[4 Основные технико-экономические показатели проектируемого объекта 10](#_Toc170418619)

[5 Сведения о земельных участках, изымаемых во временное (на период строительства) и (или) постоянное пользование 10](#_Toc170418620)

[6 Сведения о земельных участках, категории земель, на которых располагается проектируемый объект 10](#_Toc170418621)

[7 Сведения о размере средств, требующихся для возмещения убытков правообладателям земельных участков, - в случае их изъятия во временное и (или) постоянное пользование 10](#_Toc170418622)

[8 Сведения об использованных в проекте изобретениях, результатах патентных исследований 11](#_Toc170418623)

[9 Сведения о наличии разработанных и согласованных специальных технических условий. 11](#_Toc170418624)

[10 Сведения о компьютерных программах, которые использовались при выполнении расчетов конструктивных элементов зданий, строений и сооружений 11](#_Toc170418625)

[11 Сведения о предполагаемых затратах, связанных со сносом зданий и сооружений, переселением людей, переносом сетей инженерно-технического обеспечения 11](#_Toc170418626)

[12 Последовательность строительства объекта, намечаемые этапы строительства 12](#_Toc170418627)

[13 Принципиальные проектные решения, обеспечивающие надежность объекта 12](#_Toc170418628)

[13.1. Расчет нагрузок 12](#_Toc170418629)

[13.2. Расчет металлоконструкций 14](#_Toc170418630)

[13.3. Молниезащита 24](#_Toc170418631)

**Заверение проектной организации**

Настоящий раздел разработан в соответствии с заданием на проектирование, техническими регламентами, в том числе устанавливающими требования по обеспечению безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасного использования прилегающих к ним территорий, и с соблюдением технических условий.

Главный инженер проекта \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С. В. Родчихин {{ current\_date }}

**Состав документации**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер  п/п | Обозначение | Наименование | Примечание |
| 1 | {{ project\_code }}-ТКР | Технологические и конструктивные решения. Искусственные сооружения |  |
| 2 | {{ project\_code }}-ПЗ | Пояснительная записка |  |
| 3 | {{ project\_code }}-МС | Монтажная схема |  |

**Лист подписей**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Главный инженер проекта | Родчихин С. В. |  | {{ mm\_yy }} |
| Нормоконтролер | Собин К. Н. |  | {{ mm\_yy }} |
| Инженер | Ушаков А. А. |  | {{ mm\_yy }} |
| Инженер | Мельситов П. А. |  | {{ mm\_yy }} |
|  |  |  |  |

# Общие сведения

Настоящая работа содержит описание технических решений по сооружению защитных конструкций типа КОЗ-У-Ш для защиты резервуарных парков и иных критически важных объектов для обеспечения непрерывного производственного цикла от беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) самолетного типа с характеристиками 200 км/час и 200 кг, а также дронов (заброс сверху).

### Реквизиты документов, на основании которых принято решение о разработке документации

Технико-конструктивные решения выполнены на основании Задания на проектирование и действующей нормативно-технической документации.

### Исходные данные и условия для подготовки документации

В качестве исходных данных и условий для проектирования использовались:

- Задание на проектирование (опросный лист);

- перечень объектов (РВС) с указанием основных габаритных характеристик, передаваемый Заказчиком.

# Сведения о климатической, географической и инженерно-геологической характеристике района

{{ general\_info }}

**Климат**

{{ klimat }}

**Рельеф**

{{ relief }}

**Геологические условия**

{{ geologia }}

**Растительность**

{{ flora }}

**Гидрологические условия**

{{ gidrologia }}

# Сведения об объекте

### 3.1. Описание объекта

Проектируемый объект – комплектные защитные конструкции типа КОЗ-У-Ш для защиты резервуаров и иных критически важных объектов для обеспечения непрерывного производственного цикла от беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) самолетного типа с характеристиками 200 км/час и 200 кг, а также дронов (заброс сверху).

В качестве защитного объекта для резервуара применяется комплектное решение КОЗ-У-Ш, представляющее собой каркас из металлоконструкций, окруженный сеткой из тросов (сеткой из канатов; сеткой манье) по периметру и сверху.

Защитный объект располагается над защищаемым резервуаром в виде «колпака», что позволяет обеспечить защиту со всех сторон, включая вертикальное направление.

Данная схема расположения позволяет обеспечить минимальную занимаемую площадь с сохранением требуемой надежности по защите основного объекта.

Общий вид проектируемого объекта приведен на чертеже «{{ project\_code }}».

### 3.2. Конструктивные решения

КОЗ-У-Ш представляет собой самонесущее модульное быстромонтируемое сооружение, состоящее из стандартных профилей, тросов, сетки.

Несущие конструкции изготавливаются из стали марки 09Г2С-12 и/или 09Г2С-15 по ГОСТ 19281-2014 и/или из стали марки Ст3сп5 по ГОСТ 535-2005, ГОСТ 14637-89, ГОСТ 8240-89, ГОСТ 8509-93, ГОСТ 19903-74. Класс прочности стали основных элементов принимается по таблице В.1 СП 16.13330 в зависимости от значения расчетной температуры воздуха. При этом допускается принимать сталь С345 для 1 и 2 групп конструкций.

Монтажные соединения элементов производятся на болтах класса прочности 5.8 и 8.8 по ГОСТ 7798-70. Болты комплектуются гайками класса прочности 8 и/или 5 по ГОСТ 5915-70\* и шайбами по ГОСТ 11371-78\*.

Сварные соединения элементов опоры и фундамента производить полуавтоматами в среде углекислого газа по ГОСТ 14771-76. Сварка производится в закрытых помещениях при положительной температуре окружающей среды. На месте сварки не должно быть атмосферных осадков, сильного ветра и сквозняков. Сварочные работы выполняются до оцинковки изделия.

Изготовление металлоконструкций производится в соответствии с требованиями ТУ 25.11.23-007-23118129-2024, СП 53-101-98, ГОСТ 23118-2019. Монтаж в соответствии с требованиями СП 70.13330.2012.

Антикоррозийное покрытие металлоконструкций – горячее цинкование по ГОСТ 9.307-89, с толщиной защитного слоя не менее 80 мкм. Антикоррозийное покрытие элементов крепежа (болтов, гаек, шайб и т.п.) - методом горячего оцинкования по ГОСТ 9.307-89, толщиной покрытия не менее 42 мкм и/или термодиффузионным оцинкованием по ГОСТ 9.316-2006, толщиной не менее 21 мкм.

### 3.3. Фундамент

КОЗ-У-Ш представляет собой самонесущее модульное сооружение, в связи с чем установка фундамента потребуется только для возможного смещения конструкции при атаке БпЛА.

# Основные технико-экономические показатели проектируемого объекта

Технико-экономическая характеристика проектируемого объекта:

1) Количество защитных объектов – 1 шт. на один резервуар;

2) Диаметр защитного объекта в основании – {{ diam\_osn }} мм;

3) Диаметр защитного объекта в верхней части – {{ diam\_verha }} мм;

4) Высота защитного объекта от основания – {{ h }} мм;

5) Теоретическая металлоемкость каркасных металлоконструкций – {{ teor\_massa\_metala }} т (на 4 шт.).

# Сведения о земельных участках, изымаемых во временное (на период строительства) и (или) постоянное пользование

Во временное пользование изымается земельный участок вокруг каждого из защищаемых резервуаров. Площадь участка, занимаемого проектируемым защитным объектом составляет {{ ploschad\_uchastka }} м2.

# Сведения о земельных участках, категории земель, на которых располагается проектируемый объект

Проектируемые объекты располагаются на территории {{ territoria\_raspoloj }}.

# Сведения о размере средств, требующихся для возмещения убытков правообладателям земельных участков, - в случае их изъятия во временное и (или) постоянное пользование

Строительство проектируемых объектов осуществляется на территории {{ territoria\_raspoloj }}. Проектом не предусматривается изъятие земель в постоянное пользование.

# Сведения об использованных в проекте изобретениях, результатах патентных исследований

В процессе проектирования изобретения не применялись. Применяемые опоры и узлы разработаны ООО «СевЗап НЦП Архимет» на основе собственных базовых конструкций, модернизированных для данного проекта.

# Сведения о наличии разработанных и согласованных специальных технических условий.

Специальные технические условия не требуются.

# Сведения о компьютерных программах, которые использовались при выполнении расчетов конструктивных элементов зданий, строений и сооружений

Для расчета нагрузок от ветра, гололеда, от тросов на металлоконструкции, расчета механической части применялись программы Смарт ЛЭП и SCAD Office 11.3.

# Сведения о предполагаемых затратах, связанных со сносом зданий и сооружений, переселением людей, переносом сетей инженерно-технического обеспечения

Проектом не предусматривается снос зданий и сооружений, не требуется переселение людей, а также не переносятся сети инженерно-технического обеспечения.

# Последовательность строительства объекта, намечаемые этапы строительства

Требуемое время для выполнения монтажа составляет 1-2 месяца.

Предполагаемый срок ввода в эксплуатацию – {{ god\_vvoda\_v\_ekspl }} год.

# Принципиальные проектные решения, обеспечивающие надежность объекта

### 13.1. Расчет нагрузок

В составе защитного объекта применяются металлоконструкции, которые выдерживают расчетные нагрузки от ветра, веса снега и гололеда, а также динамические нагрузки при воздействии на них ударной нагрузки от летящих БпЛА.

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

К постоянным нагрузкам относятся:

собственный вес тросов, строительных конструкций, линейной арматуры; тяжение 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.

К кратковременным нагрузкам относятся:

давление ветра на тросы и опоры - свободные от гололеда и покрытые гололедом; вес отложений гололеда на тросах, опорах; тяжение тросов сверх их значений при среднегодовой температуре; нагрузки от давления воды на опоры и фундаменты в поймах рек и от давления льда; нагрузки, возникающие при изготовлении и перевозке конструкций, а также при монтаже строительных конструкций, проводов и тросов.

К особым нагрузкам относятся:

нагрузки, возникающие при обрыве тросов, а также нагрузки при сейсмических воздействиях.

Нагрузки на опору от тросов определяются соответствии с ПУЭ-7. Расчет нагрузок осуществляется в специализированном программном комплексе Смарт ЛЭП.

Проектируемые защитные конструкции рассчитаны на применение в климатических условиях, приведенных в таблице 1.

Таблица 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристика показателя | Значение | Примечание |
| Район по ветру  Нормативное ветровое давление на высоте 10м над поверхностью земли (Wо), Па | {{ wind\_region }}  {{ wind\_pressure }} |  |
| Тип местности | {{ area }} |  |
| Район по гололеду  толщина стенки гололеда, мм | {{ ice\_region }}  {{ ice\_thickness }} |  |
| Нормативное ветровое давление при гололеде, Па | {{ ice\_wind\_pressure }} |  |
| Расчетная температура воздуха, 0 С  среднегодовая  минимальная  при ветре  при гололеде  максимальная | {{ year\_average\_temp }}  {{ min\_temp }}  {{ wind\_temp }}  {{ ice\_temp }}  {{ max\_temp }} |  |
| Региональные коэффициенты:  по ветру  по гололеду | {{ wind\_reg\_coef }}  {{ ice\_reg\_coef }} |  |
| Сейсмичность по шкале MSK-64, балл | {{ seism\_rayon }} |  |

Климатические характеристики принимаются в соответствии с проектом, Заданием на проектирование и действующей нормативно-технической документацией.

При расчете учитываются климатические условия - ветровое давление, толщина стенки гололеда, температура воздуха, интенсивность грозовой деятельности.

Методика расчета нагрузок при воздействии на них ударной нагрузки от летящих БпЛА приведена в Приложении А тома «{{ project\_code }}-ПЗ».

### 13.2. Расчет металлоконструкций

**Расчетные положения**

Расчет металлоконструкций проведен по деформированной схеме: с учетом дополнительных усилий (изгибающих моментов), возникающих от весовых нагрузок при деформациях стойки опоры.

Расчет выполнен по методу предельных состояний.

Предельные состояния, по которым производится расчет металлоконструкций, подразделяются на две группы.

Первая группа включает предельные состояния, которые ведут к потере несущей способности элементов или к полной непригодности их в эксплуатации, 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 или крутящим моментам на опоры, наибольшим 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.

Метод расчета по предельным состояниям имеет целью не допускать, с определенной вероятностью, наступления предельных состояний первой и второй групп при эксплуатации, а также первой группы при производстве работ по сооружению конструкций.

Металлоконструкции рассчитываются на сочетания расчетных нагрузок нормальных режимов по первой и второй группам предельных состояний. Расчет на прочность и устойчивость производится на нагрузки первой группы предельных состояний. Расчет на выносливость и по деформациям производится на нагрузки второй группы предельных состояний.

Расчет производится в соответствии с ПУЭ-7, СП 16.13330.2017.

Геометрическое моделирование выполнялось в ВК Structure CAD.

Габариты и размеры поперечных сечений несущих элементов принимались согласно чертежам марки КМ.

Идеализация модели заключалась в выделении основных элементов несущей системы сооружения и способов сопряжения.

Из расчетных загружений были составлены расчетные комбинации загружений. Проверка прочности элементов выполнялась по расчетным сочетаниям усилий.

Для проверки несущей способности металлоконструкций на заданные условия были выполнены следующие расчеты:

1. Расчет ветровой нагрузки. Ветровая нагрузка на конструкцию определяется как сумма средней и пульсационной составляющих согласно п. 2.5.63 ПУЭ-7.

2. Расчет динамических нагрузок при воздействии на них ударной нагрузки от летящих БпЛА.

3. Расчеты несущей способности элементов по первой (по прочности и устойчивости) и второй (по деформативности) группам предельных состояний. Конструкция рассчитана в специализированном программном комплексе.

Расчет ветровой нагрузки.

Расчет ветровой нагрузки определяется согласно ПУЭ-7:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, документ

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, документ

Автоматически созданное описание

Нормативная пульсационная составляющая также определяется в соответствии с пунктом 11.1.8 «СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия» по формулам, приведенным ниже.

Изображение выглядит как текст, число, Шрифт, снимок экрана

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

Нормативная пульсационная составляющая принимается равной наибольшему значению, полученному по одному из двух методов определения.

**Краткое описание методики расчета несущей способности**

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней, пластин, оболочек и т.д.), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам.

Тип конечного элемента определяется его геометрической формой, правилами, определяющими зависимость между перемещениями узлов конечного элемента и узлов системы, физическим законом, определяющим зависимость между внутренними усилиями и внутренними перемещениями, и набором параметров (жесткостей), входящих в описание этого закона и др.

Узел в расчетной схеме метода перемещений представляется в виде абсолютно жесткого тела исчезающемалых размеров. Положение узла в пространстве при деформациях системы определяется координатами центра и углами поворота трех осей, жестко связанных с узлом. Узел представлен как объект, обладающий шестью степенями свободы – тремя линейными смещениями и тремя углами поворота.

Все узлы и элементы расчетной схемы нумеруются. Номера, присвоенные им, следует трактовать только, как имена, которые позволяют делать необходимые ссылки.

Основная система метода перемещений выбирается путем наложения в каждом узле всех связей, запрещающих любые узловые перемещения. Условия равенства нулю усилий в этих связях представляют собой разрешающие уравнения равновесия, а смещения указанных связей - основные неизвестные метода перемещений.

В общем случае в пространственных конструкциях в узле могут присутствовать все

шесть перемещений:

1 - линейное перемещение вдоль оси X;

2 - линейное перемещение вдоль оси Y;

3 - линейное перемещение вдоль оси Z;

4 - угол поворота с вектором вдоль оси X (поворот вокруг оси X);

5 - угол поворота с вектором вдоль оси Y (поворот вокруг оси Y);

6 - угол поворота с вектором вдоль оси Z (поворот вокруг оси Z).

Нумерация перемещений в узле (степеней свободы), представленная выше, используется далее всюду без специальных оговорок, а также используются соответственно обозначения X, Y, Z, UX, UY и UZ для обозначения величин соответствующих линейных перемещений и углов поворота.

В соответствии с идеологией метода конечных элементов, истинная форма поля перемещений внутри элемента (за исключением элементов стержневого типа) приближенно представлена различными упрощенными зависимостями. При этом погрешность в определении напряжений и деформаций имеет порядок (h/L)k, где h — максимальный шаг сетки; L — характерный размер области. Скорость уменьшения ошибки приближенного результата (скорость сходимости) определяется показателем степени k, который имеет разное значение для перемещений и различных компонент внутренних усилий (напряжений).

Для описания расчетной схемы используются следующие декартовы системы координат:

1) Глобальная правосторонняя система координат XYZ, связанная с расчетной схемой;

2) Локальные правосторонние системы координат, связанные с каждым конечным элементом.

Тип схемы

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.

Набор исходных данных

Детальное описание расчетной схемы содержится в документе "Исходные данные", где представлены сведения о расчетной схеме.

Граничные условия

Возможные перемещения узлов конечно-элементной расчетной схемы ограничены внешними связями, запрещающими некоторые из этих перемещений.

Условия примыкания элементов к узлам

Точки примыкания конечного элемента к узлам (концевые сечения элементов) имеют одинаковые перемещения с указанными узлами.

Исключение составляют стержневые элементы, для которых предусмотрено наличие шарниров и/или ползунов, разрешающих угловые и/или линейные перемещения узлов и концевых сечений элементов относительно узлов расчетной схемы.

Характеристики использованных типов конечных элементов

В расчетную схему включены конечные элементы следующих типов.

Стержневые конечные элементы, для которых предусмотрена работа по обычным правилам сопротивления материалов. Описание их напряженного состояния связано с местной системой координат, у которой ось X1 ориентирована вдоль стержня, а оси Y1 и Z1 — вдоль главных осей инерции поперечного сечения.

К стержневым конечным элементам рассматриваемой расчетной схемы относятся следующие типы элементов:

Элемент типа 5, который работает по пространственной схеме и воспринимает продольную силу N, изгибающие моменты Мy и Mz, поперечные силы Qz и Qy, а также крутящий момент Mk.

Результаты расчета

В настоящем отчете результаты расчета представлены выборочно. Вся полученная в результате расчета информация хранится в электронном виде.

Перемещения

Правило знаков для перемещений

Правило знаков для перемещений принято таким, что линейные перемещения положительны, если они направлены в сторону возрастания соответствующей координаты, а углы поворота положительны, если они соответствуют правилу правого винта (при взгляде от конца соответствующей оси к ее началу движение происходит против часовой стрелки).

Усилия и напряжения

Вычисленные значения усилий и напряжений в элементах от комбинаций загружений в отчете представлены выборочно.

Для стержневых элементов усилия по умолчанию выводятся в концевых сечениях упругой части (начальном и конечном) и в центре упругой части, а при наличии запроса пользователя и в промежуточных сечениях по длине упругой части стержня. Для пластинчатых, обьемных, осесимметричных и оболочечных элементов напряжения выводятся в центре тяжести элемента и при наличии запроса пользователя в узлах элемента.

Правило знаков для усилий (напряжений)

Правила знаков для усилий (напряжений) приняты следующими:

Для стержневых элементов возможно наличие следующих усилий:

N - продольная сила;

MKP - крутящий момент;

MY - изгибающий момент с вектором вдоль оси Y1;

ΘZ - перерезывающая сила в направлении оси Z1 соответствующая моменту MY;

MZ - изгибающий момент относительно оси Z1;

ΘY - перерезывающая сила в направлении оси Y1 соответствующая моменту MZ;

RZ - отпор упругого основания.

Положительные направления усилий в стержнях приняты следующими:

- для перерезывающих сил ΘZ и ΘY - по направлениям соответствующих осей Z1 и Y1;

- для моментов MX, MY, MZ - против часовой стрелки, если смотреть с конца

соответствующей оси X1, Y1, Z1;

- положительная продольная сила N всегда растягивает стержень.

Изображение выглядит как диаграмма, зарисовка, Технический чертеж, рисунок

Автоматически созданное описание

На рисунке показаны положительные направления внутренних усилий и моментов в сечении горизонтальных и наклонных (а), а также вертикальных (б) стержней.

Знаком “+” (плюс) помечены растянутые, а знаком ”-” (минус) - сжатые волокна поперечного сечения от воздействия положительных моментов My и Mz.

Из всех возможных сочетаний отбираются те РСУ, которые соответствуют максимальному значению некоторой величины, избранной в качестве критерия и зависящей от всех компонентов напряженного состояния:

для стержней — экстремальные значения нормальных и касательных напряжений в

контрольных точках сечения, которые показаны на рисунке

Изображение выглядит как диаграмма, зарисовка, линия, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

**Результаты расчета**

По результатам расчета полученные значения напряжений в сечениях элементов не превышают предельно допустимые значения по прочности и устойчивости. Максимальные усилия, воспринимаемые болтами соединений, не превышают допустимых по прочности.

На основании проведенных расчетов опорная металлоконструкция удовлетворяет требованиям по прочности и устойчивости и может быть применена для конкретных условий проекта.

### 13.3. Молниезащита

Расчет молниезащиты — это определение типа защиты, ее зоны и параметров.

По типу молниезащита (м/з) может быть следующей:

- одностержневой;

- двухстержневой одинаковой или разной высоты;

- многократной стержневой;

- одиночной тросовой;

- многократной тросовой.

По степени надежности защиты различают два типа зон:

А — степень надежности защиты ***>=*** 99,5 %;

Б — степень надежности защиты 95... 99,5 %.

Параметрами молниезащиты являются:

h— полная высота стержневого молниеотвода, м;

hо — высота вершины конуса стержневого молниеотвода, м;

hx — высота защищаемого сооружения, м;

hм — высота стержневого молниеприемника, м;

*ha*— активная высота молниеотвода, м;

ro, rx— радиусы защиты на уровне земли и на высоте защищаемого сооружения, м;

*hс* — высота средней части двойного стрежневого молниеотвода, м;

2rc, 2rx— ширина средней части зоны двойного стержневого молниеотвода на уровне земли и на высоте защищаемого объекта, м;

α- угол защиты (между вертикалью и образующей), град;

*L* — расстояние между двумя стержневыми молниеотводами, м;

*а* —длина пролета между опорами троса, м;

h*оп* — высота опоры троса, м;

*rх + r'х* — ширина зоны тросового молниеотвода на уровне защищаемого сооружения, м;

*а +* 2гсх — длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне защищаемого соору­жения, м;

*а* + 2гс— длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне земли, м.

Ожидаемое количество поражений *(N)* молнией в год производится по формулам:

для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни)

Изображение выглядит как текст, Шрифт, типография, белый

Автоматически созданное описание

где h***x*** — наибольшая высота здания или сооружения, м;

***п*** — среднегодовое число ударов молнии в 1 км2 земной поверхности в месте нахождения здания или сооружения (т. е. удельная плотность ударов молнии в землю), 1/(км2-год);

для зданий и сооружений прямоугольной формы

Изображение выглядит как Шрифт, рукописный текст, белый, каллиграфия

Автоматически созданное описание

Где: *А* и *В* — длина и ширина здания или сооружения, м.

*Примечание.* Если здание и сооружение имеют сложную конфигурацию, то *А* и *В* — это сто­роны прямоугольника, в который вписывается на плане защищаемый объект.

Принятие решения о типе и высоте молниеотводов опирается на желаемый уровень надежности (Р3). Эффективная защита объекта считается достигнутой, если общая система его молниеотводов обеспечивает уровень надежности не менее заданного значения Р3.

В качестве средств молниезащиты применяется комбинация со специально установленными молниеотводами в верхней части.

При использовании простых молниеотводов (например, одиночных стержневых, тросовых или их комбинаций) размеры молниеотводов могут быть определены на основе заданных зон защиты, обеспечивая требуемый уровень защиты объекта.

Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой *h* является круговой конус высотой *h0* < *h,* вершина которого находится на оси молниеотвода (рисунок 13.1). Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса *h0* и радиусом конуса на уровне земли *r0*.

Для зоны защиты требуемой надежности (рисунок 13.1) радиус горизонтального сечения *rх* на высоте *hх* определяется по формуле:

Изображение выглядит как диаграмма, зарисовка, линия, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

Рисунок 13.1 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

В таблице 13.4 приведены формулы для расчета параметров *h0*, *r0* в зависимости от надежности защиты *Рз* и высоты молниеотвода высотой до 150 *м*. При более высоких молниеотводах следует пользоваться специальной методикой расчета.

Таблица 13.4 – Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Надежность защиты *Р3* | Высота молниеотвода *h*, м | Высота конуса *h0*, м | Радиус конуса *r0*, м |
| 0,9 | от 0 до 100 | 0,85·*h* | 1,2·*h* |
| от 100 до 150 | 0,85·*h* | [1,2-10-3·(*h*-100)]·*h* |
| 0,99 | от 0 до 30 | 0,8·*h* | 0,8·h |
| от 30 до 100 | 0,8·*h* | [0,8-1,43·10-3·(*h*-30)]·*h* |
| от 100 до 150 | [0,8-10-3·(*h*-100)]·*h* | 0,7·*h* |
| 0,999 | от 0 до 30 | 0,7·*h* | 0,6·*h* |
| от 30 до 100 | [0,7-7,14·10-4·(*h*-30)]·*h* | [0,6-1,43·10-3·(*h*-30)]·*h* |
| от 100 до 150 | [0,65-10-3·(*h*-100)]·*h* | [0,5-2·10-3·(*h*-100)]·*h* |

Зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

Стандартные области защиты одиночного тросового молниеотвода с высотой h ограничены симметричными двускатными поверхностями, формирующими равнобедренный треугольник в вертикальном сечении. Вершина треугольника расположена на высоте h0, где h0 < h, а основание находится на уровне земли на расстоянии 2r0 (см. рисунок 2.2.2).

Таблица 13.5 предоставляет формулы для вычисления параметров h0 и r0 в зависимости от требуемой надежности защиты (Рз) и высоты молниеотвода (h) для молниеотводов высотой до 150 метров.

Таблица 13.5 Расчет зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Надежность защиты *Р3* | Высота молниеотвода *h*, м | Высота конуса *h0*, м | Радиус конуса *r0*, м |
| 0,9 | от 0 до 150 | 0,87·*h* | 1,5·*h* |
| 0,99 | от 0 до 30 | 0,8·*h* | 0,95·*h* |
| от 30 до 100 | 0,8·*h* | [0,95- 7,14 ·10-4(*h*-30)]·*h* |
| от 100 до 150 | 0,8·*h* | [0,9-10-3·(*h*-100)]·*h* |
| 0,999 | от 0 до 30 | 0,75·*h* | 0,7·*h* |
| от 30 до 100 | [0,75- 4,28·10-4·(*h*-30)] ·*h* | [0,7-1,43·10-3·(*h*-30)]·*h* |
| от 100 до 150 | [0,72-10-3·(*h*-100)]· *h* | [0,6-10-3· (*h*-100)]·*h* |

Изображение выглядит как диаграмма, зарисовка, линия, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

Рисунок 13.2 Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

При большей высоте следует пользоваться специальным программным обеспечением. Здесь и далее под *h* понимается минимальная высота троса над уровнем земли (с учетом провеса). Полуширина *rх* зоны защиты требуемой надежности (рисунок 13.2) на высоте *hx* от поверхности земли определяется выражением:

С целью расширения области обеспечения защиты, в дополнение к основному тросовому молниеотводу, возможно внедрение дополнительных зон защиты вдоль несущих опор. Для расчета этих зон используются формулы для одиночных стержневых молниеотводов, представленные в таблице 2.2.4.

В случае длинных провесов тросов, например, у воздушных линий электропередачи, рекомендуется использовать программные методы для оценки вероятности прорыва молнии. Это особенно важно, так как построение зон защиты на основе минимальной высоты троса в пролете может привести к излишним резервам и неэффективному использованию ресурсов.

Необходимо учитывать конкретные параметры и геометрию системы для точного определения зон защиты и обеспечения наилучшей эффективности защиты от молнии.

Зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Двойной молниеотвод считается таковым, если расстояние между стержневыми молниеприемниками (L) не превышает предельного значения Lmax. В противном случае оба молниеотвода рассматриваются как отдельные.

Рисунок 13.3 представляет конфигурацию вертикальных и горизонтальных сечений стандартных зон защиты для двойного стержневого молниеотвода с высотой h и расстоянием L между молниеотводами. Построение внешних областей зон двойного молниеотвода (полуконусов с габаритами h0, r0) осуществляется с использованием формул из таблицы 13.4 для одиночных стержневых молниеотводов.

Размеры внутренних областей определяются параметрами h0 и hc, где первый устанавливает максимальную высоту зоны непосредственно у молниеотводов, а второй - минимальную высоту зоны по середине между молниеотводами. Если расстояние между молниеотводами L ≤ Lc, то граница зоны не имеет прогиба (hc = h0). Для расстояний Lc ≤ L ≤ Lmax высота hc определяется по выражению

Входящие в него предельные расстояния *Lmax* и *Lс* вычисляются по эмпирическим формулам таблицы 13.6, пригодным для молниеотводов высотой до 150 м. При большей высоте молниеотводов следует пользоваться специальным программным обеспечением.

Размеры горизонтальных сечений зоны вычисляются по следующим формулам, общим для всех уровней надежности защиты: максимальная полуширина зоны *rх* в горизонтальном сечении на высоте *hx*:

Изображение выглядит как диаграмма, зарисовка, рисунок, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

Рисунок 13.3 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

длина горизонтального сечения *lx* на высоте *hx* ≥ *hс*

причем при *hx < hc*, *lx* = *L*/*2*;

ширина горизонтального сечения в центре между молниеотводами *2rсх* на высоте *hx ≤ hc*

где все размеры в м; *h0* и *r0* определяются по высоте молниеотводов *h* по таблице 13.4, *hс* – по формуле 13.6, *hx* задается.

Таблица 13.6 – Расчет параметров зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Надежность защиты *Р3* | Высота молниеотвода *h*, м | *Lmax*, м | *Lс*, м |
| 0,9 | от 0 до 30 | 5,75·*h* | 2,5·*h* |
| от 30 до 100 | [5,75- 3,57 ·10-3·(*h*-30)]·*h* | 2,5·*h* |
| от 100 до 150 | 5,5·*h* | 2,5·*h* |
| 0,99 | от 0 до 30 | 4,75·*h* | 2,25·*h* |
| от 30 до 100 | [4,75 - 3,57·10-3·(*h*-30)]·*h* | [2,25 - 0,0107·(*h*-30)]·*h* |
| от 100 до 150 | 4,5·*h* | 1,5·*h* |
| 0,999 | от 0 до 30 | 4,25·*h* | 2,25·*h* |
| от 30 до 100 | [4,25 - 3,57·10-3·(*h*-30)]·*h* | [2,25 - 0,0107·(*h*-30)]·*h* |
| от 100 до 150 | 4,0·h | 1,5 *h* |

Зоны защиты двойного тросового молниеотвода

Молниеотвод считается двойным, когда расстояние между тросами *L* не превышает  
предельного значения *Lmах*. В противном случае оба молниеотвода рассматриваются как одиночные.

Конфигурация вертикальных и горизонтальных сечений стандартных зон защиты двойного тросового молниеотвода (высотой *h* и расстоянием между тросами *L*) представлена на рисунке 13.4. Построение внешних областей зон (двух односкатных поверхностей с габаритами *h0, r0)* производится по формулам таблицы 13.5 для одиночных тросовых молниеотводов.

Размеры внутренних областей определяются параметрами *h*0 и *hс*, первый из которых задает максимальную высоту зоны непосредственно у тросов, а второй - минимальную высоту зоны по середине между тросами. При расстоянии между тросами *L ≤ Lc* граница зоны не имеет прогиба *(hc=h0).* Для расстояний *Lc* *≤ L ≤ L*max высота *hc* определяется по выражению

Входящие в него предельные расстояния *Lmax* и *Lc* вычисляются по эмпирическим формулам таблицы 13.7, пригодным для тросов с высотой подвеса до 150 м. При большей высоте молниеотводов следует пользоваться специальным программным обеспечением.

Изображение выглядит как зарисовка, рисунок, диаграмма, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

Рисунок 13.4 – Зона защиты двойного тросового молниеотвода

Длина горизонтального сечения зоны защиты на высоте *hх* определяется по формулам:

Для расширения защищаемого объема на зону двойного тросового молниеотвода может быть наложена зона защиты опор, несущих тросы, которая строится как зона двойного стержневого молниеотвода, если расстояние *L* между опорами меньше *L*max, вычисленного по формулам таблицы 13.6. В противном случае опоры рассматриваются как одиночные стержневые молниеотводы.

Когда тросы непараллельны или разновысоки, либо их высота изменяется по длине пролета, для оценки надежности их защиты следует воспользоваться специальным программным обеспечением. Так же рекомендуется поступать при больших провесах тросов в пролете, чтобы избежать излишних запасов по надежности защиты.

Таблица 13.7 – Расчет параметров зоны зашиты двойного тросового молниеотвода

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Надежность защиты *Р3* | Высота молниеотвода *h*, м | *Lmax*, м | *Lc*, м |
| 0,9 | от 0 до 150 | 6,0·*h* | 3,0·*h* |
| 0,99 | от 0 до 30 | 5,0·*h* | 2,5·*h* |
| от 30 до 100 | 5,0·*h* | [2,5-7,14·10-3·(*h*-30)]·*h* |
| от 100 до 150 | [5,0 - 5·10-3·(*h*-100)]·*h* | [2,0-5·10-3·(*h*-100)]·*h* |
| 0,999 | от 0 до 30 | 4,75·*h* | 2,25·*h* |
| от 30 до 100 | [4,75-3,57·10-3·(*h*-30)]·*h* | [2,25-3,57·10-3·(*h*-30)]·*h* |
| от 100 до 150 | [4,5 - 5·10-3·(*h*-100)]·*h* | [2,0-5·10-3·(*h*-100)]·*h* |

При проектировании системы защиты от прямых разрядов молнии приоритет отдается использованию естественных молниеотводов. В случае, если эти молниеотводы не обеспечивают достаточную степень защиты, применяется их комбинация со специально установленными молниеотводами. Применяемая схема молниезащиты обеспечивает требуемую степень защиты.