



**ЕРСМ Сибири**

Engineering Procurement Construction Management

**ООО «ЕРСМ Сибири»**

660074, г. Красноярск,

ул. Борисова, 14 стр 2

оф. 606, а/я 21641

**тел.: +7 (391) 205-20-24**

e-mail: info@epcmsiberia.ru

www.epcmsiberia.ru

ИНН/КПП 2463242025/246301001

ОГРН 1122468065587

ОКПО 10210537

р/с 40702810912030113472

Филиал ООО «Экспобанк»

в г. Новосибирске

БИК 045004861

к/с 30101810450040000861

Заказчик – ООО «ЧЕТЫРНАДЦАТЫЙ ВЕТРОПАРК ФРВ»

«Гражданская ВЭС».

«Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги».

Этап 3. «Гражданская ВЭС»: ВЭУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVIE0647) мощностью 50,05 МВт.

## Проектная документация

Раздел 4 «Здания, строения и сооружения,  
входящие в инфраструктуру линейного объекта»

Подраздел 3 «Система электроснабжения»

Книга 1 «Электротехнические решения»

ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1

| Изм. | № док. | Подп. | Дата |
|------|--------|-------|------|
|      |        |       |      |
|      |        |       |      |
|      |        |       |      |

ООО «ЕРСМСибири»

Заказчик – ООО «ЧЕТЫРНАДЦАТЫЙ ВЕТРОПАРК ФРВ»

«Гражданская ВЭС».

«Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги».

Этап 3. «Гражданская ВЭС»: ВЭУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVIE0647)

мощностью 50,05 МВт.

### Проектная документация

Раздел 4 «Здания, строения и сооружения,  
входящие в инфраструктуру линейного объекта»

Подраздел 3 «Система электроснабжения»

Книга 1 «Электротехнические решения»

ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1

| Изм. | № док. | Подп. | Дата |
|------|--------|-------|------|
|      |        |       |      |
|      |        |       |      |
|      |        |       |      |

|              |  |
|--------------|--|
| Взам инв. №  |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл. |  |

Технический директор



A handwritten signature in blue ink, likely belonging to A.A. Lushnikov.

А.А. Лушников

Главный инженер проекта






A handwritten signature in blue ink, likely belonging to A.N. Bondarchuk.

Бондарчук А.Н.

2021

## Содержание тома

| Лист | Наименование  | Примечание |
|------|---|------------|
| 2    | Содержание тома   |            |
| 4    | Справка главного инженера проекта   |            |
| 5    | 1 Общая часть   |            |
| 5    | 1.1 Основания для разработки проектной документации                             |            |
| 5    | 1.2 Краткое содержание и общие сведения о Гражданская ВЭС                       |            |
| 6    | 2 Схема электрических соединений и основные компоновочные решения               |            |
| 8    | 3 Собственные нужды   |            |
| 8    | 3.1 Общие решения по системе СН   |            |
| 9    | 4 Проверка оборудования 35 кВ на устойчивость к токам КЗ                        |            |
| 11   | 4.1 Проверка оборудования 35 кВ ВЭУ   |            |
| 11   | 5 Молниезащита и заземление   |            |
| 11   | 5.1 Молниезащита  |            |
| 12   | 5.2 Перечень мероприятий по заземлению (занулению)                              |            |
| 25   | Схема электрическая главная. Гражданская ВЭС                                    |            |
| 26   | Блок-схема питания дополнительного оборудования ВЭУ                             |            |
| 27   | План расположения оборудования 35 кВ ВЭУ  |            |
| 28   | План заземления ВУ  |            |
| 29   | Спецификация оборудования, изделий и материалов                                 |            |
| 30   | Приложение А – Молниезащита и электромагнитная совместимость                    |            |
| 59   | Приложение Б – Система заземления Vestas – заземление между ветровыми турбинами |            |
| 71   | Приложение В – Система заземления Vestas  |            |

|              |              |           |   |   |          |   |          |   |      |        |
|--------------|--------------|-----------|---|---|----------|---|----------|---|------|--------|
| Взам. инв. № | Подп. и дата | 29        | Спецификация оборудования, изделий и материалов                                 |   |          |   |          |   |      |        |
|              |              | 30        | Приложение А – Молниезащита и электромагнитная совместимость                    |   |          |   |          |   |      |        |
|              |              | 59        | Приложение Б – Система заземления Vestas – заземление между ветровыми турбинами |   |          |   |          |   |      |        |
|              |              | 71        | Приложение В – Система заземления Vestas  |   |          |   |          |   |      |        |
| Инв. № подл. |              |           |   |   |          |   |          | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1-С  |      |        |
|              |              |           |   |   |          |   |          |   |      |        |
|              |              | Изм.      | Кол.уч.   | Лист  | № док    | Подп.   | Дата     | «Гражданская ВЭС. Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги». Этап 3. «Гражданская ВЭС»: ВЭУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVIE0647) максимальной мощностью 50,05 МВт<br>Электротехнические решения.<br>Содержание тома |      |        |
|              |              | ГИП       |   | Бондарчук   |          |  | 19.02.21 |   |      |        |
|              |              | Н.контр.  |   | Пирогова  |          |  | 19.02.21 |   |      |        |
|              |              | Нач. отд. |   |   |          |   |          |   |      |        |
| Пров.        |              | Вершинин  |   |  | 19.02.21 |   |          |   |      |        |
| Разраб.      |              | Егоров    |   |  | 19.02.21 |   |          |   |      |        |
|              |              |           |   |   |          |   |          | Стадия  | Лист | Листов |
|              |              |           |   |   |          |   |          | П   | 1    | 23     |
|              |              |           |   |   |          |   |          |    |      |        |

## Справка главного инженера проекта

В настоящем проекте все технические решения по сооружениям, конструкциям, оборудованию и технологической части приняты и разработаны в полном соответствии с проектом планировки территории, проектом межевания территории, заданием на проектирование, техническими регламентами, в том числе устанавливающими требования по обеспечению безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасного использования прилегающих к ним территорий, с соблюдением технических условий и с действующими на дату выпуска проекта нормами и правилами, включая правила пожарной безопасности.

При соблюдении правил технической эксплуатации, а также требований техники безопасности и пожарной безопасности, эксплуатация сооружений по данному проекту безопасна.

Главный инженер проекта

Бондарчук А.Н.

|              |  |
|--------------|--|
| Взам инв. №  |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл. |  |

|           |         |           |       |       |          |   |        |      |        |
|-----------|---------|-----------|-------|-------|----------|---|--------|------|--------|
|           |         |           |       |       |          | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1-СГИ  |        |      |        |
| Изм.      | Кол.уч. | Лист      | № док | Подп. | Дата     |   | Стадия | Лист | Листов |
| ГИП       |         | Бондарчук |       |       | 19.02.21 | «Гражданская ВЭС. Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги». Этап 3. «Гражданская ВЭС»: ВЗУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVIE0647) максимальной мощностью 50,05 МВт<br>Электротехнические решения.<br>Справка главного инженера | П      | 1    | 1      |
| Н.контр.  |         | Пирогова  |       |       | 19.02.21 |   |        |      |        |
| Нач. отд. |         |           |       |       |          |   |        |      |        |
| Пров.     |         | Вершинин  |       |       | 19.02.21 |   |        |      |        |
| Разраб.   |         | Егоров    |       |       | 19.02.21 |   |        |      |        |

## 1 Общая часть

### 1.1 Основания для разработки проектной документации

Проектная документация «Гражданская ВЭС». «Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги». Этап 3. «Гражданская ВЭС»: ВЭУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVIE0647) максимальной мощностью 50,05 МВт. выполнена на основании следующих документов:

- Договор подряда на выполнение проектно-изыскательских работ №244/2020-ВФРВ от 22.12.2020г.

- Техническое задание на выполнение проектно-изыскательских работ по Объекту «Гражданская ВЭС» располагаемого на территории Красноармейского муниципального района Самарской области.

- Задание на проектирование на разработку проекта «Гражданская ВЭС». «Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги».

### 1.2 Краткое содержание и общие сведения о Гражданская ВЭС

В настоящей части проектной документации рассмотрены электротехнические решения III этапа строительства «Гражданская ВЭС» максимальной мощностью 50,05 МВт, располагается на территории Красноармейского муниципального района Самарской области в составе:

- 11 ветроэнергетических установок (ВЭУ) мощностью 4,55 МВт каждая;
- кабельные линии 35 кВ;
- волоконно-оптические линии связи.

Административно участок проектируемой ВЭС расположен на территории Красноармейского муниципального района Самарской области.

Решения по КЛ 35 кВ приведены в томе ВЭС000107.356.1.1.3-ТКР «Кабельные сети».

ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1

|              |  |           |      |        |          |  |
|--------------|--|-----------|------|--------|----------|--|
| Взам. инв. № | Административно участок проектируемой ВЭС расположен на территории Красноармейского муниципального района Самарской области. |           |      |        |          |  |
|              | Решения по КЛ 35 кВ приведены в томе ВЭС000107.356.1.1.3-ТКР «Кабельные сети».   |           |      |        |          |  |
| Подп. и дата | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1   |           |      |        |          |  |
|              | Изм.   | Кол.уч.   | Лист | № док  | Подп.    | Дата   |
| Инв. № подл. | ГИП  | Бондарчук |      |        | 19.02.21 | «Гражданская ВЭС. Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги». Этап 3. «Гражданская ВЭС»: ВЭУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVIE0647) максимальной мощностью 50,05 МВт<br><br>Электротехнические решения. |
|              | Н.контр.   | Пирогова  |      |        | 19.02.21 |  |
|              | Нач. отд.  |           |      |        |          |  |
|              | Пров.  | Вершинин  |      |        | 19.02.21 |  |
|              | Разраб.  | Егоров    |      |        | 19.02.21 |  |
|              |  |           |      |        |          |  |
| Стадия       |  | Лист      |      | Листов |          |  |
| П            |  | 1         |      | 19     |          |  |
|              |  |           |      |        |          |  |



В комплект поставки ВЭУ типа V126-4,55 MW производства Vestas с выходной мощностью 4,55 МВт входит следующее основное электротехническое оборудование:

- асинхронный генератор мощностью 4,8 МВт ( $\cos\phi = 0,88$ );
- выпрямитель мощностью 5,1 МВА;
- инвертор мощностью 5,1 МВА;
- силовой трансформатор 35/0,72 кВ мощностью 5,15 МВА;
- комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией (КРУЭ) 35 кВ;
- оборудование собственных нужд ВЭУ.

В модуле управления ВЭС устанавливаются ячейки 35 кВ для подключения ВЭУ.

Выдача мощности ветровой электрической станции Гражданская ВЭС в сеть будет осуществляться по одной кабельной линии 35 кВ через РУ 35 кВ РУ 220 кВ Гражданской ВЭС (не проектируется по данному титулу). Для присоединения Гражданская ВЭС в РУ 35 кВ выделяется одна линейная ячейка мощностью 100100 кВт.

Схема электрическая принципиальная с выделением этапов строительства «Гражданская ВЭС» представлена на чертеже ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1.01 данного тома.

|              |              |              |      |         |      |        |       |      |                            |      |
|--------------|--------------|--------------|------|---------|------|--------|-------|------|----------------------------|------|
| Изм. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № |      |         |      |        |       |      | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1 | Лист |
|              |              |              |      |         |      |        |       |      |                            | 2    |
|              |              |              | Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |                            |      |

### 3 Собственные нужды

#### 3.1 Общие решения по системе СН

Питание потребителей собственных нужд каждой ВЭУ осуществляется от отдельного трансформатора, расположенного в гондоле. Трансформатор собственных нужд (ТСН) ВЭУ выполнен на напряжение 0,72/0,4 кВ и подключен отпайкой между генераторными выключателями и повышающим трансформатором 35/0,72 кВ.

В составе ВЭУ также предусмотрены распределительные устройства собственных нужд (РУСН ВЭУ), поставляемые комплектно с ВЭУ заводом-изготовителем.

Также с данных РУСН ВЭУ предполагается электроснабжение дополнительного вспомогательного оборудования, не входящего в комплектную поставку ВЭУ. Схема организации энергоснабжения дополнительного оборудования ВЭУ приведена на чертеже ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1.02.

Вспомогательное оборудование, предполагаемое для установки внутри башни ВЭУ:

- Блок отпугивателя птиц по типу BroadBand PRO;
- Шкаф систем связи;
- Шкаф охранной сигнализации;
- Оборудование АИИС КУЭ и СОТИАССО.

Суммарная нагрузка дополнительного оборудования, устанавливаемого в ВЭУ, составит - 1,6 кВт на напряжении 220 В.

Перечень оборудования, дополнительно устанавливаемого в ВЭУ, будет уточнен после согласования с производителем ВЭУ возможности установки оборудования.

|             |              |              |        |       |      |                            |  |  |      |   |
|-------------|--------------|--------------|--------|-------|------|----------------------------|--|--|------|---|
| Ид. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № |        |       |      |                            |  |  | Лист |   |
|             |              |              |        |       |      |                            |  |  |      |   |
|             |              |              |        |       |      |                            |  |  |      |   |
| Изм.        | Кол.уч.      | Лист         | № док. | Подп. | Дата | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1 |  |  |      | 3 |



## 4 Проверка оборудования 35 кВ на устойчивость к токам КЗ

Проверка основного электротехнического оборудования ВЭУ выполняется исходя из следующих условий:

- максимального длительного тока в нормальных, послеаварийных и ремонтных режимах, с учетом перегрузочной способности оборудования;
- напряжения присоединений;
- отключающей способности оборудования;
- термической и электродинамической стойкости к токам короткого замыкания.

Параметры токов КЗ на шинах 35 кВ на 2026 г. представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры токов КЗ на шинах 35 кВ на 2026 г.

| Наименование ПС     | Шины  | Токи короткого замыкания, кА |         | $k_{уд}$ | $t_{откл.}, c$ | $T_a, c$ | $B_K, кА^2 \cdot c$ |
|---------------------|-------|------------------------------|---------|----------|----------------|----------|---------------------|
|                     |       | 3-ф. КЗ                      | ударный |          |                |          |                     |
| ВЭУ №1, шины 35 кВ  | 35 кВ | 10,83                        | 16,0    | 1,102    | 0,4            | 0,0044   | 47,4                |
| ВЭУ №2, шины 35 кВ  | 35 кВ | 11,47                        | 17,4    | 1,146    | 0,4            | 0,0052   | 53,3                |
| ВЭУ №3, шины 35 кВ  | 35 кВ | 12,90                        | 21,8    | 1,321    | 0,4            | 0,0088   | 68,0                |
| ВЭУ №4, шины 35 кВ  | 35 кВ | 13,63                        | 24,8    | 1,451    | 0,4            | 0,0126   | 76,7                |
| ВЭУ №5, шины 35 кВ  | 35 кВ | 14,26                        | 27,5    | 1,557    | 0,4            | 0,0171   | 84,8                |
| ВЭУ №6, шины 35 кВ  | 35 кВ | 14,76                        | 29,6    | 1,628    | 0,4            | 0,0215   | 91,8                |
| ВЭУ №7, шины 35 кВ  | 35 кВ | 15,17                        | 31,4    | 1,681    | 0,4            | 0,0260   | 98,0                |
| ВЭУ №8, шины 35 кВ  | 35 кВ | 15,79                        | 33,6    | 1,731    | 0,4            | 0,0320   | 107,7               |
| ВЭУ №9, шины 35 кВ  | 35 кВ | 14,05                        | 23,3    | 1,270    | 0,4            | 0,0076   | 80,5                |
| ВЭУ №10, шины 35 кВ | 35 кВ | 14,91                        | 26,5    | 1,389    | 0,4            | 0,0106   | 91,3                |
| ВЭУ №11, шины 35 кВ | 35 кВ | 15,67                        | 30,6    | 1,552    | 0,4            | 0,0168   | 102,4               |

Ударный ток КЗ на стороне 35 кВ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_K^{(3)}.$$

где  $k_{уд}$  - ударный коэффициент.

$$k_{уд} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}},$$

где  $T_a$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с.

$$T_a = \frac{X_{эк}}{\omega \cdot R_{эк}};$$

|              |  |
|--------------|--|
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл. |  |

|      |         |      |        |       |      |                            |      |
|------|---------|------|--------|-------|------|----------------------------|------|
|      |         |      |        |       |      | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1 | Лист |
|      |         |      |        |       |      |                            | 4    |
| Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |                            |      |

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f,$$

где  $f$  - частота сети;

Тепловой импульс от тока КЗ на стороне 35 кВ:

$$B_K = I_T^2 \cdot (t_{\text{откл.}} + T_a) \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$t_{\text{откл.}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{о.в.}} \text{ с},$$

где  $t_{\text{р.з.}}$  – время действия резервной защиты;

$t_{\text{о.в.}}$  – полное время отключения выключателя.

$T_a$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с.

В соответствии с согласованным отчетом «Этап 2. Разработка схемы выдачи мощности Гражданской ВЭС (вариант 220-3 с ВЭУ 4,55 МВт) с уточнением требуемых капитальных вложений» регулирование реактивной мощности на Гражданской ВЭС не требуется, при этом в расчетах максимального рабочего тока ВЭУ учитывается полная мощность ВЭУ.

Расчет максимального рабочего тока:

- расчет максимального рабочего тока ВЭУ, А:

$$I_{\text{раб.макс.}} = \frac{\sqrt{P_{\text{ном.}}^2 + Q_{\text{ном.}}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}};$$

где -  $P_{\text{ном.}}$  - номинальная активная мощность ВЭУ, кВт;

$U_{\text{ном}}$  - номинальное напряжение, кВ;

$$I_{\text{раб.макс.}} = \frac{\sqrt{4,55^2 + 0,964^2}}{\sqrt{3} \cdot 35} = 76,72 \text{ А}$$

Максимальные рабочие токи присоединений представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Максимальные рабочие токи присоединений

|   |         |      |        |       |      |                                   |
|---|---------|------|--------|-------|------|-----------------------------------|
| Взам. инв. №                            |         |      |        |       |      |                                   |
|   |         |      |        |       |      |                                   |
| Подп. и дата                            |         |      |        |       |      |                                   |
|   |         |      |        |       |      |                                   |
| Инв. № подл.                            |         |      |        |       |      |                                   |
|   |         |      |        |       |      |                                   |
| Участок КЛ                              |         |      |        |       |      | $I_{\text{макс.раб.}}, \text{ А}$ |
| ВЭУ №1-ВЭУ №2                           |         |      |        |       |      | 76,72                             |
| ВЭУ №2-ВЭУ №3                           |         |      |        |       |      | 153,44                            |
| ВЭУ №3-ВЭУ №4                           |         |      |        |       |      | 230,16                            |
| ВЭУ №4-ВЭУ №5                           |         |      |        |       |      | 306,88                            |
| ВЭУ №5-ВЭУ №6                           |         |      |        |       |      | 383,60                            |
| ВЭУ №6-ВЭУ №7                           |         |      |        |       |      | 460,32                            |
| ВЭУ №7-ВЭУ №8                           |         |      |        |       |      | 537,04                            |
| ВЭУ №8 - РП-35 кВ СШ МУ Гражданская ВЭС |         |      |        |       |      | 613,76                            |
|   |         |      |        |       |      | Лист                              |
|   |         |      |        |       |      | 5                                 |
| ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1              |         |      |        |       |      |                                   |
| Изм.                                    | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |                                   |

|  |        |
|--|--------|
| ВЭУ №9-ВЭУ №10                           | 76,72  |
| ВЭУ №10-ВЭУ №11                          | 153,44 |
| ВЭУ №11 - РП-35 кВ СШ МУ Гражданская ВЭС | 230,16 |

#### 4.1 Проверка оборудования 35 кВ ВЭУ

Проверка оборудования 35 кВ ВЭУ представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Проверка оборудования ячеек КРУЭ 35 кВ ВЭУ

| Наименование                                     | Расчетные данные |                      |                 |              |                   |                             | Технические данные |                 |                       |                   |                       |                                     |
|--|------------------|----------------------|-----------------|--------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|
|  | $U_{уст},$<br>кВ | $I_{макс.раб},$<br>А | $I_{п0},$<br>кА | $i_y,$<br>кА | $I_{полн},$<br>кА | $B_K,$<br>кА <sup>2</sup> с | $U_{ном},$<br>кВ   | $I_{ном},$<br>А | $I_{отк. ном},$<br>кА | $i_{пр.с},$<br>кА | $I_{отк.полн},$<br>кА | $I_T^2 \cdot t_T$ кА <sup>2</sup> с |
| Силовой выключатель<br>Ячейка Otmazabal<br>cgm.3 | 35               | 76,72                | 15,79           | 33,6         | 23,53             | 107,7                       | 40,5               | 630             | 25                    | 62,5              | 33,75*                | 625                                 |
| Выключатель нагрузки                             | 35               | 613,76               | -               | 33,6         | -                 | 107,7                       | 40,5               | 630             | -                     | 62,5              | -                     | 625                                 |

Примечания:

- Параметры ТКЗ приняты для ВЭУ №8;

\* Устанавливаемые в КРУЭ-35 кВ ВЭУ выключатели имеют возможность отключения ТКЗ с относительным содержанием апериодической составляющей в токе 35 %.

Проверка выключателей на отключающую способность с учетом содержания апериодической составляющей.

Условие проверки:

$$I_{полн} < I_{отк.полн} \text{ кА},$$

где  $I_{отк.полн}$  – ток отключения выключателя с учетом апериодической составляющей.

В соответствии с ГОСТ Р 52565-2006 п.6.6.1.2 определим апериодическую составляющую тока в момент отключения выключателя РЗ:

$$i_a = \frac{\beta \cdot I_{п0} \cdot \sqrt{2}}{100},$$

где  $\beta$  – относительное содержание апериодической составляющей в токе в процентах, определяется по рисунку 3 ГОСТ Р 52565-2006  $\beta = 35\%$  при времени отключения = 50 мс.

Для выключателя ВЭУ №8 апериодическая составляющая тока:

$$i_a = \frac{35 \cdot 15,79 \cdot \sqrt{2}}{100} = 7,74 \text{ кА}.$$

Полный ток КЗ в момент отключения выключателя РЗ составляет

$$I_{полн} = I_{п0} + i_a = 15,79 + 7,74 = 23,53 \text{ кА}.$$

$I_{отк. полн}$  выключателя 35 кВ КРУЭ ВЭУ составляет  $I_{отк. ном} + 35\%$ .

$$I_{полн} = 23,53 \text{ кА} < I_{отк.полн} = 25 \cdot 1,35 = 33,75 \text{ кА}.$$

|              |  |
|--------------|--|
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл. |  |

|      |         |      |        |       |      |                            |      |
|------|---------|------|--------|-------|------|----------------------------|------|
|      |         |      |        |       |      | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1 | Лист |
|      |         |      |        |       |      |                            | 6    |
| Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |                            |      |

Устанавливаемые в КРУЭ-35 кВ ВЭУ выключатели имеют возможность отключения ТКЗ с относительным содержанием апериодической составляющей в токе до 35 %.

Результаты проверки трансформаторов тока представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Технические характеристики

| Наименование ТТ                                    | Расчетные данные |                     |               |                 |                            | Технические параметры ТТ |                |                     |  |
|--|------------------|---------------------|---------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|----------------|---------------------|--|
|  | $U_{уст}$ , кВ   | $I_{макс.раб.}$ , А | $I_{п0}$ , кА | $t_{откл.}$ , с | $B_k$ , кА <sup>2</sup> ·с | $U_{ном.}$ , кВ          | $I_{ном.}$ , А | $I_{Т(1сек.)}$ , кА | $I_T^2 \cdot t_T$ , кА <sup>2</sup> ·с |
| Трансформатор тока 35 кВ 1000/1А, 5Р20             | 35               | 76,72               | 15,79         | 0,1             | 24,93                      | 40,5                     | 1000           | 25                  | 625                                    |
| Трансформатор тока 35 кВ 70/1А, 0,5S               | 35               | 76,72               | 15,79         | 0,1             | 24,93                      | 40,5                     | 70             | 25                  | 625                                    |
| Трансформатор тока 35 кВ 1000/1, 0,2S              | 35               | 613,76              | 15,79         | 0,4             | 99,73                      | 40,5                     | 1000           | 25                  | 625                                    |
| Примечания:<br>- Параметры ТКЗ приняты для ВЭУ №8; |                  |                     |               |                 |                            |                          |                |                     |  |

Условия проверки ТН:

- по напряжению  $U_{уст} \leq U_{ном.}$ , 35кВ  $\leq$  40,5 кВ;
- по конструкции и схеме соединения обмоток;

Параметры обмоток трансформаторов напряжения 35 кВ представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Параметры обмоток трансформатора напряжения 35 кВ

| Наименование ТН | Параметры обмоток                               | Класс точности ТН |
|-----------------|---|-------------------|
| ТН-35 ВЭУ-8     | $\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ кВ | 0,2               |

## 5 Молниезащита и заземление

### 5.1 Молниезащита

Все принятое оборудование поставляется комплектной поставкой от заводов изготовителей и соответствует ГОСТ Р 54418.24-2013 для ВЭУ.

Металлоконструкции башни ВЭУ используются в качестве естественного молниеприемника, а строительные конструкции фундаментов ВЭУ в качестве естественных заземлителей.

Конструктивные особенности ВЭУ определяют I уровень защиты от ПУМ.

|              |              |              |      |         |      |        |       |      |      |  |   |
|--------------|--------------|--------------|------|---------|------|--------|-------|------|------|--|---|
| Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл. |      |         |      |        |       |      | Лист |  |   |
|              |              |              |      |         |      |        |       |      |      |  | 7 |
|              |              |              | Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |      |  |   |

ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1

Для снижения уровня помех во вторичных цепях предусматриваются мероприятия в соответствии со стандартами СТО 56947007-29.240.043-2010 «Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов», СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства».

Вторичное оборудование, системы связи, кабели вторичной коммутации на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным воздействиям разного вида. Невыполнение условий ЭМС приводит к повреждению вторичного оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств РЗА, перекрытию изоляции кабелей вторичной коммутации и клемм шкафов вторичной коммутации, сбою в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т.д., существенно снижает надежность работы энергообъекта.

Критерием выполнения условий ЭМС является обеспечение электромагнитной обстановки, при которой наибольшие возможные уровни электромагнитных воздействий всех видов на объекте электросетевого хозяйства не превышают допустимых значений для каждого конкретного вторичного оборудования.

Для присоединений РУ-35 кВ Гражданская ВЭС предусмотрены защиты на микропроцессорной элементной базе, которые по допустимым значениям импульсных помех, требуют соответствующей защиты вторичных цепей от импульсных помех.

Для снижения уровня помех во вторичных цепях предусматриваются следующие мероприятия:

- применение экранированных кабелей и кабелей с металлической броней;
- заземление экранов контрольных кабелей с обеих сторон с применением специальных зажимов или разъемов;
- установка специальной медной шины внутри шкафов с МП терминалами для заземления экранов кабелей, корпусов терминалов и других устройств.

|             |             |              |      |        |      |        |       |      |                            |      |
|-------------|-------------|--------------|------|--------|------|--------|-------|------|----------------------------|------|
| Взам инв. № | Подп и дата | Инв. № подл. |      |        |      |        |       |      | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1 | Лист |
|             |             |              |      |        |      |        |       |      |                            | 8    |
|             |             |              | Изм. | Кол.уч | Лист | № док. | Подп. | Дата |                            |      |

## 5.2 Перечень мероприятий по заземлению (занулению)

В состав ВЭУ входит КРУЭ 35 кВ. Сборные шины, токоведущие части и коммутационные аппараты каждой ячейки с элегазовой изоляцией расположены в герметичном необслуживаемом отсеке, заполненном элегазом, открытые проводящие части отсутствуют - обслуживающий ВУЭ персонал не имеет доступа к токоведущим частям и сборным шинам данных ячеек.

Входящий в состав КРУЭ измерительный трансформатор напряжения с литой изоляцией расположен в ячейке с воздушной изоляцией, присоединение данного ТН к сборным шинам выполнено кабелем с использованием герметичных кабельных адаптеров (бушингов), открытые проводящие части также отсутствуют.

В качестве защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции применены следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- уравнивание потенциалов.

Разработка дополнительных мероприятий по обеспечению безопасности работ, в рамках требований пункта 21.6 «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок», выполняется эксплуатирующей организацией до пробного пуска ВЭУ.

Каждая из ВЭУ имеет заземляющее(ЗУ), используемое одновременно для электроустановок до 1 кВ и выше 1 кВ установленных в своем составе (ПУЭ пункт 1.7.55).

Для обеспечения электробезопасности к ЗУ ВЭУ присоединены:

- нейтраль и корпус трансформатора 35/0,72 кВ (для ВЭУ);
- металлические оболочки и броня кабелей напряжением до 1 кВ и выше, в том числе предусмотрено эквипотенциальное соединение экранов кабелей, входящих в ВЭУ или выходящих из нее, к главной заземляющей шине;
- открытые проводящие части электроустановок напряжением до 1 кВ и выше;

|             |              |              |        |       |      |                            |  |  |      |  |
|-------------|--------------|--------------|--------|-------|------|----------------------------|--|--|------|--|
| Ид. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № |        |       |      |                            |  |  | Лист |  |
|             |              |              |        |       |      |                            |  |  | 9    |  |
|             |              |              |        |       |      |                            |  |  |      |  |
| Изм.        | Кол.уч.      | Лист         | № док. | Подп. | Дата | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1 |  |  |      |  |



$$I_{033} = \sqrt{(I_{\Sigma C})^2 + (I_{R_N})^2},$$

где

$I_{R_N}$  - активный ток, создаваемый резистором;

$I_{\Sigma C}$  - емкостной ток сети;

$$I_{R_N} = \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot R_N},$$

где  $R_N$  - сопротивление заземляющего резистора.

В расчетах  $I_{R_N}$ , при схеме включения резистора в нейтраль через фильтр нулевой последовательности (ФНП), допускается пренебрегать сопротивлением ФНП ( $Z_{ФНП} = R_N$ ). Сопротивление ФНП практически не оказывает влияние на модуль сопротивления нейтрали и угол между током и напряжением (не превышает 4-5°). При расчете направленных защит и малых токах замыкания на землю данную составляющую рекомендуется учитывать.

Согласно требованиям ПУЭ п.1.2.16 работа электрической сети напряжением 35кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор.

В связи со значительной протяженностью КЛ 35 кВ с кабелями с изоляцией из СПЭ и тем, что длительное сохранение режима однофазного замыкания на землю (ОЗЗ), имеющее место при работе сети с изолированной нейтралью или нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор, ведет к накоплению дефектов в изоляции кабелей с изоляцией из СПЭ и, тем самым, создает благоприятные условия для возникновения пробоев изоляции кабелей, рекомендуется режим заземления нейтрали через низкоомный резистор с немедленным отключением поврежденного присоединения. Параметры КЛ 35кВ ВЭС представлены в таблице 5.1. Емкостной ток короткого замыкания на землю принят на основании технических характеристик кабеля ООО "Камский кабель".

Таблица 5.1 – Параметры КЛ 35 кВ ВЭС

| № п/п              | Участок КЛ 35 кВ | Марка кабеля<br>АПвПуг-35,<br>сечение | Удельный емкостной ток короткого замыкания на землю, А/км | Длина КЛ, км | Емкостной ток короткого замыкания на землю, А |
|--------------------|------------------|---------------------------------------|---|--------------|---|
| 1. Гражданская ВЭС |                  |                                       |   |              |   |

|      |         |      |        |       |      |                            |  |      |
|------|---------|------|--------|-------|------|----------------------------|--|------|
| Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1 |  | Лист |
|      |         |      |        |       |      |                            |  | 11   |

|              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| Изм. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № |
|              |              |              |



| № п/п  | Участок КЛ 35 кВ  | Марка кабеля<br>АПвПуг-35,<br>сечение | Удельный емкост-<br>ной ток короткого<br>замыкания на зем-<br>лю, А/км | Длина<br>КЛ, км | Емкостной ток<br>короткого<br>замыкания на<br>землю, А |
|--------|---|---------------------------------------|--|-----------------|--|
| 1.1    | ВЭУ №1-ВЭУ №2   | 3×(1×95мк/16)                         | 3,428  | 1               | 3,43   |
| 1.2    | ВЭУ №2-ВЭУ №3   | 3×(1×95мк/16)                         | 3,428  | 1,91            | 6,55   |
| 1.3    | ВЭУ №3-ВЭУ №4   | 3×(1×150мк/25)                        | 3,809  | 1,16            | 4,42   |
| 1.4    | ВЭУ №4-ВЭУ №5   | 3×(1×240мк/25)                        | 4,571  | 1,14            | 5,21   |
| 1.5    | ВЭУ №5-ВЭУ №6   | 3×(1×400мк/35)                        | 5,523  | 1               | 5,52   |
| 1.6    | ВЭУ №6-ВЭУ №7   | 3×(1×500мк/35)                        | 6,094  | 0,81            | 4,94   |
| 1.7    | ВЭУ №7-ВЭУ №8   | 3×(1×500мк/35)                        | 6,094  | 1,16            | 7,07   |
| 1.8    | ВЭУ №8-РУ-35 кВ СШ МУ<br>Гражданская ВЭС                                    | 3×(1×630мк/35)                        | 6,666  | 1,1             | 7,33   |
| 1.9    | ВЭУ №9-ВЭУ №10  | 3×(1×120мк/16)                        | 3,619  | 0,88            | 3,18   |
| 1.10   | ВЭУ №10-ВЭУ №11   | 3×(1×120мк/16)                        | 3,619  | 0,76            | 2,75   |
| 1.11   | ВЭУ №11-РУ-35 кВ СШ МУ<br>Гражданская ВЭС                                   | 3×(1×150мк/25)                        | 3,809  | 0,84            | 3,20   |
| 1.12   | ВЭУ №2-ВЭУ №3   | 3×(1×95мк/16)                         | 3,428  | 1,21            | 4,15   |
| 1.13   | ВЭУ №3-ВЭУ №4   | 3×(1×95мк/16)                         | 3,428  | 0,97            | 3,33   |
| 1.14   | ВЭУ №4-ВЭУ №5   | 3×(1×150мк/25)                        | 3,809  | 1,01            | 3,85   |
| 1.15   | ВЭУ №5-ВЭУ №6   | 3×(1×240мк/25)                        | 4,571  | 1,24            | 5,67   |
| 1.16   | ВЭУ №16-РУ-35 кВ СШ МУ<br>Гражданская ВЭС                                   | 3×(1×400мк/35)                        | 5,523  | 1,16            | 6,41   |
| 1.17   | ВЭУ №17-ВЭУ №18   | 3×(1×95мк/16)                         | 3,428  | 0,77            | 2,64   |
| 1.18   | ВЭУ №18-ВЭУ №19   | 3×(1×95мк/16)                         | 3,428  | 2,25            | 7,71   |
| 1.19   | ВЭУ №19-ВЭУ №20   | 3×(1×150мк/25)                        | 3,809  | 0,86            | 3,28   |
| 1.20   | ВЭУ №20-ВЭУ №21   | 3×(1×240мк/25)                        | 4,571  | 0,99            | 4,53   |
| 1.21   | ВЭУ №21-ВЭУ №22   | 3×(1×400мк/35)                        | 5,523  | 0,79            | 4,36   |
| 1.22   | ВЭУ №22-РУ-35 кВ СШ МУ<br>Гражданская ВЭС                                   | 3×(1×500мк/35)                        | 6,094  | 0,99            | 6,03   |
| 1.23   | РУ-35 кВ СШ МУ Граждан-<br>ская ВЭС – РУ 35 кВ РУ 220<br>кВ Гражданской ВЭС | 4×3×(1×500мк/35)                      | 4х6,094  | 0,16            | 3,90   |
| Итого: |   |                                       |  |                 | 109,38   |

Произведем упрощенный расчет без использования емкостных значений сборных шин 35 кВ и силовых трансформаторов, в расчете будем учитывать только кабельные линии 35 кВ.

Суммарный емкостный ток КЛ 35 кВ составляет 109,38 А. Наибольший емкостный ток присоединения составляет 53,6 А. Для обеспечения надежного срабатывания защиты от ОЗЗ должно выполняться следующее условие:

$$I_R \geq 4 \cdot I_{\text{Сфид}},$$

где  $I_R$  – ток, создаваемый резистором в месте замыкания;

4 – коэффициент, обеспечивающий надежное срабатывание защиты от ОЗЗ, определенный по выражению  $K_{\text{ч}} \times I_{\text{сз}} = K_{\text{ч}} \times K_{\text{н}} \times K_{\text{бр}} \times I_{\text{Сфид}} = 1,5 \times 1,2 \times 2,0 \times I_{\text{Сфид}} \approx 4 \cdot I_{\text{Сфид}}$ ;

|              |  |
|--------------|--|
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл. |  |

|      |         |      |        |       |      |  |  |  |  |      |
|------|---------|------|--------|-------|------|--|--|--|--|------|
|      |         |      |        |       |      |  |  |  |  | Лист |
|      |         |      |        |       |      |  |  |  |  | 12   |
| Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |  |  |  |  |      |

ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1

$I_{\text{Сфид}}$  – наибольший емкостный ток присоединения, отходящего от РП-35 кВ МУ Гражданская ВЭС.

$$I_R \geq 4 \cdot 53,6 = 214,4 \text{ А.}$$

Наибольший емкостный ток присоединения, отходящего от РУ-35 кВ РУ 220 кВ, составляет 109,38 А. Для обеспечения надежного срабатывания защиты от ОЗЗ должно выполняться следующее условие:

$$I_R \geq 2 \cdot I_{\text{Сфид}},$$

где  $I_R$  – ток, создаваемый резистором в месте замыкания;

2 – коэффициент, обеспечивающий надежное срабатывание защиты от ОЗЗ, определенный по выражению  $K_{\text{ч}} \times I_{\text{сз}} = K_{\text{ч}} \times K_{\text{н}} \times K_{\text{бр}} \times I_{\text{Сфид}} = 1,5 \times 1,2 \times 1,0 \times I_{\text{Сфид}} \approx 2 \cdot I_{\text{Сфид}}$ ;

$I_{\text{Сфид}}$  – наибольший емкостный ток присоединения, отходящего от РУ-35 кВ РУ 220 кВ.

$$I_R \geq 2 \cdot 109,38 = 218,76 \text{ А.}$$

Рекомендуется к установке резистор с номинальным током 400 А сопротивлением 50 Ом.

$$I_{R_N} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 50} = 404,14 \text{ А.}$$

Рекомендуется в проекте строительства РУ 220 кВ Гражданской ВЭС (не рассматривается по данному титулу) уточнить суммарный емкостный ток с учетом всех отходящих ЛЭП от РУ-35 кВ РУ 220 кВ, уточнить номера секций шин и выполнить выбор сопротивления заземления нейтрали с учетом приведенных рекомендаций и с учетом обеспечения надежного срабатывания защиты от ОЗЗ на отходящих ЛЭП от РУ-35 кВ РУ 220 кВ.

Подключать резистор рекомендуется к 1СШ 35 кВ ПС 220 кВ Гражданская.

$$I_{\Sigma\text{С}} = 109,38 \text{ А,}$$

$$I_{R_N} = 404,14 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ОЗЗ}} = \sqrt{109,38^2 + 404,14^2} = 419,1 \text{ А.}$$

$I_{\Sigma\text{С}}$  – суммарный емкостной ток ВЭС.

Таблица 5.2 – Суммарные ёмкостные токи КЛ 35 кВ ВЭС

|             |              |              |      |         |      |        |       |      |      |
|-------------|--------------|--------------|------|---------|------|--------|-------|------|------|
| Ид. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № |      |         |      |        |       |      | Лист |
|             |              |              |      |         |      |        |       |      | 13   |
|             |              |              | Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |      |

| Наименование ВЭС | Суммарный ёмкостной ток короткого замыкания на землю, А |
|------------------|---|
| Гражданская ВЭС  | 109,38  |
| Покровская ВЭС   | 149,52  |
| Гражданская ВЭС  | 82,94   |

Для определения параметров допустимого сопротивления (ЗУ МУ) в любое время года при прохождении расчетного тока замыкания на землю с учетом всех естественных и искусственных заземлителей получим следующее неравенство:

$$R_{зу} \leq \frac{U_{\text{пов.на зу}}}{I_{033}},$$

Для определения допустимого значения напряжения повреждения воспользуемся с кривой приведенной на рисунке 44.А2 ГОСТ Р 50571-4-44-2019 (МЭК 60364-4-44:2007) при заданном времени полного отключения ОЗЗ ( $t_{033} = 0,36$  с) находим значение  $U_{\text{пов.на зу}} = 375$  В, тогда:

$$R_{зу} \leq \frac{375}{419,1} = 0,895 \text{ Ом.}$$

Согласно п. 1.7.114 ПУЭ. сечение шин магистрали заземления должно быть выбрано таким, чтобы при протекании по ним наибольшего тока однофазного КЗ в электроустановках с эффективно заземленной нейтралью или двухфазного КЗ в электроустановках с изолированной нейтралью, температура шин не превысила предельно допустимую температуру нагрева.

В таблице 5.3 приведены результаты расчета интеграла Джоуля для сетей Гражданская ВЭС, для однофазных или двухфазных коротких замыканий, в зависимости от режима заземления нейтрали сети.

Таблица 5.3 – Расчет интеграла Джоуля для выбора сечения шин магистрали заземления ВЭУ

|   | ВЭУ        |            |
|---|------------|------------|
| Номинальное напряжение сети, кВ   | 35         | 0,72       |
| Вид КЗ, выбранный для расчетов сечения шины заземления (в соответствии с п.1.7.114 ПУЭ) | Двухфазное | Однофазное |
| Длительность КЗ   | 0,4393     | 0,1        |
| Интеграл Джоуля (Вк),   | 82,35      | 172,8      |

|              |  |
|--------------|--|
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл. |  |

|      |         |      |        |       |      |
|------|---------|------|--------|-------|------|
|      |         |      |        |       |      |
| Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |

ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1

Лист

14

кА<sup>2</sup>с

Согласно РД 153-34.0-20.527-98, минимально допустимое сечение проводников по условию термической стойкости определяется по формуле:

$$S_{\text{терм}} = \sqrt{\frac{B_{\text{к}}}{A_{\theta_{\text{к}}} - A_{\theta_{\text{н}}}}},$$

где  $A_{\theta_{\text{к}}}$ ,  $A_{\theta_{\text{н}}}$  - функция удельной теплоемкости материала проводника, его удельного сопротивления и температуры нагрева, определяемая по рис. 8.8-8.9 РД 153-34.0-20.527-98. исходя из материала шин, максимально допустимой и начальной температур нагрева соответственно. Для удобства расчета обозначим  $C_{\text{т}} = \sqrt{A_{\theta_{\text{к}}} - A_{\theta_{\text{н}}}}$ . Примем начальную температуру проводников 50 °С (максимально возможная температура в помещении). Для стали, при максимально допустимой температуре 400°С,  $C_{\text{т}}=70 \text{ Ас}^{1/2}/\text{мм}^2$ . Результаты расчета минимально допустимого сечения шин магистрали заземления приведены в таблице 5.4. Кривые для определения температуры нагрева проводников отражены на рисунке 5.1.

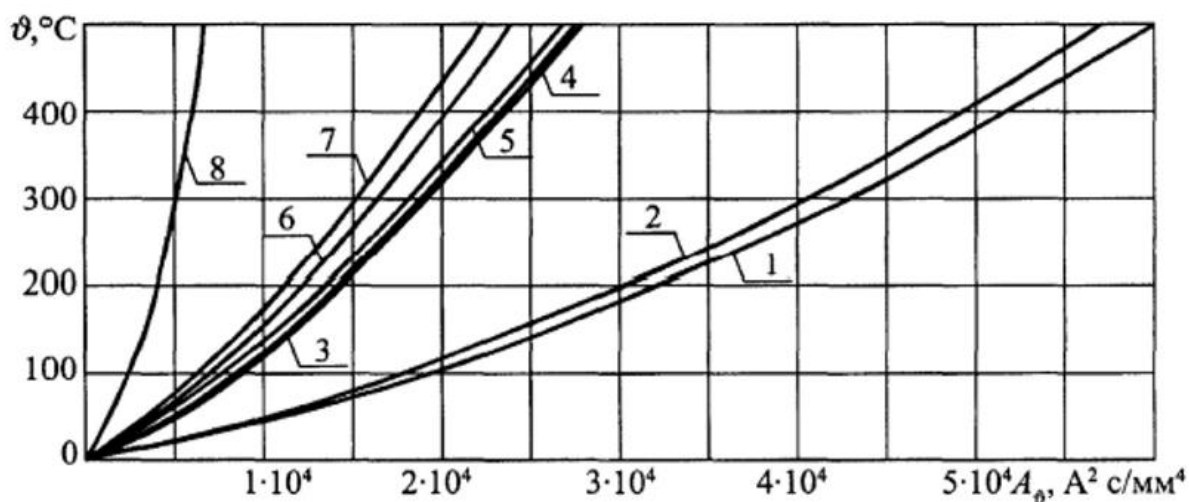


Рисунок 5.1 – Кривые для определения температуры нагрева проводников из различных материалов при коротких замыканиях.

Материалы проводников: 1- ММ; 2-МТ; 3-АМ; 4-АТ; 5-АДО, АСГ:  
6-АДЗ1Т1; 7-АДЗ1Т; 8-СтЗ

Таблица 5.4 – Расчет минимально допустимого сечения шин заземления ВЭУ

Номинальное напряжение сети, кВ / точка КЗ

0,72/шины НН

ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1

Лист

15

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм. Кол.уч. Лист № док. Подп. Дата





$$a_{\text{пол.}} = 0,25 \times 0,05 = 0,0125 \text{ м,}$$

Для горизонтального электрода, заглубленного на 1 м учитывая строение грунта (таблица 5.4) можно принять удельное сопротивление в 260 Ом·м, тогда:

$$R_1 = \frac{260}{\pi^2 \cdot 20} \cdot \ln \frac{4 \cdot 20}{\sqrt{2 \cdot 0,0125 \cdot 1}} = 3,5618 \text{ Ом.}$$

Расчет  $n$  заземляющих стержней равной длины, установленных по кругу диаметром  $D$ , с интервалом между соседними стержнями равным или превышающим длину стержня:

$$R_2 = \frac{\rho}{2 \cdot n \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln \frac{4 \cdot L}{a_{\text{кр.}}} - 1 + \frac{L}{D} \cdot \sum_{m=1}^{n-1} \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi \cdot m}{n}\right)} \right),$$

где  $L$  - длина одного вертикального электрода (м);

$$a_{\text{кр.}} = \frac{0,018}{2} = 0,009 \text{ м;}$$

Для вертикального электрода, заглубленного на 1 м учитывая параметры грунта (таблица 5.2) необходимо привести эквивалентное значение удельного сопротивления двух верхних слоев, тогда:

$$\rho = \rho_{\text{эк.в}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \kappa_{\text{к}} \cdot L}{\rho_1 \cdot (d + \kappa_{\text{к}} \cdot L - h) + \rho_2 \cdot (h - d)},$$

где  $\kappa_{\text{к}} = 1$ , при  $\rho_1 > \rho_2$ ;

$\kappa_{\text{к}} = 1,2$ , при  $\rho_1 < \rho_2$ ;

$h$  – глубина первого слоя грунта (м);

$$\rho = \frac{260 \cdot 38 \cdot 1 \cdot 5}{260 \cdot (1 + 1 \cdot 5 - 2,6) + 38 \cdot (2,6 - 1)} = 52,29 \text{ Ом.}$$

$$R_2 = \frac{52,29}{2 \cdot 12 \cdot \pi \cdot 5} \cdot \left( \ln \frac{4 \cdot 5}{0,009} - 1 + \frac{5}{20} \cdot \sum_{m=1}^{12-1} \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi \cdot m}{12}\right)} \right) = 3,05.$$

Расчет взаимного сопротивления заземления между кольцевым электродом и  $n$  числом заземляющих стержней, установленных по кругу диаметром  $D$ :

$$R_3 = \frac{\rho}{\pi^2 \cdot D} \cdot \ln \frac{4 \cdot D}{\sqrt{2 \cdot \frac{L}{e} \cdot d}}.$$

|              |  |
|--------------|--|
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл. |  |

|      |         |      |        |       |      |
|------|---------|------|--------|-------|------|
|      |         |      |        |       |      |
| Изм. | Кол.уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата |





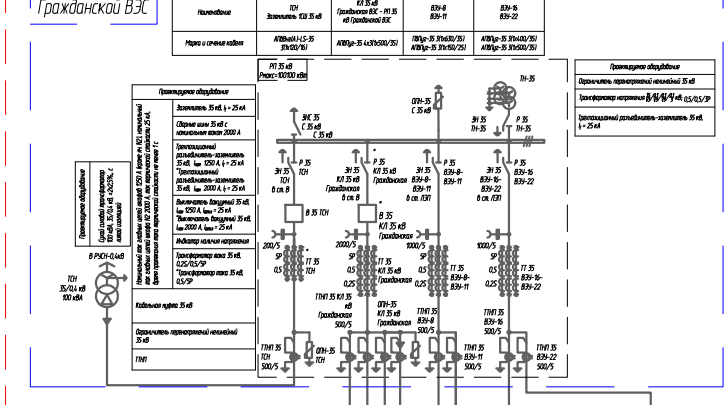
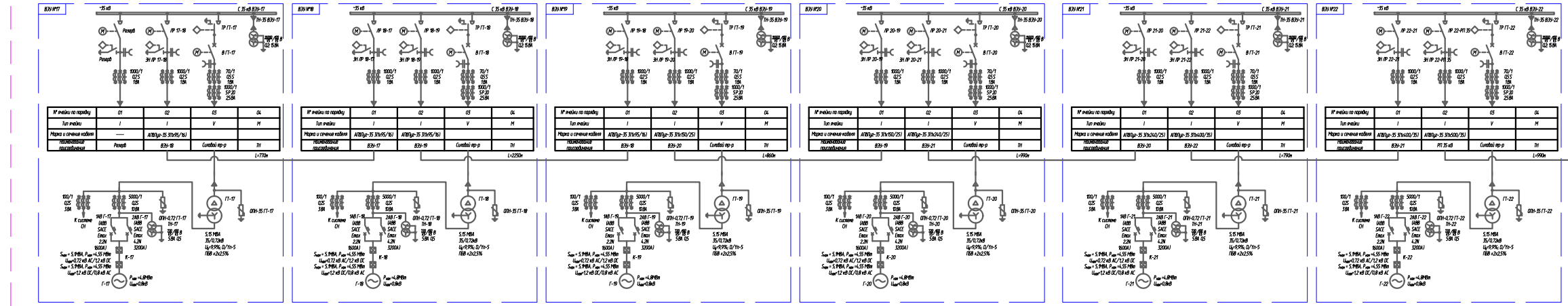
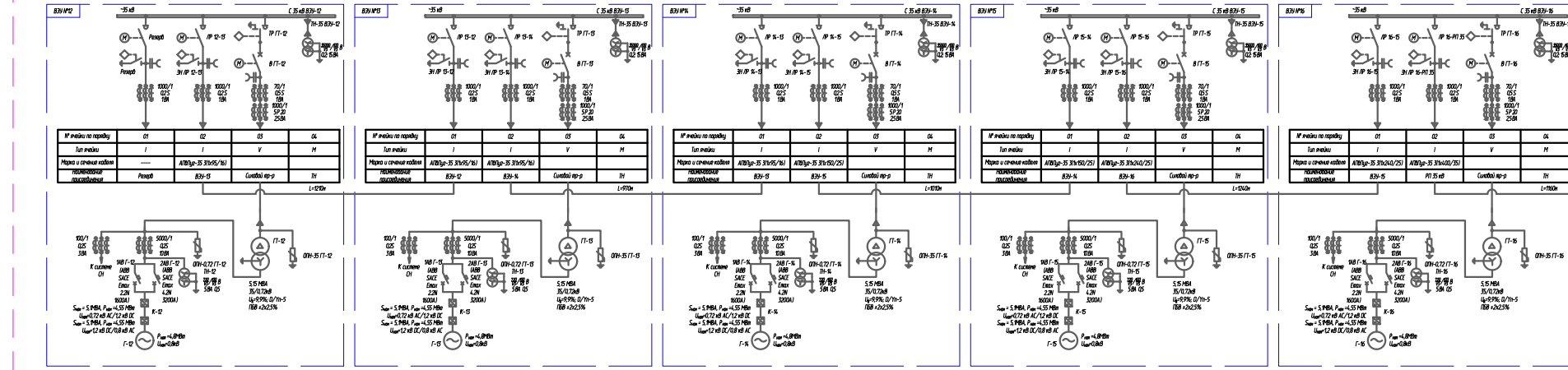
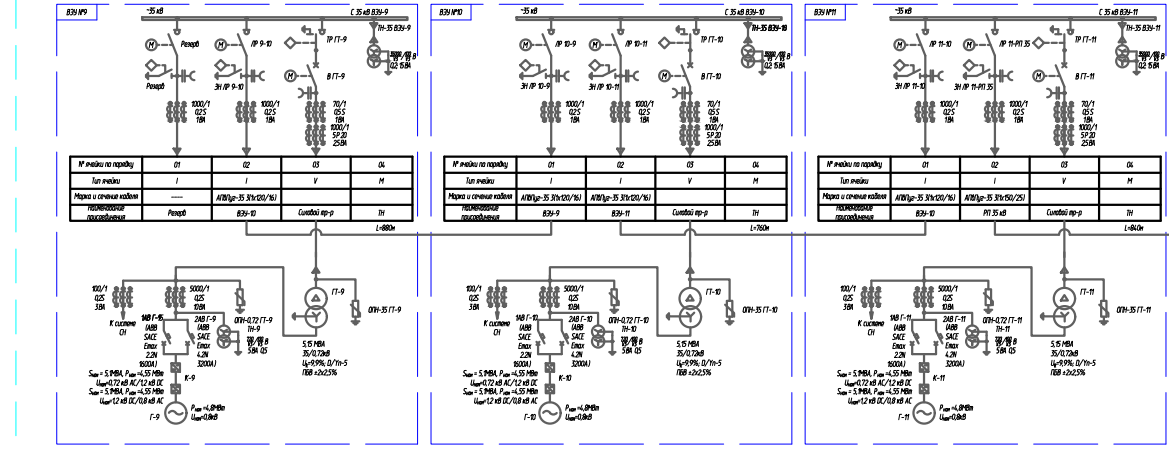
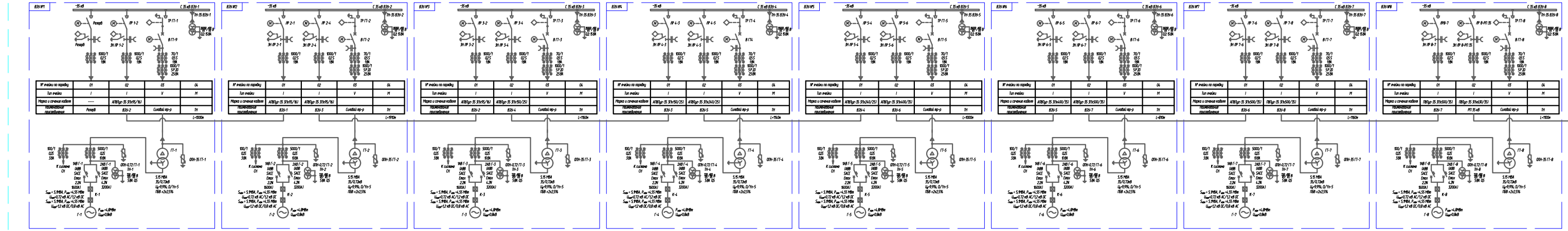
вания не более чем на 95% то их суммарное сопротивление можно рассчитать по следующей формуле:

$$R_{\text{сумм.}} = \frac{R_{\text{общ}} \cdot R_{\text{общ,д}}}{R_{\text{общ.}} + R_{\text{общ,д}}} = \frac{\left(\frac{1,856}{0,95}\right) \cdot 0,696}{\left(\frac{1,856}{0,95}\right) + 0,696} = 0,513.$$

$$R_{\text{ЗУ.сумм.расч.}} = R_{\text{сумм.}} \cdot \kappa_{\text{с}} = 0,513 \cdot 1,28 = 0,657 \text{ Ом.}$$

ЗУ удовлетворяет требованиям по электробезопасности.

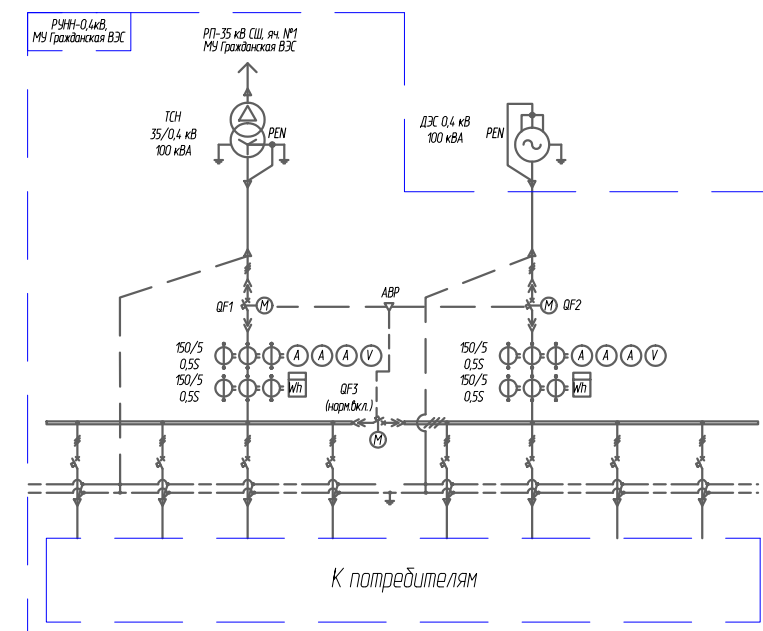
|              |             |             |      |        |      |        |       |      |                            |  |
|--------------|-------------|-------------|------|--------|------|--------|-------|------|----------------------------|--|
| Инв. № подл. | Подп и дата | Взам инв. № |      |        |      |        |       |      | Лист                       |  |
|              |             |             |      |        |      |        |       |      | 20                         |  |
|              |             |             | Изм. | Кол.уч | Лист | № док. | Подп. | Дата | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1 |  |



Р4 35 кВ Гражданской ВЭС

Р4 220 кВ Гражданской ВЭС

Схема организации РУНН-0,4 кВ  
МУ Гражданская ВЭС



| Значения номинальных рабочих токов |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Участок КП                         | Номинальный рабочий ток участка, А |
| ВЭЭ М1                             | 76,72                              |
| ВЭЭ М2                             | 15344                              |
| ВЭЭ М3                             | 23016                              |
| ВЭЭ М4                             | 30688                              |
| ВЭЭ М5                             | 38160                              |
| ВЭЭ М6                             | 46032                              |
| ВЭЭ М7                             | 53704                              |
| ВЭЭ М8                             | 61376                              |

|         |       |
|---------|-------|
| ВЭЭ М9  | 76,72 |
| ВЭЭ М10 | 15344 |
| ВЭЭ М11 | 23016 |

|         |       |
|---------|-------|
| ВЭЭ М12 | 76,72 |
| ВЭЭ М13 | 15344 |
| ВЭЭ М14 | 23016 |
| ВЭЭ М15 | 30688 |
| ВЭЭ М16 | 38160 |

|   |        |
|---|--------|
| ВЭЭ М17   | 76,72  |
| ВЭЭ М18   | 15344  |
| ВЭЭ М19   | 23016  |
| ВЭЭ М20   | 30688  |
| ВЭЭ М21   | 38160  |
| ВЭЭ М22   | 46032  |
| РП-35 кВ (Ш М) Гражданская - Р4-35 кВ Р4 220 кВ Гражданской ВЭС | 168784 |

| Значения токов КЗ   |                      |
|---------------------|----------------------|
| Номинальные токи КЗ | I <sub>кз</sub> , кА |
| ВЭЭ М1              | 10,83                |
| ВЭЭ М2              | 1147                 |
| ВЭЭ М3              | 1290                 |
| ВЭЭ М4              | 15,63                |
| ВЭЭ М5              | 16,26                |
| ВЭЭ М6              | 16,76                |
| ВЭЭ М7              | 15,17                |
| ВЭЭ М8              | 15,79                |

|         |       |
|---------|-------|
| ВЭЭ М9  | 16,05 |
| ВЭЭ М10 | 16,91 |
| ВЭЭ М11 | 15,67 |

|         |       |
|---------|-------|
| ВЭЭ М12 | 12,04 |
| ВЭЭ М13 | 13,07 |
| ВЭЭ М14 | 14,03 |
| ВЭЭ М15 | 16,82 |
| ВЭЭ М16 | 15,67 |

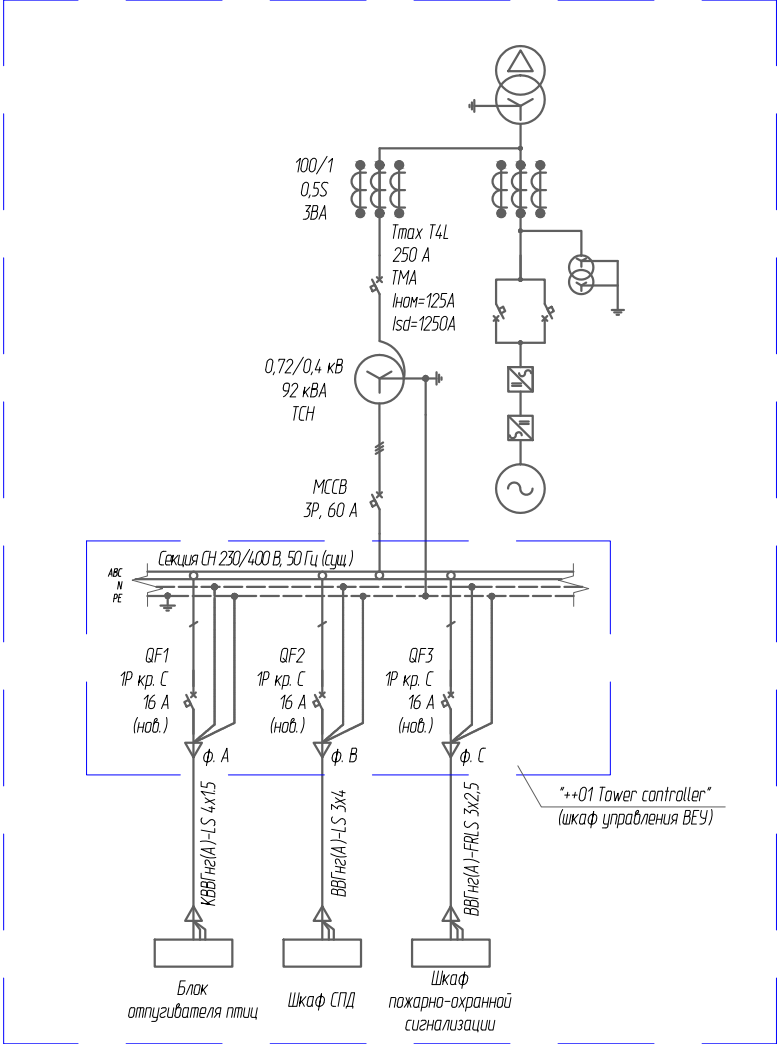
|         |       |
|---------|-------|
| ВЭЭ М17 | 11,41 |
| ВЭЭ М18 | 11,99 |
| ВЭЭ М19 | 14,02 |
| ВЭЭ М20 | 16,68 |
| ВЭЭ М21 | 15,33 |
| ВЭЭ М22 | 15,81 |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| РП-35 кВ (Ш М) Гражданская | 16,42 |
|----------------------------|-------|

- Условные обозначения:
- 2 этап строительства;
  - 3 этап строительства;
  - 4 этап строительства.

Примечание - Расчетный ток одной ВЭЭ составляет 76,72 А

|   |           |          |        |         |      |
|---|-----------|----------|--------|---------|------|
| ВЭС000107.356.113-И/03.101                    |           |          |        |         |      |
| ООО "Четырнадцатый Ветропарк" ФРВ             |           |          |        |         |      |
| Изм.  | Кол. изм. | Лист     | № док. | Подпись | Дата |
| Разработ                                      | Евгений   | 19.02.21 |        |         |      |
| Проектиров                                    | Варвара   | 19.02.21 |        |         |      |
| Инж. отд.                                     | Варвара   | 19.02.21 |        |         |      |
| Н. контр.                                     | Варвара   | 19.02.21 |        |         |      |
| Умб.  | Варвара   | 19.02.21 |        |         |      |
| Схема электрическая единая<br>Гражданская ВЭС |           |          |        |         |      |
| ООО "ЕРСМ Сидирит"                            |           |          |        |         |      |

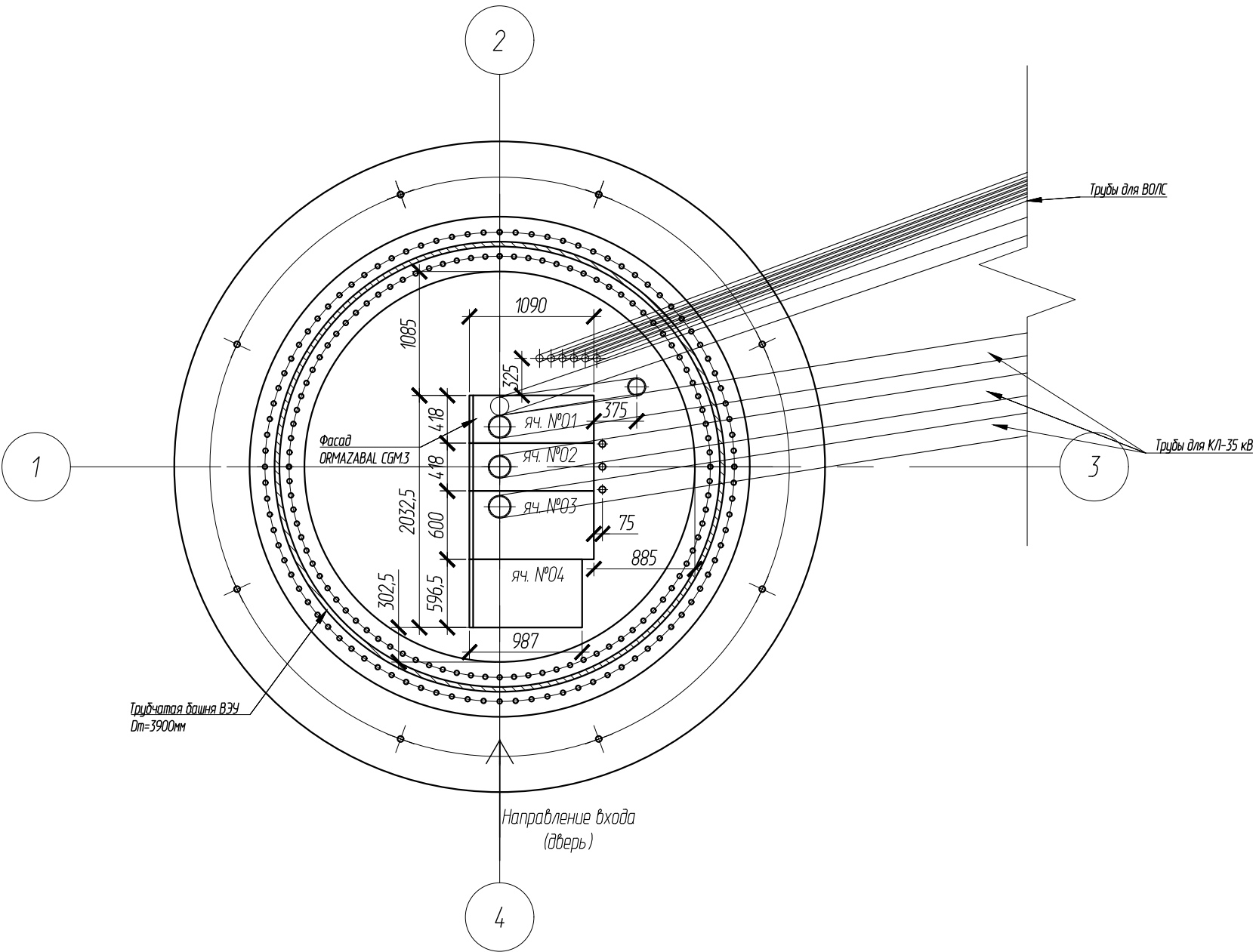


Примечания:  
1 Дополнительные коммутационные АВ учтены в теме ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛО3.2;  
2 Установка дополнительного оборудования учтена в теме ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛО4.1.

|                |  |  |  |  |  |
|----------------|--|--|--|--|--|
| Согласовано    |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
| Взам. инв. №   |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
| Подпись и дата |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
| Инв. № подл.   |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |  |

|           |          |           |        |                    |          |   |      |        |  |
|-----------|----------|-----------|--------|--------------------|----------|---|------|--------|--|
|           |          |           |        |                    |          | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛО3.1.02   |      |        |  |
|           |          |           |        |                    |          | ООО "Четырнадцать Ветропарк ФРВ"  |      |        |  |
| Изм.      | Кол. уч. | Лист      | № док. | Подпись            | Дата     |   |      |        |  |
| Разраб.   |          | Егоров    |        | <i>[Signature]</i> | 19.02.21 | "Гражданская ВЭС.<br>Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги". Этап 3. "Гражданская ВЭС".<br>ВЭУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVIE0647) мощностью 50,05 МВт. |      |        |  |
| Проверил  |          | Вершинин  |        | <i>[Signature]</i> | 19.02.21 |   |      |        |  |
| Нач. отд. |          | Вершинин  |        | <i>[Signature]</i> | 19.02.21 |   |      |        |  |
| ГИП       |          | Бондарчук |        | <i>[Signature]</i> | 19.02.21 |   |      |        |  |
| Н. контр. |          | Пирогова  |        | <i>[Signature]</i> | 19.02.21 | Блок-схема питания дополнительного оборудования ВЭУ   |      |        |  |
| Утв.      |          |           |        |                    |          |   |      |        |  |
|           |          |           |        |                    |          | ООО "ЕРСМ Сибдир"   |      |        |  |
|           |          |           |        |                    |          | Стадия  | Лист | Листов |  |
|           |          |           |        |                    |          | П   |      | 1      |  |

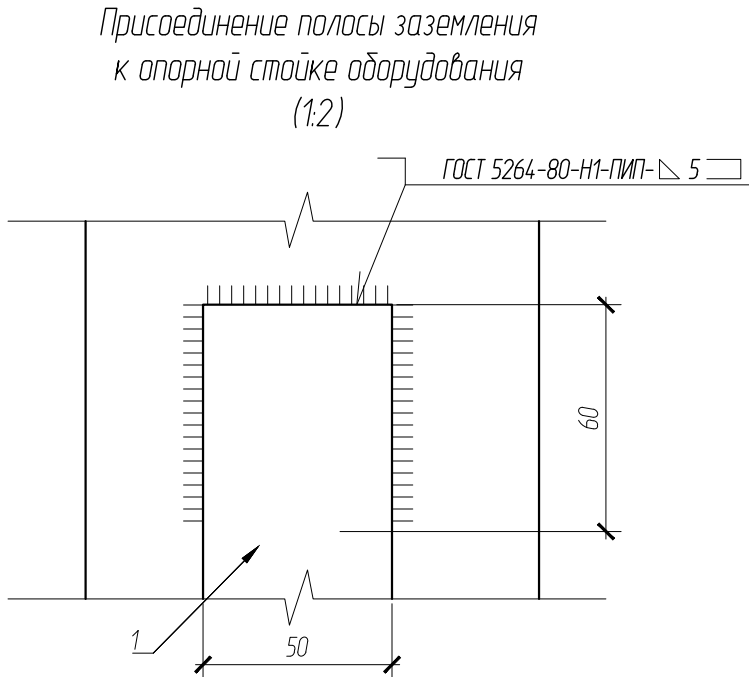
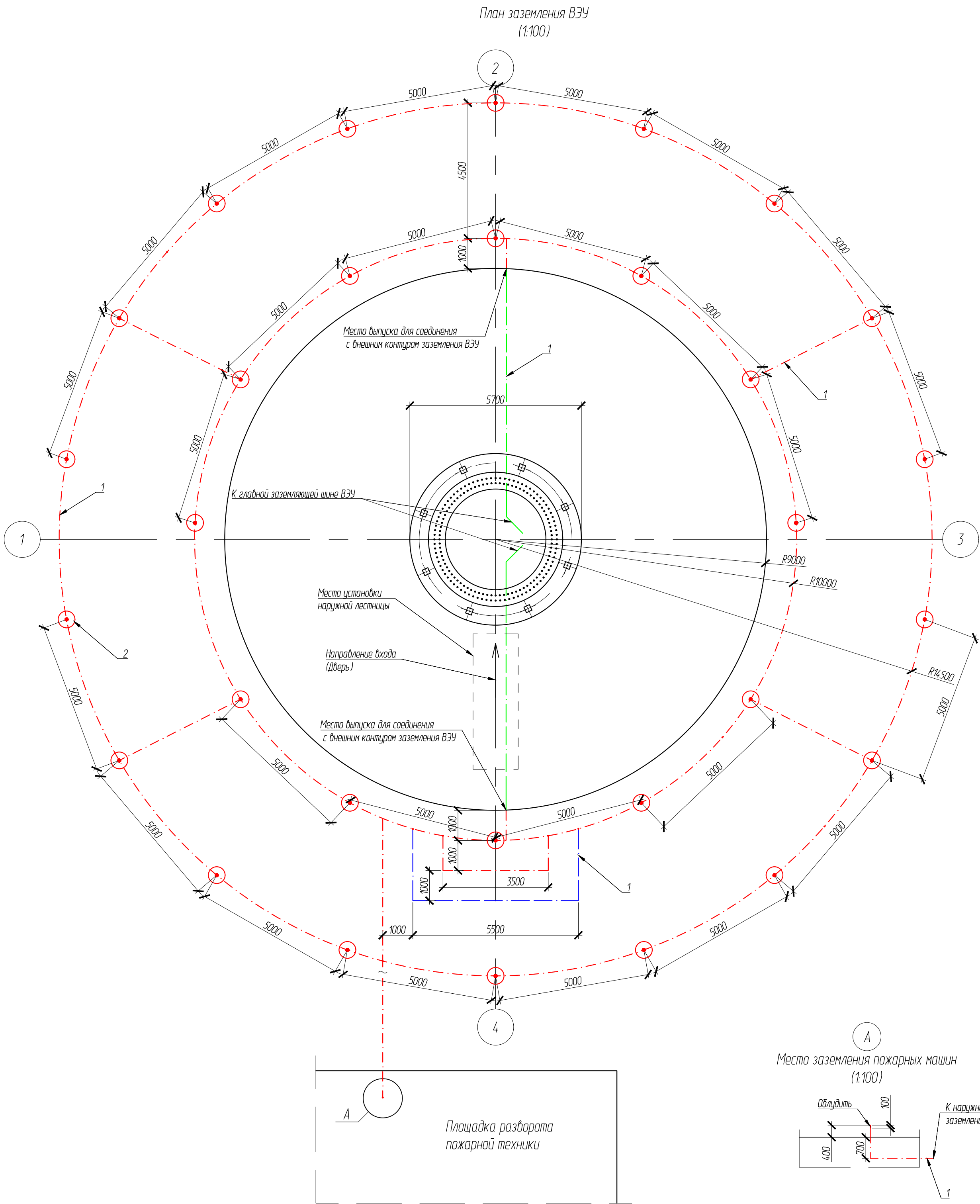
План расположения  
оборудования 35 кВ в ВЭУ  
(1:50)



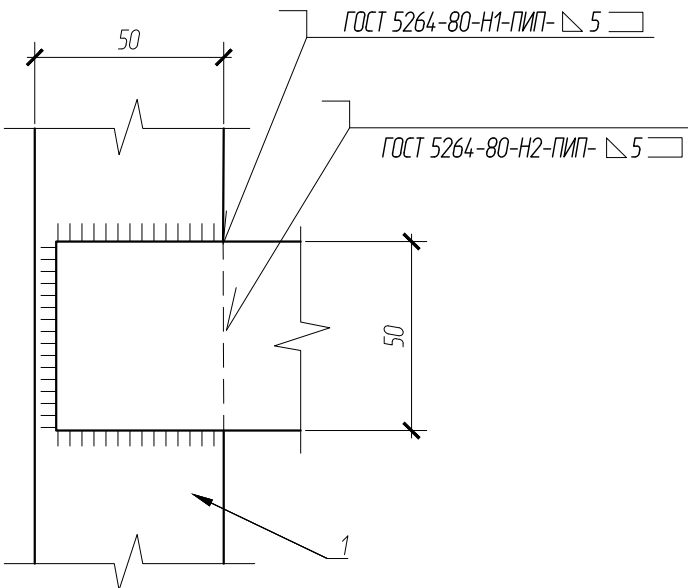
|                |  |  |  |  |
|----------------|--|--|--|--|
| Согласовано    |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |
| Взам. инв. №   |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |
| Подпись и дата |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |
| Инв. № подл.   |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |
|                |  |  |  |  |

|           |          |           |        |         |          |  |                    |      |        |
|-----------|----------|-----------|--------|---------|----------|--|--------------------|------|--------|
|           |          |           |        |         |          | ВЭС000107.356.1.13-ИЛОЗ.1.03   |                    |      |        |
|           |          |           |        |         |          | ООО "Четырнадцатый Ветропарк ФРВ"  |                    |      |        |
| Изм.      | Кол. уч. | Лист      | № док. | Подпись | Дата     |  |                    |      |        |
| Разраб.   |          | Егоров    |        |         | 19.02.21 | "Гражданская ВЭС.<br>Ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные<br>дорожки". Этап 3. "Гражданская ВЭС".<br>ВЭУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVE0647) мощностью 50,05 МВт. | Стадия             | Лист | Листов |
| Проверил  |          | Вершинин  |        |         | 19.02.21 |  | П                  | 1    | 1      |
| Нач. отд. |          | Вершинин  |        |         | 19.02.21 |  |                    |      |        |
| ГИП       |          | Бондарчук |        |         | 19.02.21 |  |                    |      |        |
| Н. контр. |          | Пирогова  |        |         | 19.02.21 | План расположения<br>оборудования 35 кВ в ВЭУ  | ООО "ЕРСМ Сибдери" |      |        |
| Утв.      |          |           |        |         |          |  |                    |      |        |

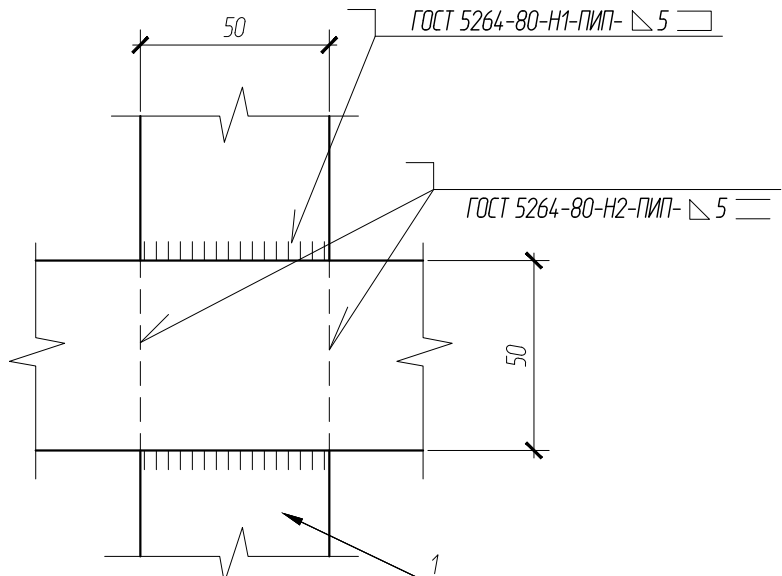




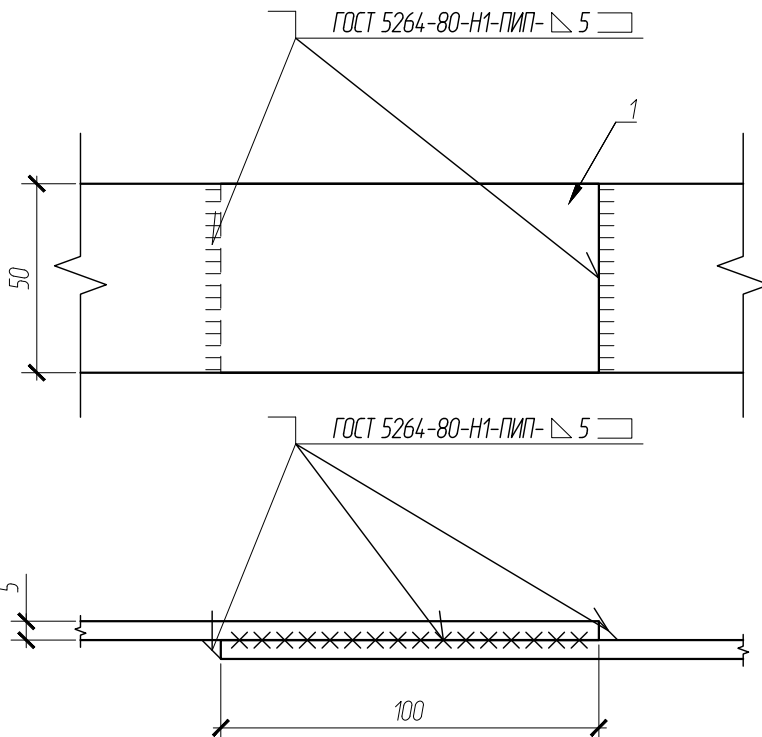
Соединение полос заземления между собой (1:2)



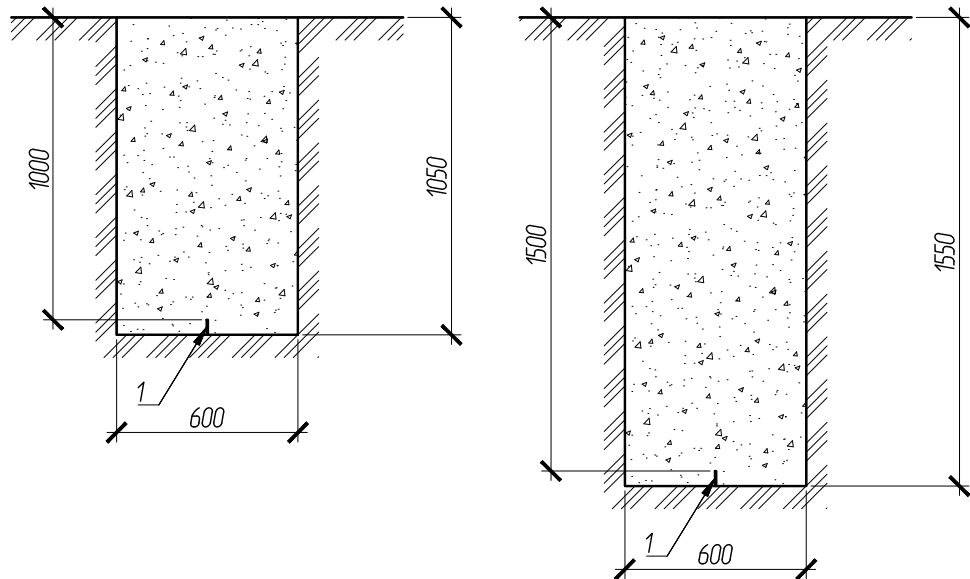
Соединение полос заземления между собой (1:2)



Соединение полос заземления между собой (1:2)



Разрезы траншей для прокладки полосы заземления (1:25)



Спецификация оборудования, изделий и материалов

| Поз. | Наименование                             | Параметры                                   | Ед. | Кол-во | Масса, кг | Примечание             |
|------|--|---|-----|--------|-----------|------------------------|
| 1    | Полоса заземления, оцинкованная          | 50x5 ГОСТ 103-2006<br>Ст 3 по ГОСТ 535-2005 | м   | 280    | 1,963     | в т.ч. 30 м на выпуски |
| 2    | Сталь круглая ГОСТ 2590-88, оцинкованная | φ 18 L=5000 мм                              | шт. | 30     | 5,991     |                        |
| 3    | Цинк ТУ 2313-012-12288779-99             |   | кг  | 1,1    |           |                        |
| 4    | АЛПОЛ ТУ 2313-014-12288779-99            |   | кг  | 0,8    |           |                        |
| 5    | Сольва-УР ТУ 2319-032-12288779-2002      |   | кг  | 0,06   |           |                        |

Габариты траншеи и объем земляных работ

| № траншеи                  | Суммарная длина участка по плану, м | Объем земляных работ на 1 м траншеи, м³ |                  |  | Суммарный объем земляных работ по траншее, м³ |                  |  |
|----------------------------|-------------------------------------|---|------------------|--|---|------------------|--|
|                            |                                     | Рытье траншеи                           | Обратная засыпка | Объем межой просеивной земли или песка | Рытье траншеи                                 | Обратная засыпка | Объем межой просеивной земли или песка |
| Глубина 1050<br>Ширина 600 | 237                                 | 0,63                                    | 0,63             |  | 149,31  | 149,31           |  |
| Глубина 1550<br>Ширина 600 | 13,0                                | 0,93                                    | 0,93             |  | 12,09   | 12,09            |  |
| Итого:                     |                                     |   |                  |  | 1614,0  | 1614,0           |  |

Условные обозначения:






- — — — — Сталь полосовая оцинкованная 50x5 мм проложенная в грунте (на глубине 1 м от ур. земли);
- — — — — Сталь полосовая оцинкованная 50x5 мм проложенная в грунте (на глубине 1,5 м от ур. земли);
- — — — — Сталь полосовая оцинкованная 50x5 мм проложенная в теле фундамента на этапе подготовки к заливке бетоном;  
● Стальной прокат круглого сечения оцинкованный φ18 мм (вертикальный электрод заземления длиной 5 м);

- Примечания:
- 18 соответствует с ПУЭ п.1.7.54 для заземления электроустановок в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители;
  - Все соединения между заземлителями, а также заземлителями и заземляющими проводниками осуществлять сваркой способом "нахлест" согласно ГОСТ 5264-80 тип Н1-Н2. Сварной шов должен быть сплошным. Длина "нахлеста" должна быть не менее двойной ширины при прямоугольном сечении. Высота сварных швов должна быть не менее 5 мм. Сварные соединения стальных элементов заземления должны быть защищены от коррозии при помощи состава Цинкол + АЛПОЛ (поз.3,4) на 50-100 мм в обе стороны от сварного шва;
  - Магистраль контура заземления прокладывать на расстоянии 0,8-1 м от оснований оборудования;
  - В соответствии с п. 1.7.94 ПУЭ у входов в здание производится - укладка проводников на расстоянии 1 и 2 м от заземлителя на глубине 1 и 1,5 м соответственно и соединение этих проводников с заземлителем;
  - Заземлители и заземляющие полосы, расположенные в земле, не должны иметь окраски;
  - 4 мест ввода заземляющих проводников быть нанесен знак "Заземление";
  - Выпуски из грунта контура заземления покрасить краской на основе битума черного цвета, в местах отпаек нанести желто-зеленые полосы;
  - Для заземления пожарных машин выполнить выпуск от горизонтального заземлителя (узел А), на конце выпуска предусмотреть площадку из стали полосовой оцинкованной 50x5 мм, L=100 мм. Сталь резать на месте монтажа. Выпуск заземления для пожарных машин присоединить к горизонтальной заземлитель контура заземления ВЗУ при помощи сварки;
  - Сопротивление заземляющего устройства в любое время года не должно превышать 0,895 Ом.

|           |           |      |        |   |          |  |  |  |                   |      |        |
|-----------|-----------|------|--------|---|----------|--|--|--|-------------------|------|--------|
|           |           |      |        |   |          | ВЭС000107.356.1.13-ИЛО3.104  |  |  |                   |      |        |
|           |           |      |        |   |          | ООО "Четырнадцатый Ветропарк ФРВ"  |  |  |                   |      |        |
| Изм.      | Кол.уч.   | Лист | № док. | Подпись   | Дата     | Ветропарковая ВЭС:<br>Ветропарковая станция, ветроэнергетическое оборудование<br>двигатели; Этап 3: "Трансформаторная ВЭС";<br>ВЗУ №№ 1-11 код ГИП генерации GVE06471 мощность 50,05 МВт |  |  | Стандия           | Лист | Листов |
| Разраб.   | Егоров    |      |        |  | 19.02.21 |  |  |  | П                 | 1    | 1      |
| Проверил  | Вершинин  |      |        |  | 19.02.21 |  |  |  |                   |      |        |
| Нач. отд. | Вершинин  |      |        |  | 19.02.21 |  |  |  |                   |      |        |
| ГИП       | Бондарчук |      |        |  | 19.02.21 |  |  |  |                   |      |        |
| Н. контр. | Пирогова  |      |        |  | 19.02.21 | План заземления ВЗУ  |  |  | ООО "ЕПСМ Сибири" |      |        |
| Утв.      |           |      |        |   |          |  |  |  |                   |      |        |

|                |  |  |
|----------------|--|--|
| Согласовано    |  |  |
|                |  |  |
|                |  |  |
| Взам. инв. №   |  |  |
| Подпись и дата |  |  |
| Инв. № подл.   |  |  |

|         |   |  |                                      |                    |                   |            |                   |                         |
|---------|---|--|--------------------------------------|--------------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------------|
| Позиция | Наименование и техническая характеристика | Тип, марка, обозначение документа, опросного листа | Код оборудования, изделия, материала | Завод-изготовитель | Единица измерения | Количество | Масса единицы, кг | Примечания              |
| 1       | 2   | 3  | 4                                    | 5                  | 6                 | 7          | 8                 | 9                       |
|         |   |  |                                      |                    |                   |            |                   |                         |
|         | 1.Заземление ВЗУ                          |  |                                      |                    |                   |            |                   |                         |
| 1.1     | Полоса заземления, оцинкованная           | 50x5 ГОСТ 103-2006<br>Ст. 3 кп ГОСТ 535-2005       |                                      |                    | м                 | 3080       | 1,963             | в т.ч. 120 м на выпуски |
| 1.2     | Сталь круглая ГОСТ 2590-88, оцинкованная  | φ 18 L=5000 мм                                     |                                      |                    | шт.               | 330        | 5,991             |                         |
| 1.3     | Цинал ТУ 2313-012-12288779-99             | БТ-577   |                                      |                    | кг                | 12.1       |                   |                         |
| 1.4     | АЛПОЛ ТУ 2313-014-12288779-99             |  |                                      |                    | кг                | 8.8        |                   |                         |
| 1.5     | СОЛЬВ-УР ТУ 2319-032-12288779-2002        |  |                                      |                    | кг                | 0.7        |                   |                         |
|         |   |  |                                      |                    |                   |            |                   |                         |
|         |   |  |                                      |                    |                   |            |                   |                         |
|         |   |  |                                      |                    |                   |            |                   |                         |

|           |          |           |        |   |          |   |      |        |
|-----------|----------|-----------|--------|---|----------|---|------|--------|
|           |          |           |        |   |          | ВЭС000107.356.1.1.3-ИЛОЗ.1.СО   |      |        |
|           |          |           |        |   |          | ООО "Четырнадцатый Ветропарк ФРВ"   |      |        |
|           |          |           |        |   |          |   |      |        |
| Изм.      | Кол. уч. | Лист      | № док. | Подпись   | Дата     |   |      |        |
| Разраб.   |          | Егоров    |        |  | 19.02.21 |   |      |        |
| Проверил  |          | Вершинин  |        |  | 19.02.21 |   |      |        |
| Нач. отд. |          | Вершинин  |        |  | 19.02.21 |   |      |        |
| ГИП       |          | Бондарчук |        |  | 19.02.21 |   |      |        |
| Н. контр. |          | Пирогова  |        |  | 19.02.21 |   |      |        |
| Утв.      |          |           |        |   |          |   |      |        |
|           |          |           |        |   |          | Ветропарк "Гражданская ВЭС"<br>ветровая электрическая станция, внутриплощадочные автомобильные дороги". Этап 3. "Гражданская ВЭС".<br>ВЗУ №№ 1-11 (код ГТП генерации GVIE0647) мощностью 50,05 МВт. |      |        |
|           |          |           |        |   |          | Стадия  | Лист | Листов |
|           |          |           |        |   |          | П   |      | 1      |
|           |          |           |        |   |          | Спецификация оборудования, изделий и материалов   |      |        |
|           |          |           |        |   |          | ООО "ЕРСМ Сибдери"  |      |        |

**Ветроэнергетическая установка V126 мощностью 4,2 МВт****Wind Turbine V126 with a rating of 4,2 MW**

The documents referenced in the table below are applicable for Wind Turbine V126 with a rating of 4,2MW, even if separate ratings are presented inside the document.

Приведенные документы применимы для ветроэнергетической установки V126 с мощностью 4,2МВт, даже в случае, если в документе упоминаются другие мощности.

| Document Number RU | Document Title RU                             | Document Number EN | Document Title EN |
|--------------------|---|--------------------|-------------------|
| 0059-1120<br>V03   | Молниезащита и электромагнитная совместимость | 0059-1120<br>V03   |                   |

# Молниезащита и электромагнитная совместимость

Document no.: 0059-1120 V03

Класс: ДЛЯ ОГРАНИЧЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Тип: T09

Дата: 2018-03-08



### Тип ветровой турбины

| Тип ветровой турбины | Версия Mk |
|----------------------|-----------|
| V105-3.45 MW         | Mk 3      |
| V112-3.45 MW         | Mk 3      |
| V117-3.45 MW         | Mk 3      |
| V117-4.2 MW          | Mk 3      |
| V126-3.45 MW         | Mk 3      |
| V136-3.45 MW         | Mk 3      |
| V136-4.2 MW          | Mk 3      |
| V150-4.0 MW          | Mk 3      |
| V150-4.2 MW          | Mk 3      |

### Описание изменений

| Описание изменений  |
|---|
| <p>Обновлен <a href="#">раздел «Тип ветровой турбины», стр. 2</a>, <a href="#">раздел 3.1 «Уровень защиты», стр. 4</a>, <a href="#">раздел 3.3 «Обзор системы молниезащиты», стр. 6</a>, <a href="#">раздел 3.4 «Защита лопастей», стр. 8</a>, <a href="#">раздел 3.5 «Защита системы CoolerTop®», стр. 10</a>, <a href="#">раздел 3.6 «Защита коренных подшипников», стр. 10</a>, <a href="#">раздел 3.7 «Система молниеотвода из гондолы к башне», стр. 11</a>, и <a href="#">раздел 3.12 «Проверка», стр. 18</a>.</p> <p>Добавлен <a href="#">раздел 1 «Сокращения и технические термины», стр. 4</a>.</p> |

## Содержание

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Сокращения и технические термины.....</b>                                     | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Введение .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>Молниезащита .....</b>  | <b>4</b>  |
| 3.1      | Уровень защиты.....  | 4         |
| 3.2      | Определение точек поражения.....   | 5         |
| 3.3      | Обзор системы молниезащиты .....   | 6         |
| 3.4      | Защита лопастей .....  | 8         |
| 3.5      | Защита системы CoolerTop® .....  | 10        |
| 3.6      | Защита коренных подшипников .....  | 10        |
| 3.7      | Система молниеотвода от гондолы к башне.....                                     | 11        |
| 3.8      | Конструкция башни.....   | 13        |
| 3.9      | Система вертикального молниеотвода от основания башни до системы заземления..... | 13        |
| 3.10     | Защита электрической системы и системы управления .....                          | 13        |
| 3.11     | Системы заземления.....  | 14        |
| 3.11.1   | Наземная ветровая турбина .....  | 14        |
| 3.11.2   | Морская ветровая турбина.....  | 15        |
| 3.12     | Проверка .....   | 18        |
| <b>4</b> | <b>ЭМС .....</b>   | <b>18</b> |
| 4.1      | Ссылки на законодательные акты .....   | 19        |
| 4.1.1    | Основные требования к ЭМС.....   | 20        |
| 4.2      | Нормативное соответствие ветровой турбины .....                                  | 20        |
| 4.3      | Рекомендованные нормы проектирования .....                                       | 20        |
| 4.4      | Взаимное соответствие компонентов .....  | 21        |

## 1 Сокращения и технические термины

Таблица 1.1. Сокращения

| Сокращение | Объяснение                                   |
|------------|--|
| ЭМС        | Электромагнитная совместимость               |
| IEC        | Международная электротехническая комиссия    |
| LCTU       | Устройства передачи тока молнии              |
| JISC       | Японский комитет промышленной стандартизации |

Таблица 1.2. Объяснение терминов

| Термин           | Объяснение   |
|------------------|--|
| Среднее значение | Среднее арифметическое набора величин или значений, рассчитываемое путем деления суммы всех этих величин на количество этих величин. |

## 2 Введение

В настоящем документе представлено описание конструкции системы молниезащиты и схемы защиты от внешнего электромагнитного воздействия.

Электромагнитные помехи и молния относятся к одной группе факторов электромагнитного воздействия. Однако стандарты, которые применяются для оценки соответствия оборудования установленным требованиям, существенно отличаются. Поэтому молниезащите и ЭМС посвящены отдельные разделы этого документа.

## 3 Молниезащита

Все ВЭУ Vestas оснащены системой молниезащиты, которая предназначена для минимизации ущерба, наносимого механическим компонентам, электрооборудованию и системам управления.

Система молниезащиты Vestas состоит из внешней и внутренней систем защиты.

Внешняя система защиты воспринимает прямые удары молнии и отводит ток разряда в систему заземления под башней. К компонентам внешней системы молниезащиты относятся, например, стержень, расположенный на задней части гондолы, и молниеприемники, встроенные в лопасти.

Внутренняя система защиты предназначена для безопасного отвода тока молнии в систему заземления и для гашения наведенных магнитного и электрического полей, вызванных ударом молнии. В качестве примеров можно привести такие компоненты внутренней системы защиты: панели для обеспечения ЭМС/молниезащиты, экранированные кабели и устройства защиты от импульсных перенапряжений.

Наиболее важными средствами защиты электронного оборудования ВЭУ являются эквипотенциальное соединение и защита от перенапряжения.

Удары молнии считаются форс-мажорными обстоятельствами. Другими словами, гарантия компании Vestas не распространяется на ущерб, полученный вследствие удара молнии.

### 3.1 Уровень защиты

Ветровые турбины Vestas установлены по всему миру в прибрежных и горных районах, где плотность молний на единицу площади очень высока. Для предотвращения местных рисков и с целью принятия во внимание различных

потребностей молниезащиты в разных местностях, компания Vestas разработала стандартную систему молниезащиты, соответствующую самому высокому нормативному уровню, определенному в стандарте IEC 61400-24:2010, как показано в [таблице «Численные значения тока молнии», стр. 5](#).

Система молниезащиты обеспечивает уровень защиты 1 согласно стандарту IEC 61400-24:2010, то есть ВЭУ Vestas выдерживают удары молнии с большой энергией.

**Таблица 3.1. Численные значения тока молнии**

| Параметр разряда молнии     |                    |          | Уровень защиты 1 | Уровень защиты 1 плюс (применимо только для V117)* |
|-----------------------------|--------------------|----------|------------------|--|
| Пиковое значение тока       | $I_{\max}$         | [кА]     | 200              | 200  |
| Полный заряд                | $Q_{\text{total}}$ | [Кл]     | 300              | 600  |
| Удельная переданная энергия | $W/R$              | [кДж/Ом] | 10000            | 20000  |
| Средняя скорость нарастания | $di/dt_{30/90\%}$  | [кА/мкс] | 200              | 200  |

!

\* Ветровая турбина V117 оснащена усиленной системой молниезащиты в соответствии с требованиями IEC 61400-24:2014. Эта усиленная система молниезащиты позволяет устанавливать ветровую турбину в местностях с интенсивными зимними молниями.

## 3.2 Определение точек поражения

Точки поражения молнией определяются методом фиктивной сферы и в соответствии с IEC 61400-24. Исследования показали, что ударам молнии наиболее подвержены концы лопастей и метеостанция, расположенная в заднем верхнем конце гондолы, а также авиационные сигнальные огни, если имеются.

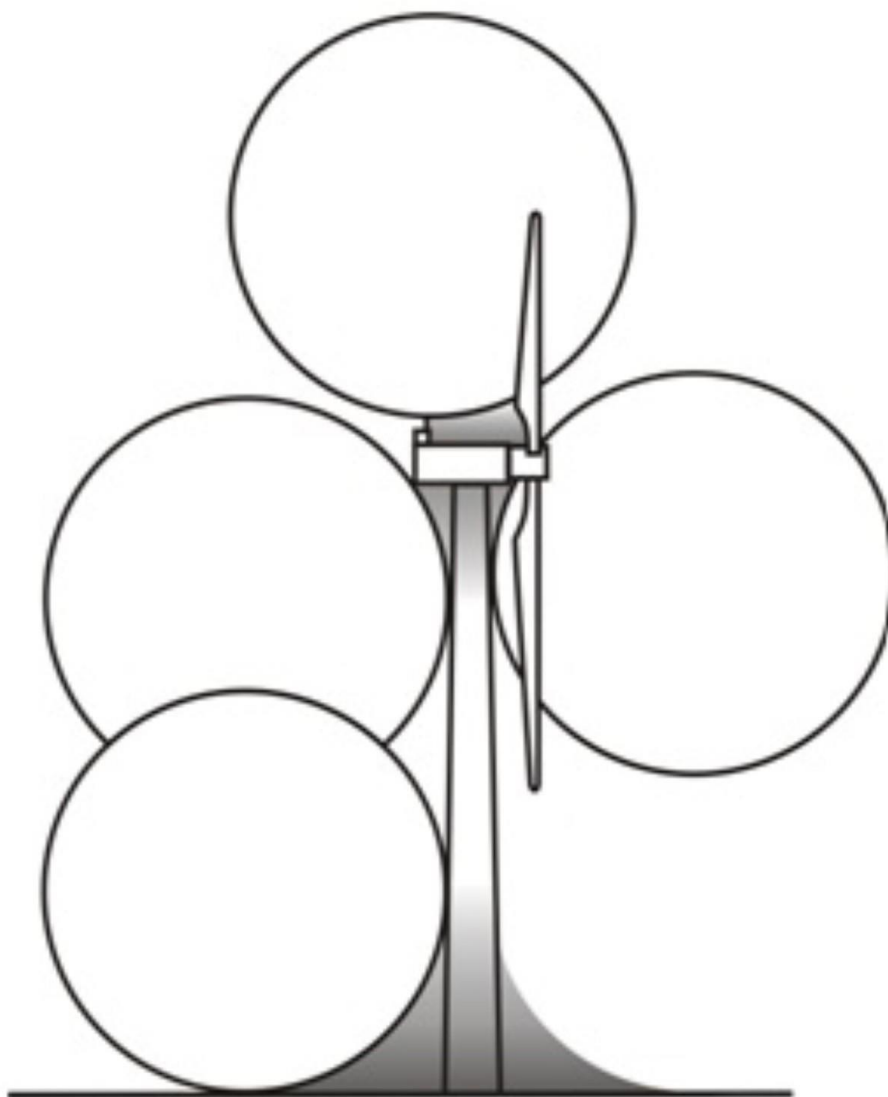
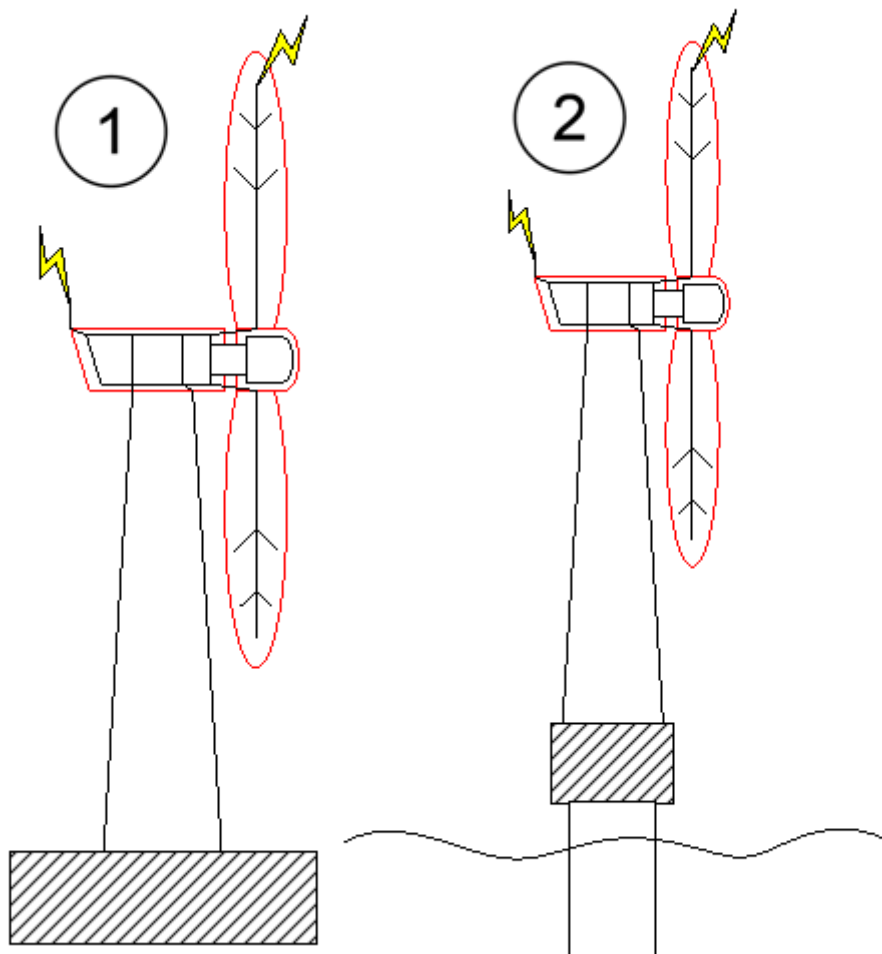


Рис. 3.1. Метод фиктивной сферы

### 3.3 Обзор системы молниезащиты

---

Ветровая турбина изначально спроектирована таким образом, чтобы противостоять прямым ударам молнии.



**Рис. 3.2. Точки контакта с разрядом молнии и система молниеотвода**

- 1 Наземная ветровая турбина      2 Морская ветровая турбина

### **Точки контакта с разрядом молнии**

Зоны ветровой турбины, которые находятся под угрозой прямых ударов молнии.

### **Гондола**

Конструктивные элементы гондолы рассчитаны на безопасный отвод тока молнии к башне. Узлы и агрегаты в гондоле способны выдержать сильные электромагнитные поля, вызванные молнией.

### **Башня**

Башня является главным проводником, по которому ток разряда попадает в систему заземления.

### **Лопасты**

Лопасты больше всего подвержены ударам молнии. Благодаря своей конструкции лопасти способны выдерживать экстремальные грозовые условия.

## Устройства передачи тока молнии (LCTU)

Система LCTU защищает подшипники лопастей, коренной подшипник и поворотные подшипники от сильного тока молнии. Система LCTU безопасно отводит ток разряда молнии от лопастей на гондолу, от гондолы к башне и далее в систему заземления.

## Система заземления

Система заземления предназначена для безопасного разряда тока молнии в землю.

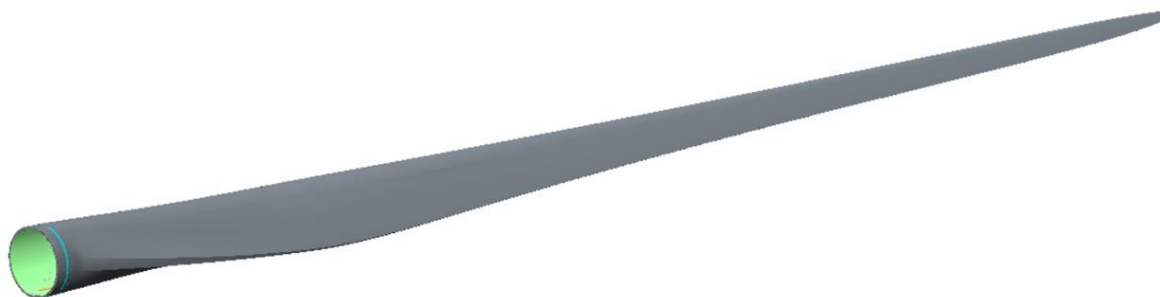
## Система молниеотвода

Черными линиями показаны части ВЭУ, которые используются в качестве молниеотвода. Лопасти очень часто подвергаются ударам молнии. После удара молнии в лопасть ток молнии проходит по расположенному в ней молниеотводу, через LCTU лопасти/гондолы попадает на элементы конструкции гондолы, а затем, через LCTU гондолы/башни, передается вниз по башне и уводится системой заземления.

## 3.4 Защита лопастей

### Лопасти моделей V105, V112 и V117

Система молниезащиты лопасти состоит из четырех основных элементов: приемников на концах лопастей, молниеприемников, вертикального молниеотвода и бандажа.



### Рисунок 3.3. V105, V112 и V117 с бандажом лопасти

Приемник на конце лопасти представляет собой цельнометаллический наконечник, который преимущественно притягивает удары молнии и проводит ток к вертикальному молниеотводу. Боковые приемники устанавливаются парами: один располагается на наветренной, а другой на подветренной поверхности лопасти.

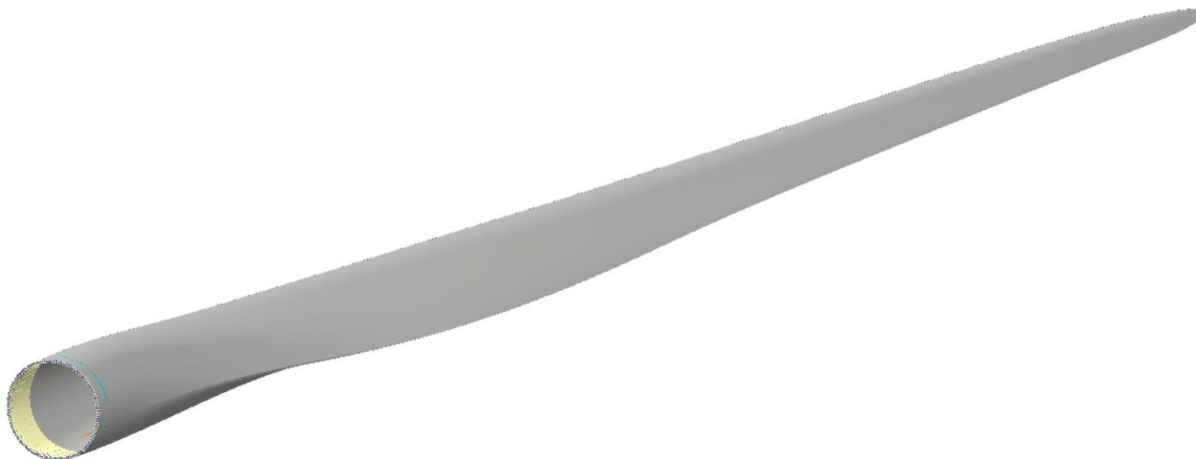
Вертикальный молниеотвод представляет собой кабель, разработанный в соответствии с требованиями стандарта IEC 61400-24. Этот кабель проходит через полость задней кромки лонжерона от приемников на концах лопастей до бандажа молниеотвода. Приемники на концах лопастей соединены с вертикальным молниеотводом с низким электрическим сопротивлением.

Бандаж обеспечивает сопряжение с LCTU. Дополнительную информацию о LCTU см. в [разделе 3.6 «Защита коренных подшипников», стр. 10.](#)

Элементы защиты, именуемые *замыкателями*, представляют собой группу металлических конструкций. Эти элементы защиты предотвращают образование электрической дуги между наветренной и подветренной сторонами лонжерона и вертикальным молниеотводом.

### Лопастей моделей V126 и V136

Система молниезащиты лопасти состоит из четырех основных элементов: приемников на концах лопастей, защитного покрытия, вертикального молниеотвода и бандажа.



**Рисунок 3.4. V126 и V136 с бандажом лопасти**

Приемник на конце лопасти состоит из цельнометаллического наконечника и группы молниеприемников. Группа молниеприемников состоит из четырех линий приемников, которые располагаются вдоль передней и задней кромок наветренной и подветренной оболочек. Цельнометаллический наконечник и молниеприемники первыми притягивают молнию, что снижает вероятность попадания молнии в стеклопластиковую оболочку или главный элемент лопасти. Цельнометаллический наконечник и приемники соединены с изолированным высоковольтным кабелем.

Участки наветренной и подветренной оболочек, расположенные между группой молниеприемников и основанием, покрываются расширенными проводниками из фольги. Так же как и цельнометаллический наконечник с группой молниеприемников, расширенные проводники из фольги являются более предпочтительным объектом для попадания молнии, тем самым обеспечивая защиту открытой части лопасти от прямых ударов молнии. Расширенные проводники из фольги соединены с группой молниеприемников и с вертикальным молниеотводом.

Вертикальный молниеотвод представляет собой изолированный высоковольтный кабель, проходящий через полость задней кромки лопасти. Высоковольтный кабель должен соответствовать требованиям стандарта IEC 61400-24.

Молниеотводы тянутся до бандажа, расположенного на основании лопасти. Бандаж лопасти обеспечивает сопряжение с LCTU. Дополнительную информацию о LCTU см. в [разделе 3.6. «Защита коренных подшипников», стр. 10.](#)

### V150

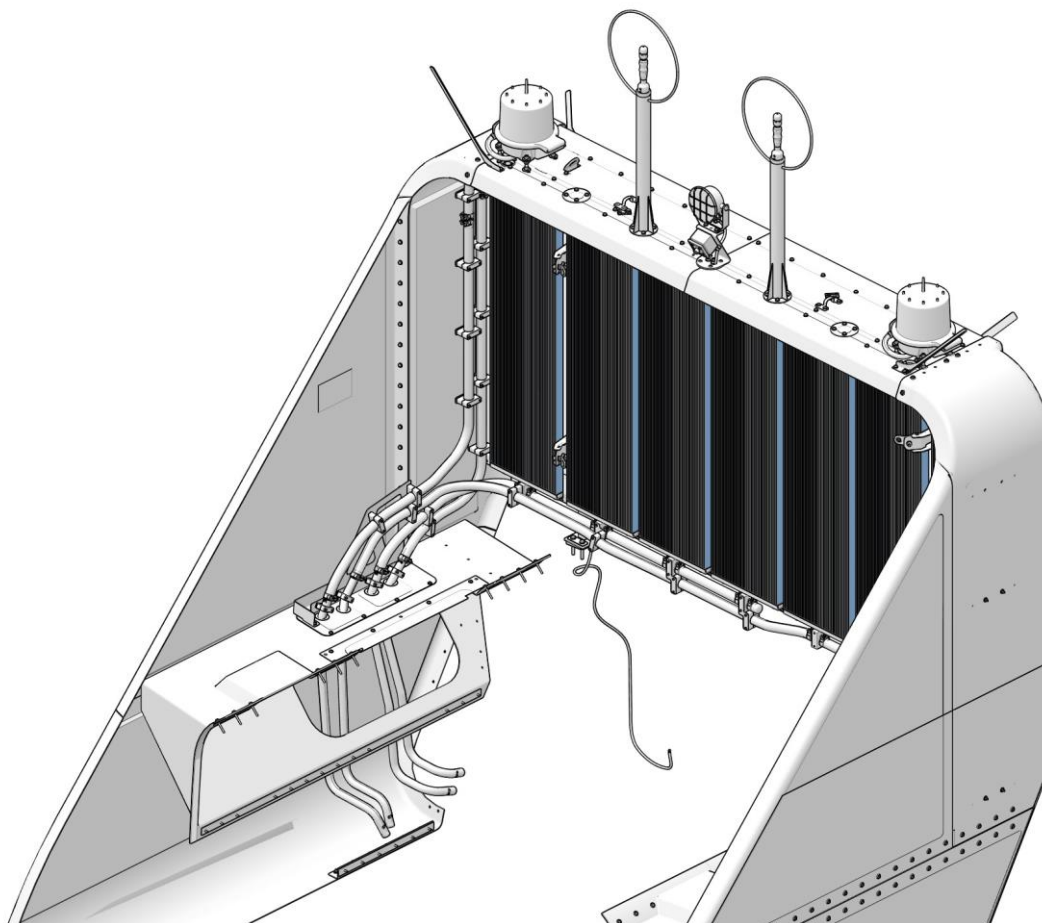
Лопасть V150 практически идентична лопастям V136 и V126.

На лопасти V150 расширенный проводник из фольги протянут почти на всю длину до основания лопасти, покрывая большую часть поверхности лопасти. В основании лопасти расширенный проводник из фольги переходит во внутренний кабель вертикального молниеотвода, подключает датчик молнии и осуществляет соединение с бандажом лопасти. Бандаж лопасти обеспечивает сопряжение с LCTU. Дополнительную информацию о LCTU см. в [разделе 3.6 «Защита коренных подшипников», стр. 10.](#)



### 3.5 Защита системы CoolerTop®

Оборудование, размещенное наверху системы охлаждения, защищено с помощью стержней и кольцевых приемников. Все металлические части эквипотенциально соединены с внутренней стальной конструкцией гондолы, как показано на [рисунке «Ультразвуковые анемометры и авиационные сигнальные огни на устройстве CoolerTop® в задней части крыши гондолы»](#), стр. 10

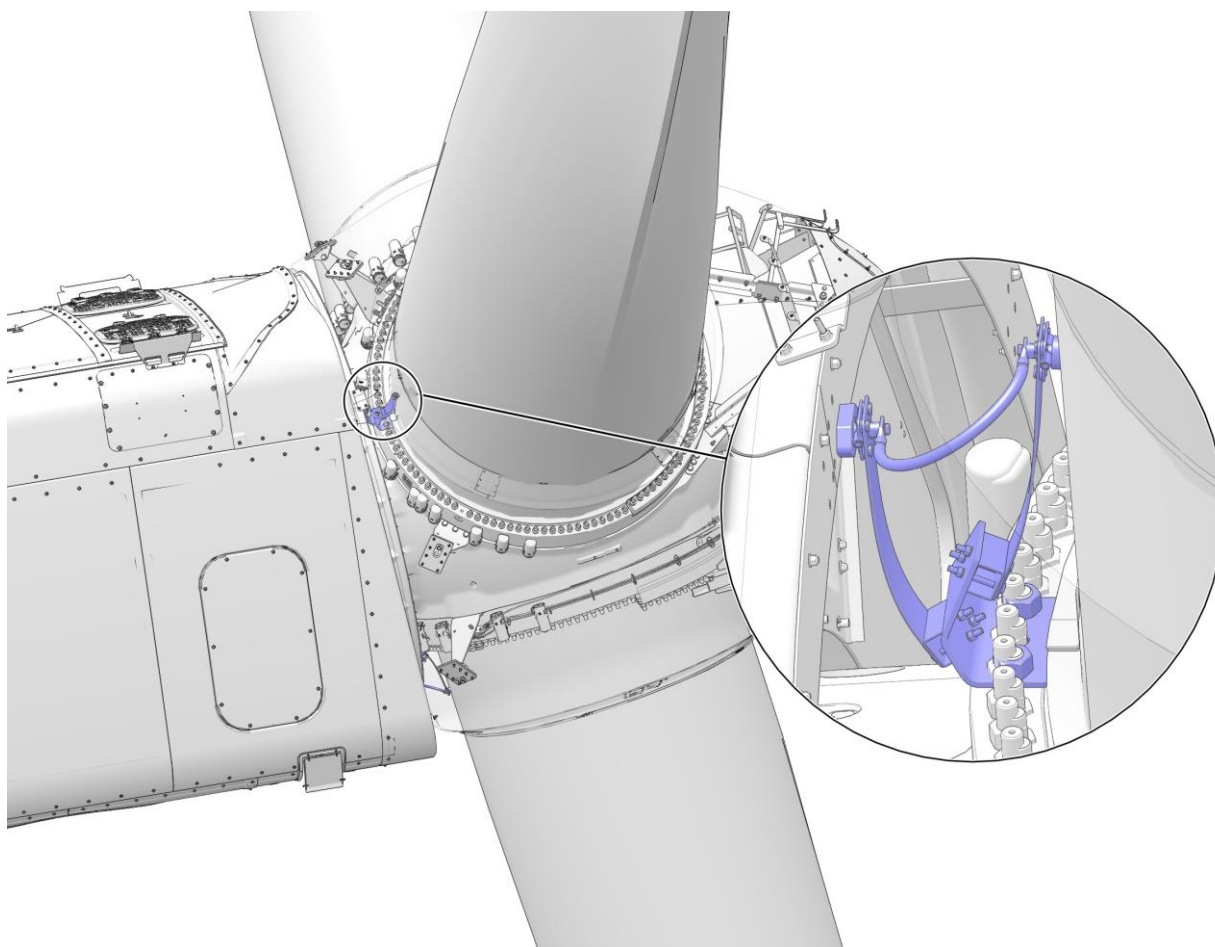


**Рисунок 3.5. Ультразвуковые анемометры и авиационные сигнальные огни на устройстве CoolerTop® в задней части крыши гондолы**

### 3.6 Защита коренных подшипников

Для отвода тока молнии от лопастей к элементам конструкции гондолы, в обход ступицы и коренных подшипников, используется вращающееся устройство передачи тока молнии (LCTU), установленное между лопастями и гондолой.

Вертикальный молниеотвод каждой лопасти изолирован от рамы ступицы и соединен с конструкцией гондолы через LCTU.



**Рисунок 3.6. LCTU между лопастями и конструкцией гондолы**

Блок LCTU проверяется на предмет проводимости тока молнии.

### 3.7 Система молниеотвода от гондолы к башне

Гондола соединена с верхней частью поворотного фланца при помощи соединительных конструкций. В поворотном подшипнике предусмотрены латунные контакты, чтобы предотвратить проход тока молнии через поворотные шестерни и подшипник.

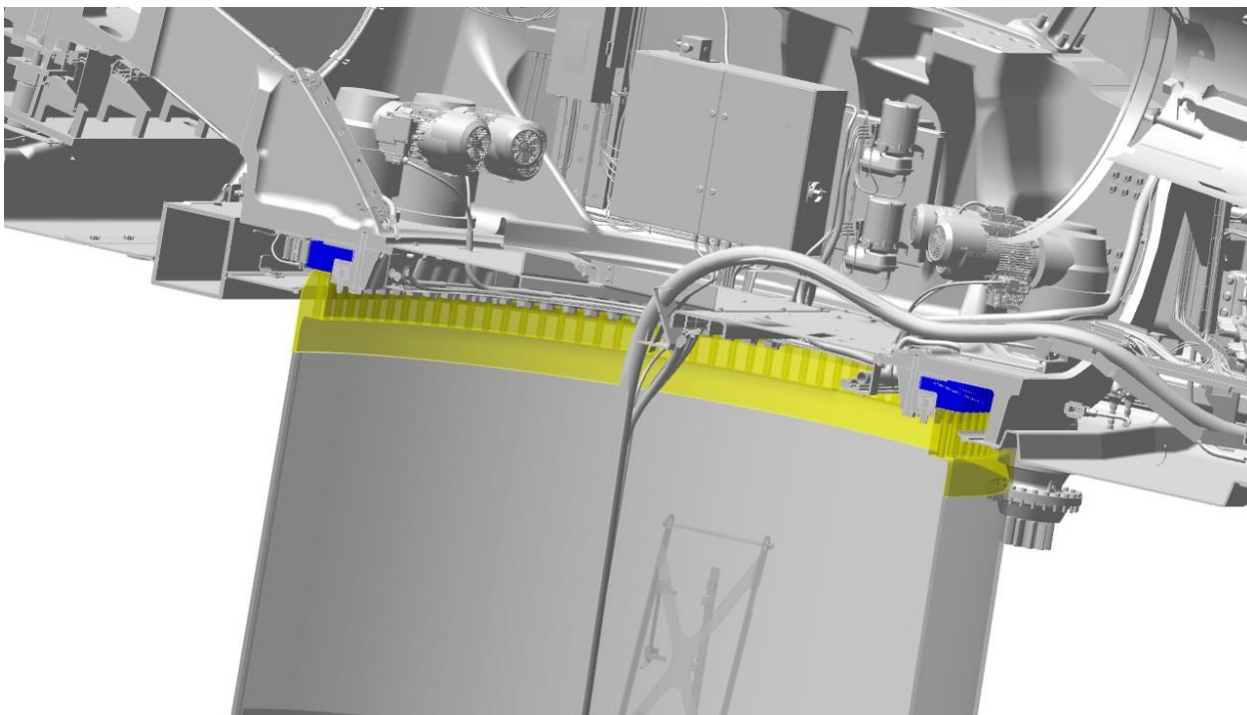
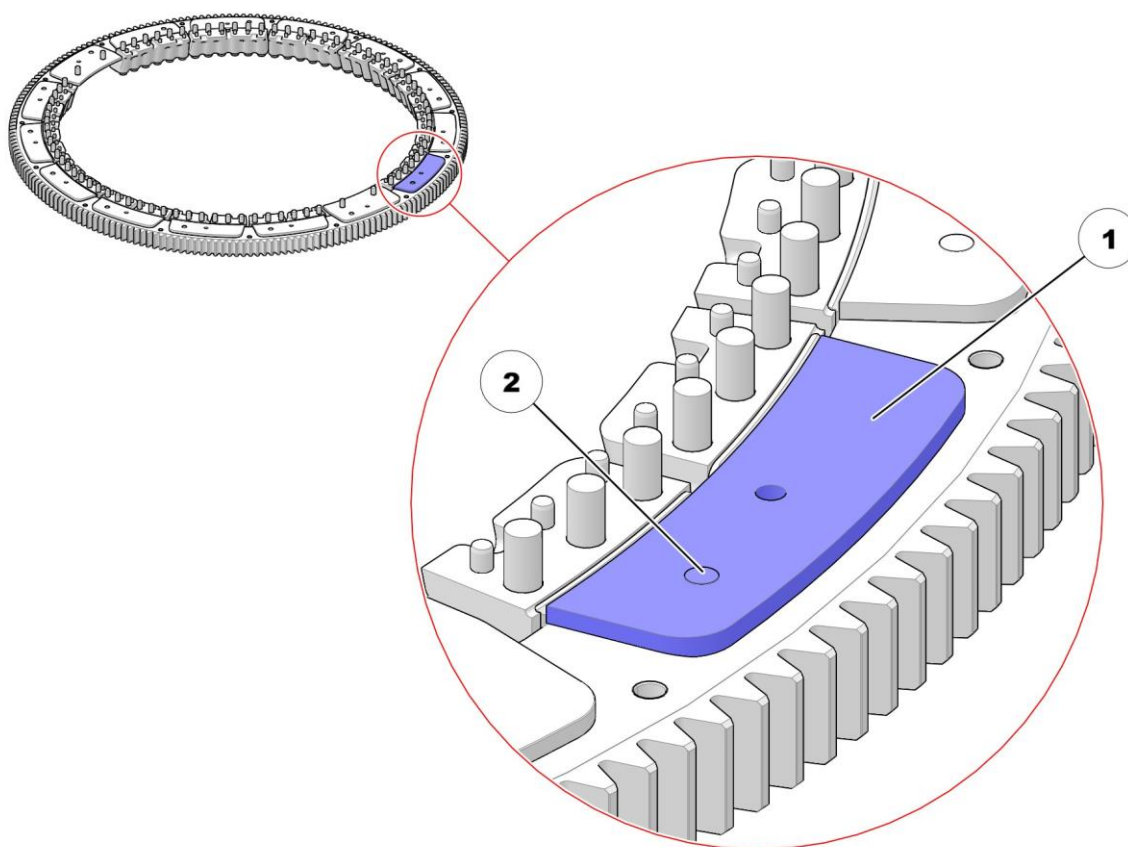


Рисунок 3.7. Защита подшипника поворота



1 Направляющая плита

2 Бронзовая вставка

Рисунок 3.8. Бронзовая вставка показана в нейлоновой направляющей плите, обеспечивающей электрическое соединение гондолы с башней

### 3.8 Конструкция башни

---

Есть два типа башен:

- стальная башня;
- смешанная башня (верх из стали, основание из бетона).

Башня является естественным вертикальным молниеотводом с очень большой площадью поперечного сечения и, как следствие, низким сопротивлением.

### 3.9 Система вертикального молниеотвода от основания башни до системы заземления

---

В нижней части башни все заземляющие проводники соединены с главной шиной заземления.



**Рисунок 3.9. Соединение башни с главной шиной уравнивания потенциалов**

### 3.10 Защита электрической системы и системы управления

---

Необходимо обеспечить защиту высоковольтного трансформатора от молнии. Компания Vestas решает это путем установки высоковольтных разрядников на клеммах высокого напряжения и устройств защиты от импульсных перенапряжений на стороне низкого напряжения.

## 3.11 Системы заземления

### 3.11.1 Наземная ветровая турбина

Есть два типа системы заземления: первый тип — система заземления Vestas; второй — сторонняя система заземления, которая используется как часть системы заземления башни смешанного типа.

Система заземления смешанной башни представляет собой сочетание системы заземления Vestas и сторонней системы заземления. Смешанная башня состоит из стальной верхней части и бетонного основания. За поставку системы заземления для башни такого типа отвечает сторонний подрядчик (не Vestas). Сертификаты на смешанную башню и систему ее заземления тоже получает сторонний подрядчик.

Следующее описание распространяется и на систему заземления Vestas и на систему заземления башни смешанного типа.

Система заземления выполняет функцию как защитного, так и рабочего заземления по схеме типа В.

Система заземления одной ВЭУ состоит, в основном, из трех отдельных контуров заземления. Первый контур является заземлением самого фундамента. Второй и третий контуры представляют собой заземляющие соединения между каждой ВЭУ и горизонтальным заземляющим электродом.

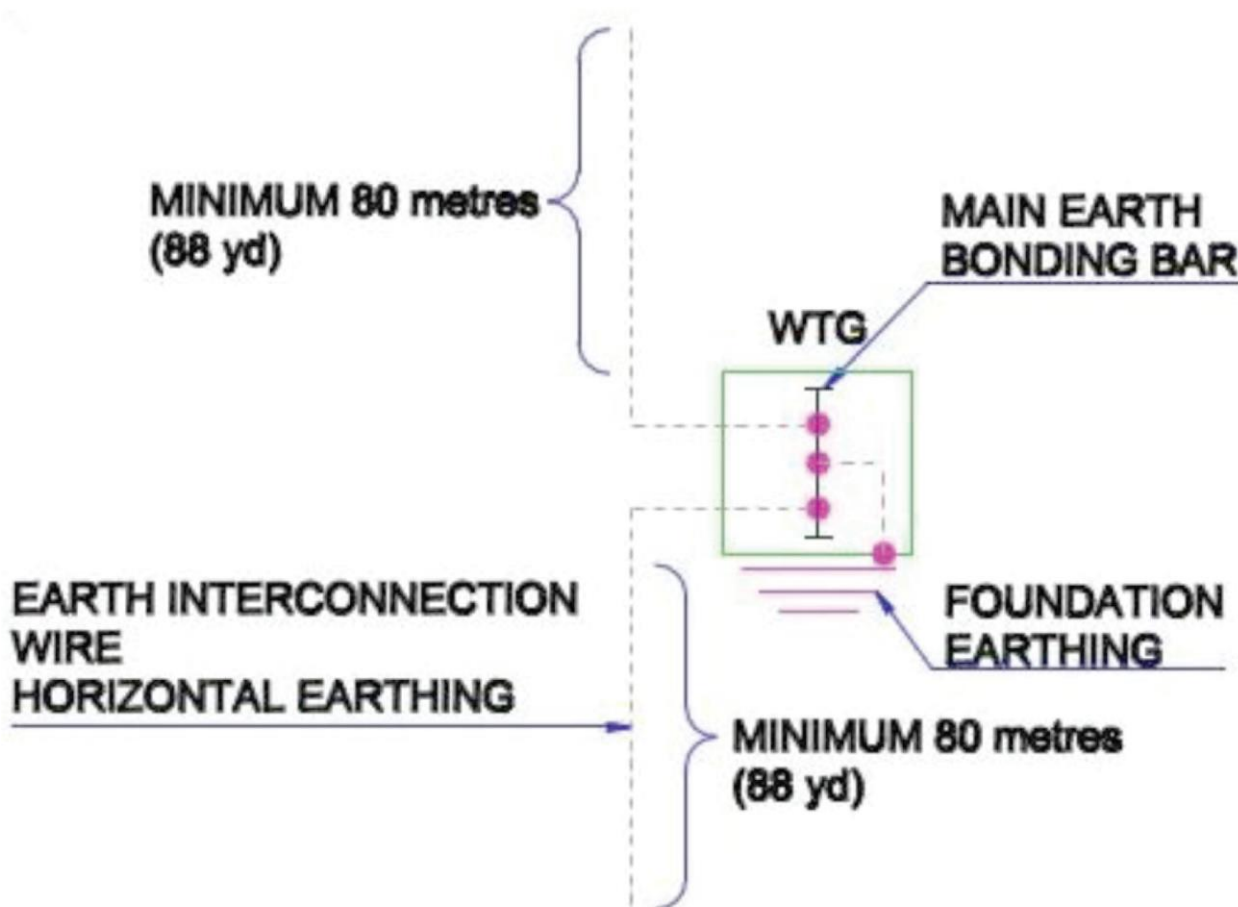


Рисунок 3.10. Основной чертеж системы заземления Vestas

В системе заземления ВЭУ ветроэлектростанции или сеть ВЭУ дополнительно соединены между собой проводами заземления и образуют единую систему заземления.



Эта система обеспечивает заземление систем высокого и низкого напряжения, а также системы молниезащиты каждой ВЭУ. Кроме того, она обеспечивает распределение высокого напряжения в рамках всей ветровой электростанции.

С точки зрения молниезащиты ветровой турбины, компания Vestas не предъявляет требований к значению минимального сопротивления (в омах) до удаленного заземления. Заземление системы молниезащиты основано на конструкции и устройстве системы заземления Vestas в соответствии со стандартами IEC.

Одним из компонентов системы заземления является главная шина заземления, расположенная в точке ввода всех кабелей в ветровую турбину. К этой главной шине заземления подключены все заземляющие электроды. Кроме того, для всех кабелей, входящих в ВЭУ или выходящих из нее, предусмотрены эквипотенциальные соединения.

Требования, изложенные в спецификации на систему заземления Vestas и описании работ, являются минимальными требованиями компании Vestas и стандартов IEC. Местное и национальное законодательство, а также требования проекта, могут предусматривать дополнительные меры.

Дополнительная информация о системе заземления Vestas представлена в публикации 0000-3388 «Система заземления Vestas».



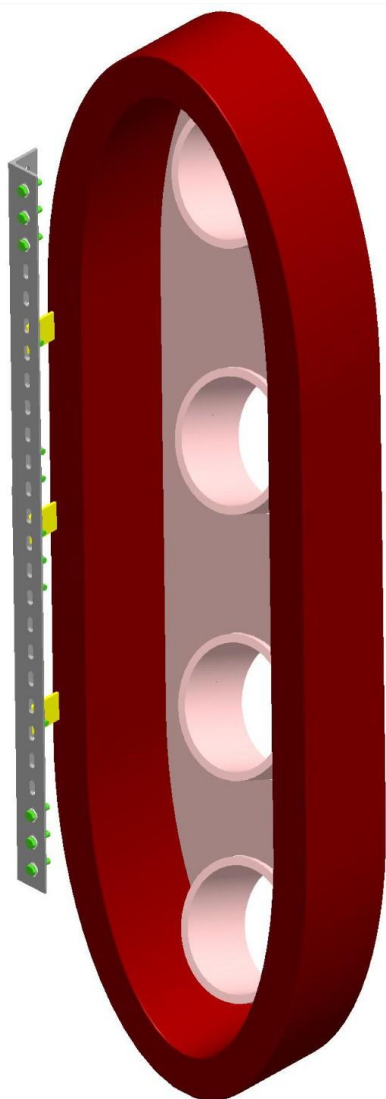
Дополнительную информацию о системе заземления смешанной башни см. в документации поставщика.

### 3.11.2 Морская ветровая турбина

---

Система заземления Vestas выполнена в виде заземляющей электродной установки типа В, работающей на принципе заземления фундамента (односвайного). Кроме того, односвайный фундамент рассматривается как дополнительный вертикальный электрод заземления, чтобы добиться нужного размера и длины системы заземления относительно системы молниезащиты. В системе заземления Vestas, ВЭУ ветроэлектростанции или сеть ВЭУ дополнительно соединены между собой проводами заземления и образуют единую систему заземления.

Одним из компонентов системы заземления Vestas является главная шина заземления, расположенная в точке ввода всех подводных кабелей в башню ВЭУ. К главной шине заземления присоединяется заземляющий электрод. С ней также выполняется эквипотенциальное соединение всех подводных кабелей, входящих в ВЭУ или выходящих из нее. Главная шина заземления приварена/прикреплена болтами непосредственно к нижней секции башни и, таким образом, соединена непосредственно с башней и со всеми металлическими частями ВЭУ.



**Рисунок 3.11. Возможное расположение главной шины заземления**

Волоконно-оптические кабели с металлическими кабельными экранами или другими металлическими элементами также нужно подключать непосредственно к главной шине заземления в точке ввода.

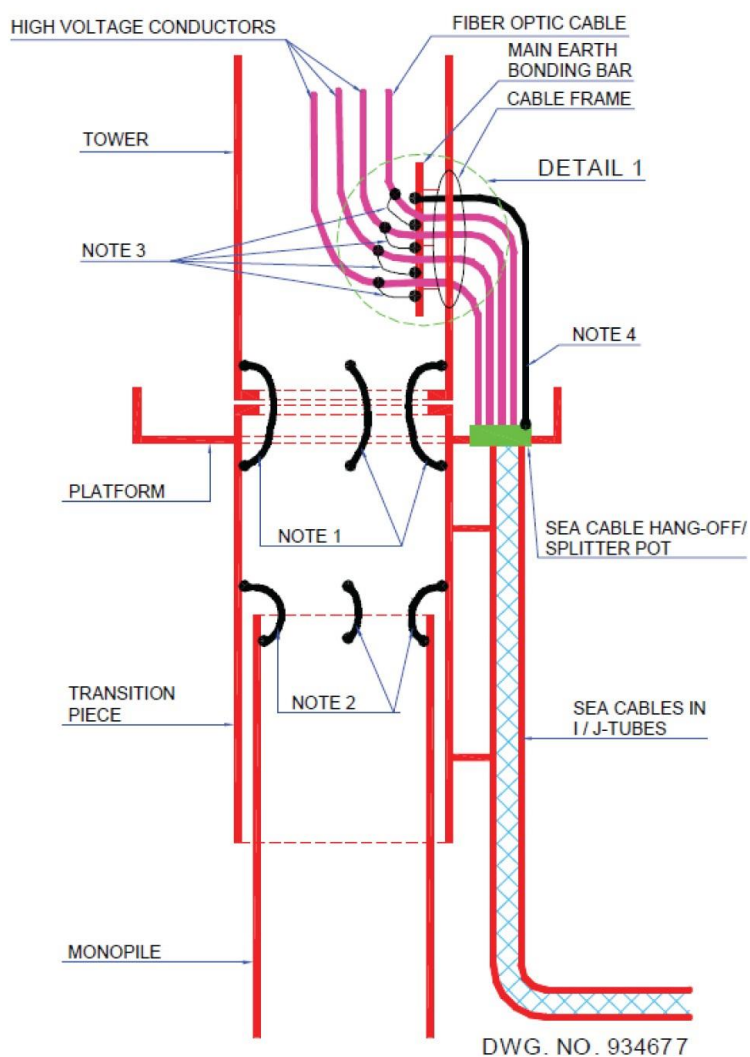
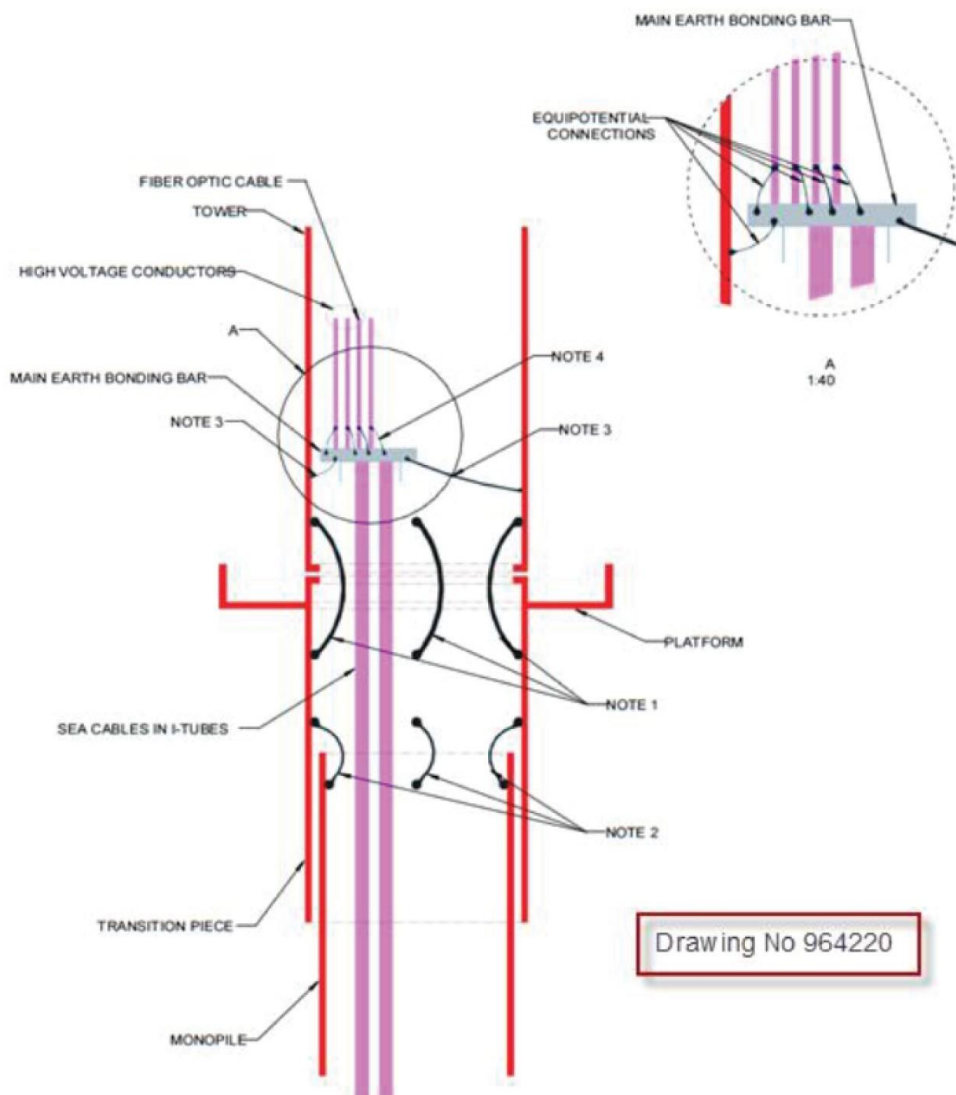


Рисунок 3.12. Принципиальная схема системы заземления Vestas для J-образной трубы





**Рисунок 3.13. Принципиальная схема системы заземления Vestas для I-образной трубы**

Обычно все металлические части, находящиеся внутри ВЭУ и в непосредственной близости от нее, соединяются между собой и подсоединяются к системе заземления. В результате при протекании токов в системе заземления все части и почва/вода вокруг будут иметь один потенциал. При равенстве потенциалов (напряжений) всех металлических частей и окружающей среды не возникает потенциал прикосновения или шаговый потенциал (шаговое напряжение).

Дополнительная информация о системе заземления Vestas представлена в публикации 0000-3388 «Система заземления Vestas».

### 3.12 Проверка

Проверка системы молниезащиты выполнена в соответствии с требованиями стандарта IEC 61400-24:2010, а для ветровой турбины V117 — в соответствии с повышенными значениями стандарта JISC 1400-24:2014.

## 4 ЭМС

ВЭУ Vestas полностью соответствуют требованиям директивы 2014/30/EU по электромагнитной совместимости и положениям, которые касаются ЭМС, директивы 2006/42/EC по безопасности машин и механизмов.

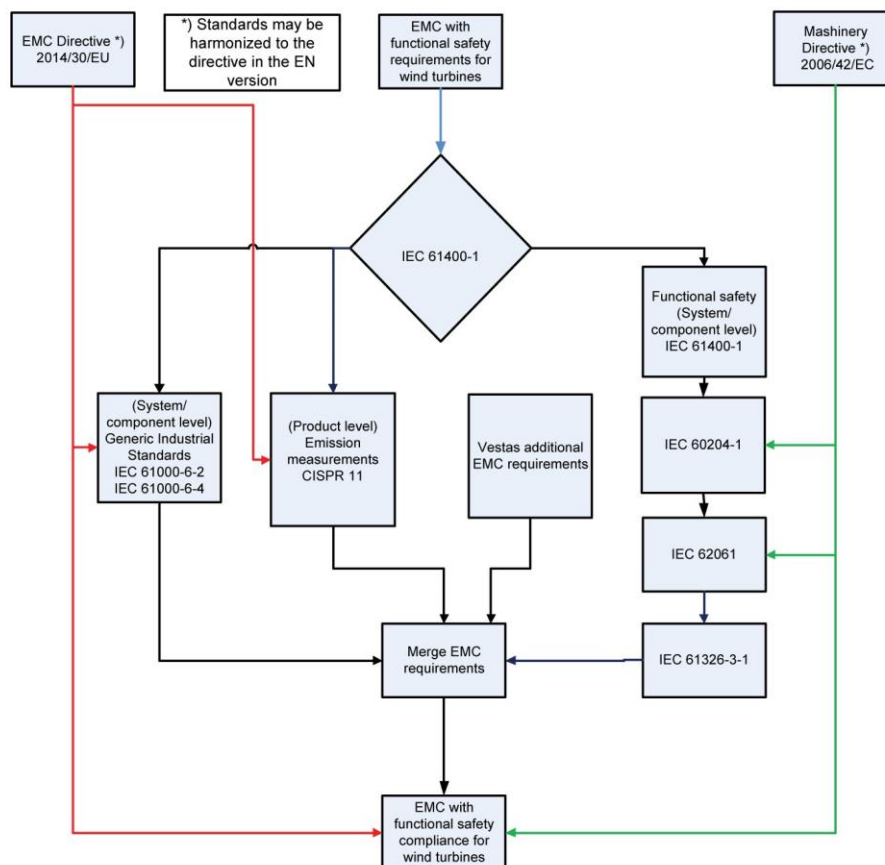
Директива по ЭМС призвана обеспечить электромагнитную совместимость выпускаемого электрооборудования. Подробнее о требованиях см. в разделе «Основные требования к ЭМС».

**Vestas**

В целях выполнения директивы ЕС по ЭМС, компания Vestas сосредоточилась на трех основных направлениях:

- Нормативное соответствие ветровой турбины
- Рекомендованные нормы проектирования
- Взаимное соответствие компонентов

#### 4.1 Ссылки на законодательные акты



**Рис. 4.1. Ссылки на законодательные акты**

Компания Vestas разрабатывает и производит продукцию в соответствии с требованиями Европейского Совета, изложенными в директивах по ЭМС и по безопасности машин и механизмов.

ДИРЕКТИВА 2014/30/EU Европейского парламента и Совета ЕС от  
26 февраля 2014 г.  
о сближении законодательств Государств-членов по  
электромагнитной совместимости (переработанный вариант).

и

ДИРЕКТИВА 2006/42/ЕС Европейского парламента и Совета ЕС от  
17 мая 2006 г.  
по машинам и механизмам, дополняющая Директиву 95/16/ЕС

Исполнение требований указанных директив подтверждается методиками поверки, описанными в следующих стандартах для продукции данного уровня:

IEC 61400–1 «Установки ветроэнергетические. Часть 1. Технические требования» разъясняет вопросы безопасности, обеспечения качества и технической целостности, а также определяет требования безопасности для конструкции, монтажа и эксплуатации ВЭУ.

IEC 61400–1 определяет основные требования к конструкции для обеспечения технической целостности ветровых турбин. Его цель является обеспечение надлежащего уровня защиты от всех опасностей в течение предусмотренного срока службы. Данный стандарт касается всех подсистем ВЭУ, таких как устройства управления и защиты, внутренние электрические системы, механизмы и вспомогательные конструкции. Настоящий стандарт распространяется на ветровые турбины любых размеров.

CISPR 11 «Промышленные, научные и медицинские устройства. Характеристики радиопомех. Нормы и методы измерений».

CISPR 11 определяет схемы и методы измерений, а также применимые пределы испытаний для промышленного оборудования, являющегося источником радиопомех.

#### 4.1.1 Основные требования к ЭМС

Основные требования в части ЭМС изложены в приложении I к Директиве по ЭМС 2014/30/EU «Требования к защите» и «Особые требования к стационарным установкам».

ВЭУ должна быть спроектирована и изготовлена с учетом существующего современного уровня развития техники, для того чтобы гарантировать следующее:

- Генерируемые электромагнитные помехи не превышают уровня, выше которого радио-, телекоммуникационное или любое другое оборудование перестает нормально работать.
- Ожидаемый уровень устойчивости к электромагнитным помехам во время предусмотренного применения ВЭУ позволяет ей функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством.

#### 4.2 Нормативное соответствие ветровой турбины

Подтверждением выполнения обязательных требований директивы по ЭМС являются *результаты измерения окончательных параметров электромагнитного излучения в полевых условиях*.

Измерения *окончательных параметров электромагнитного излучения в полевых условиях* представляют собой комплекс измерений *in situ*, которые проводят на типичной ВЭУ данной модели Mk.

Требования к надежности включают дополнительные испытания на ЭМС, которые связаны с воздействием молнии, описанным в [разделе 3 «Молниезащита», стр. 4](#).



*In situ* — это латинское выражение, которое переводится как «на месте нахождения».

#### 4.3 Рекомендованные нормы проектирования

Для выполнения требований рекомендованных норм проектирования компания Vestas разработала несколько специальных методических указаний по проектированию, предназначенных для установки определенных элементов и деталей на ветровую турбину.

Оценка ЭМС и методов установки системы молниезащиты выполнена и реализована на уровне системы.



## 4.4 Взаимное соответствие компонентов

---

Для обеспечения взаимного соответствия все активные электронные компоненты должны отвечать стандартным требованиям по ЭМС и требованиям к надежности в условиях повышенной грозовой опасности, предъявляемым компанией Vestas.

Для устойчивости к излучаемым и наведенным помехам, все электрические компоненты, установленные в ВЭУ, удовлетворяют требованиям соответствующих стандартов на продукцию или, по крайней мере, требованиям стандарта IEC 61000–6–2. На электронные компоненты, связанные с функциональной безопасностью, распространяется стандарт IEC 61326-3-1.

На электромагнитные помехи в помещениях распространяются требования IEC 61000-6-4 или стандарта на конкретное изделие.

**Ветроэнергетическая установка V126 с мощностью 4,2 МВт****Wind Turbine V126 with a rating of 4,2 MW**

The documents referenced in the table below are applicable for Wind Turbine V126 with a rating of 4,2MW, even if separate ratings are presented inside the document.

Приведенные документы, применимы для ветроэнергетической установки V126 с мощностью 4,2МВт, даже в случае, если в документе упоминаются другие мощности.

| Document Number RU | Document Title RU  | Document Number EN | Document Title EN |
|--------------------|--|--------------------|-------------------|
| 0069-6386 V00      | Система заземления Vestas - заземление между ветровыми турбинами | 0069-6386 V00      |                   |

# Система заземления Vestas — заземление между ветровыми турбинами

| Тип турбины             | Версия Mk     |
|-------------------------|---------------|
| Все CTR компании Vestas | Все версии Mk |

## История документа

| № изменения | Дата       | Описание изменений  |
|-------------|------------|---------------------|
| 08          | 2013-10-07 | Обновление шаблона. |

## Содержание

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Назначение.....</b>                              | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>Справочная документация .....</b>                | <b>2</b> |
| 2.1      | Документы по технике безопасности .....             | 2        |
| 2.2      | Справочные документы .....                          | 2        |
| 2.3      | Внешние стандарты .....                             | 3        |
| <b>3</b> | <b>Инструменты .....</b>                            | <b>3</b> |
| <b>4</b> | <b>Ведомости материалов.....</b>                    | <b>3</b> |
| 4.1      | Материалы, поставляемые компанией Vestas .....      | 3        |
| 4.2      | Другие необходимые материалы .....                  | 4        |
| <b>5</b> | <b>Предварительные условия .....</b>                | <b>4</b> |
| <b>6</b> | <b>Система заземления.....</b>                      | <b>4</b> |
| 6.1      | Установка заземления между ветровыми турбинами..... | 4        |
| <b>7</b> | <b>Инструкции по выполнению работ .....</b>         | <b>5</b> |
| 7.1      | Заземляющий соединительный провод.....              | 5        |
| <b>8</b> | <b>Чертежи .....</b>                                | <b>9</b> |

## 1 Назначение

В этом документе описана процедура устройства заземления между ветровыми турбинами, установленными на стандартные гравитационные фундаменты, фундаменты на скальном грунте с использованием переходных элементов и фундаменты на анкерных каркасах

## 2 Справочная документация

### 2.1 Документы по технике безопасности

| Номер документа | Заголовок  |
|-----------------|--|
| 0000-0496       | Руководство компании Vestas по охране труда                            |
| Нет             | РА для (указать номер документа и заголовок документа по оценке риска) |

Таблица 2-1. Документы по технике безопасности

### 2.2 Справочные документы

| Номер документа | Заголовок   |
|-----------------|---|
| 961637          | Система заземления Vestas — Описание системы заземления для стандартного гравитационного фундамента                             |
| 960451          | Контроль качества заземления между ветровыми турбинами  |
| 0001-4190       | Система заземления Vestas — Описание системы заземления для фундамента на скальном грунте с использованием переходных элементов |
| 0014-6511       | Система заземления Vestas — Описание системы заземления для фундамента на анкерных каркасах                                     |

Таблица 2-2. Справочные документы

## 2.3 Внешние стандарты

| Номер документа | Заголовок  |
|-----------------|--|
| IEC 61400-24    | Первое издание. 2010-06. Турбины ветровые. Часть 24. Молниезащита.   |
| IEC 60364-5-54  | Второе издание 2002-06. Электрические установки зданий. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и провода защитного соединения |
| IEC 61936-1     | Первое издание. 2002-10. Установки электрические напряжением свыше 1 кВ переменного тока. Часть 1. Общие правила. Участвующие стороны  |

Таблица 2-3. Внешние стандарты

## 3 Инструменты

Для выполнения этой задачи не требуется никаких специальных инструментов, используются только подходящие стандартные инструменты.

## 4 Ведомости материалов

### 4.1 Материалы, поставляемые компанией Vestas

Перечисленные ниже материалы поставляются компанией Vestas вместе с каждой секцией фундамента или комплектом заземления.

| Поз. № | Количество | Описание   |
|--------|------------|--|
|        |            | Главная шина заземления  |
|        |            | Болты M10, шайбы M10 и гайки M10 (из нержавеющей стали) для подсоединения заземляющего провода к главной шине заземления внутри каждой ветровой турбины. |

Таблица 4-1. Материалы, поставляемые компанией Vestas



## 4.2 Другие необходимые материалы

| Поз. № | Количество | Описание   |
|--------|------------|--|
|        |            | Неизолированный медный провод сечением 50 мм <sup>2</sup> (AWG 1/0) — многожильный заземляющий провод, сердечник класса 7). Длина заземляющих соединительных проводов подбирается для каждого объекта и зависит от расстояния между фундаментами отдельных турбин и расстояния до подстанции |
|        |            | Кабельные наконечники для многожильных медных проводов сечением 50 мм <sup>2</sup> (AWG 1/0), отверстие Ø10 мм, по одной на каждом конце заземляющего соединительного провода.   |

Таблица 4-2. Другие необходимые материалы

## 5 Предварительные условия

Описание и чертежи, относящиеся к заземлению, устанавливаемому между ветровыми турбинами Vestas на стандартных массивных фундаментах, фундаментах на скальном грунте с использованием переходных элементов и фундаментах на анкерных каркасах.

Заземление между турбинами является лишь одним из элементов комплексной системы заземления Vestas.

Данное описание работ относится к ветровым турбинам как с внутренним, так и с внешним расположением трансформатора и распределительного устройства.

Описание полной системы заземления Vestas приведено в следующих документах в зависимости от типа фундамента ветровой турбины:

Система заземления Vestas соответствует следующим международным стандартам и нормативам:

## 6 Система заземления

Компания Vestas предлагает утвержденную систему заземления для стандартных массивных фундаментов, фундаментов на скальном грунте с использованием переходных элементов и фундаментов на анкерных каркасах трубчатой стальной башни. Проектная документация содержит документы с описанием полной системы заземления Vestas, документы с описанием заземления фундамента для каждой турбины, документы с описанием эквипотенциальных соединений всех кабелей, входящих в ветровую турбину, а также данный документ с описанием заземления между ветровыми турбинами и (или) подстанцией.

### 6.1 Установка заземления между ветровыми турбинами

Установка соединительного провода/заземляющего провода должна выполняться в соответствии с техническими требованиями, приведенными в данном документе, а также содержащимися на чертежах и предъявляемых при контроле качества.

Если трансформатор и (или) распределительное устройство расположены вне ветровой турбины, заземляющий провод должен проходить через шину заземления этого трансформатора и (или) распределительного устройства до ввода в ветровую турбину. Установка соединительного провода между подстанцией и ветровыми турбинами также должна выполняться в соответствии с данным документом и чертежами.

Установка всех элементов заземления между турбинами и подстанцией должна выполняться до установки башни турбины на фундамент.

## **7 Инструкции по выполнению работ**

**ПРИМЕЧАНИЕ** Установка всех элементов заземления между турбинами и подстанцией должна выполняться до установки башни турбины на фундамент.

### **7.1 Заземляющий соединительный провод**

Вдоль каждого соединительного высоковольтного кабеля между всеми отдельными ветровыми турбинами или между ветровой турбиной и подстанцией должен быть проложен неизолированный многожильный медный провод. В данном документе такой провод носит название заземляющего соединительного провода.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Если трансформатор и (или) распределительное устройство расположены вне ветровых турбин, заземляющий провод должен проходить через шину заземления этого трансформатора и (или) распределительного устройства до ввода в ветровую турбину.

Установка соединительного провода между подстанцией и ветровыми турбинами также должна выполняться в соответствии с данным документом и чертежами.

Пример установки заземляющих соединительных проводов показан на приложенных чертежах.

Заземляющий соединительный провод должен быть проложен в траншее вместе высоковольтными кабелями, но располагаться над ними. Расположение заземляющего соединительного провода и высоковольтного кабеля в кабельной траншее показано на приложенных чертежах.

- При планировании прокладки кабелей между турбинами или между турбиной и подстанцией необходимо выкопать кабельную траншею глубиной 1 м для высоковольтных кабелей и заземляющего соединительного провода.
- Уложите высоковольтный кабель на дно траншеи. Засыпьте высоковольтный кабель слоем грунта толщиной 0,1 м.
- Уложите заземляющий соединительный провод и засыпьте слоем грунта толщиной 0,2 м.
- Уложите предупреждающую/маркировочную ленту поверх этого слоя на расстоянии приблизительно 0,7 м от поверхности земли.
- Окончательно засыпать траншею после ввода кабелей в турбину или подстанцию.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Необходимо убедиться, что в вынутом грунте отсутствуют острые камни или гравий, которые могут повредить высоковольтный кабель или заземляющий соединительный провод во время засыпки. Если в грунте присутствуют острые камни или гравий, то необходимо обеспечить, чтобы они отсутствовали в слое грунта под и над кабелями.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Убедитесь, что в одной траншее с высоковольтными кабелями и заземляющим соединительным проводом не уложены сигнальные кабели или кабели связи. В одну траншею с высоковольтными кабелями и заземляющим соединительным проводом допускается укладка только утвержденных для использования компанией Vestas волоконно-оптических кабелей без металлических экранов и других металлических элементов.

Если в проекте ветровой турбины используются сигнальные кабели, кабели управления или связи, содержащие металлические провода, экраны, защиту, ленты и т.д., то существует большой риск повреждения оборудования связи и кабелей в случае укладки таких кабелей вблизи от высоковольтных кабелей и системы заземления. Риск повреждений связан с наличием наведенного напряжения при коротком замыкании на землю или при наличии токов короткого замыкания в высоковольтной системе.

Если требуется использовать кабели связи с металлическими проводами, экранами, защитой, лентами и т. п., то при их укладке параллельно высоковольтным кабелям необходимо рассчитать наведенные перенапряжения в кабелях связи (методика расчета приведена в директивах МСЭ). В большинстве случаев требуются дополнительные меры для уменьшения этого перенапряжения (изменение маршрута прокладки, увеличение расстояния между кабелями и т. п.).

Кабели связи с металлическими проводами, экранами, защитой, лентами и т. п. всегда должны укладываться в отдельной кабельной траншее, удаленной на расстоянии не менее 1 м от траншеи с высоковольтными кабелями, если эти траншеи расположены параллельно друг другу. Если кабель связи пересекает траншею с высоковольтным кабелем и заземляющим соединительным проводом, то расстояние до низковольтного кабеля в точке пересечения должно быть не менее 0,3 м. См. Рис. 8-3, с. 11.

На площадке установки турбины заземляющие соединительные провода должны заводиться в башню турбины к главной шине заземления через пластмассовые трубы, начиная от края фундамента, вместе с высоковольтными кабелями. Если трансформатор и (или) распределительное устройство расположены вне ветровой турбины, заземляющий соединительный провод должен проходить через шину заземления этого трансформатора и (или) распределительного устройства до ввода в ветровую турбину.



*Рис. 7-1. Заземляющий соединительный провод вместе с высоковольтным кабелем, протянутые через пластмассовые трубы внутрь башни*

- Установите кабельные наконечники на каждый заземляющий соединительный провод, входящий в турбину, с помощью прессовых инструментов, которые соответствуют размеру наконечника.



Рис. 7-2. Кабельный наконечник, установленный на заземляющем соединительном проводе

- Подсоедините заземляющий соединительный провод (кабельные наконечники) к главной шине заземления с помощью болтов M10, шайб M10 и гаек M10 из нержавеющей стали.
- Затяните болты моментом 25 Н·м.



Рис. 7-3. Заземляющий провод, подсоединенный к главной шине заземления

#### ПРИМЕЧАНИЕ

Соединение с шиной заземления в корпусе трансформатора и (или) распределительного устройства (при наличии) выполняется так же, как при вводе в турбину, или в соответствии со специальными инструкциями, предоставленными для корпуса трансформатора/распределительного устройства.

- После выполнения описанных выше работ необходимо выполнить окончательную проверку монтажа заземляющего соединительного провода в соответствии с требованиями документа 960451 «Контроль качества заземления между ветровыми турбинами».

## 8 Чертежи

Рис. 8-1 на стр. 9: прокладка заземляющих соединительных проводов (трансформатор и распределительное устройство внутри ветровой турбины).

Рис. 8-2 на стр. 10: прокладка заземляющих соединительных проводов (трансформатор и (или) распределительное устройство снаружи ветровой турбины).

Рис. 8-3 на стр. 11: кабельные траншеи.

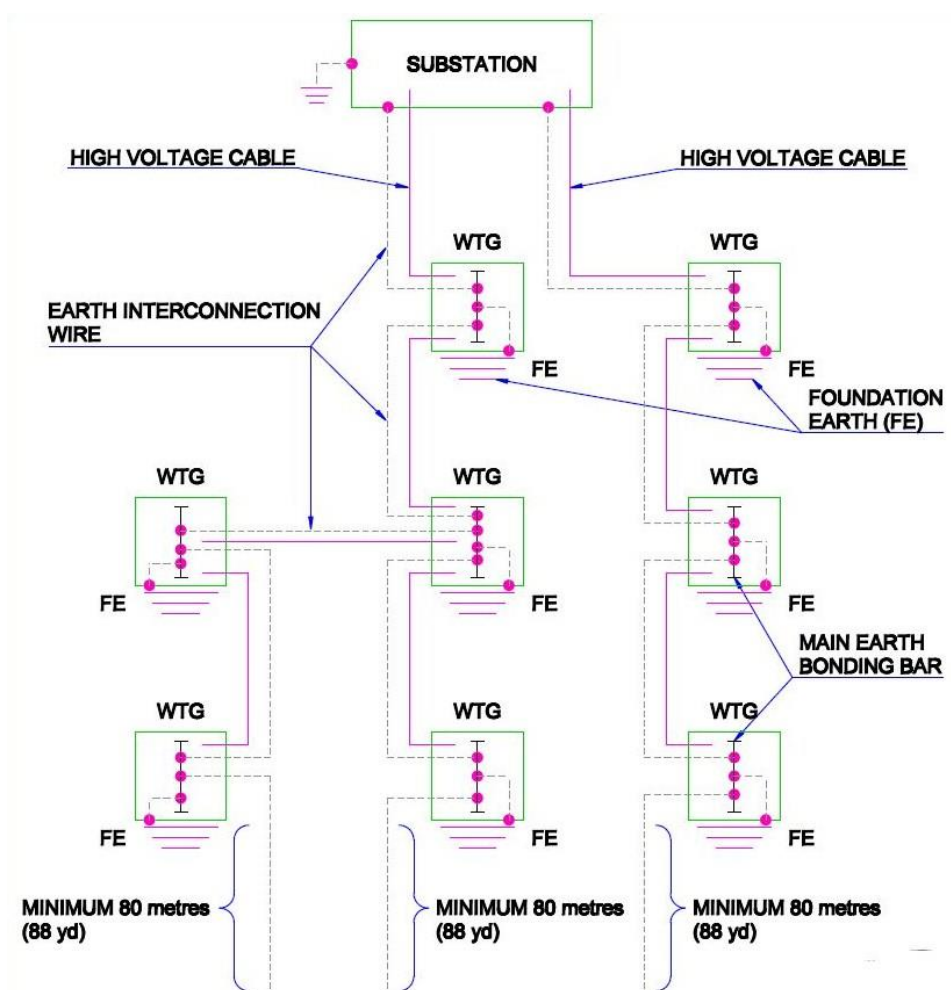


Рис. 8-1. Прокладка заземляющих соединительных проводов (трансформатор и распределительное устройство внутри ветровой турбины) (ЧЕРТЕЖ № 934668)



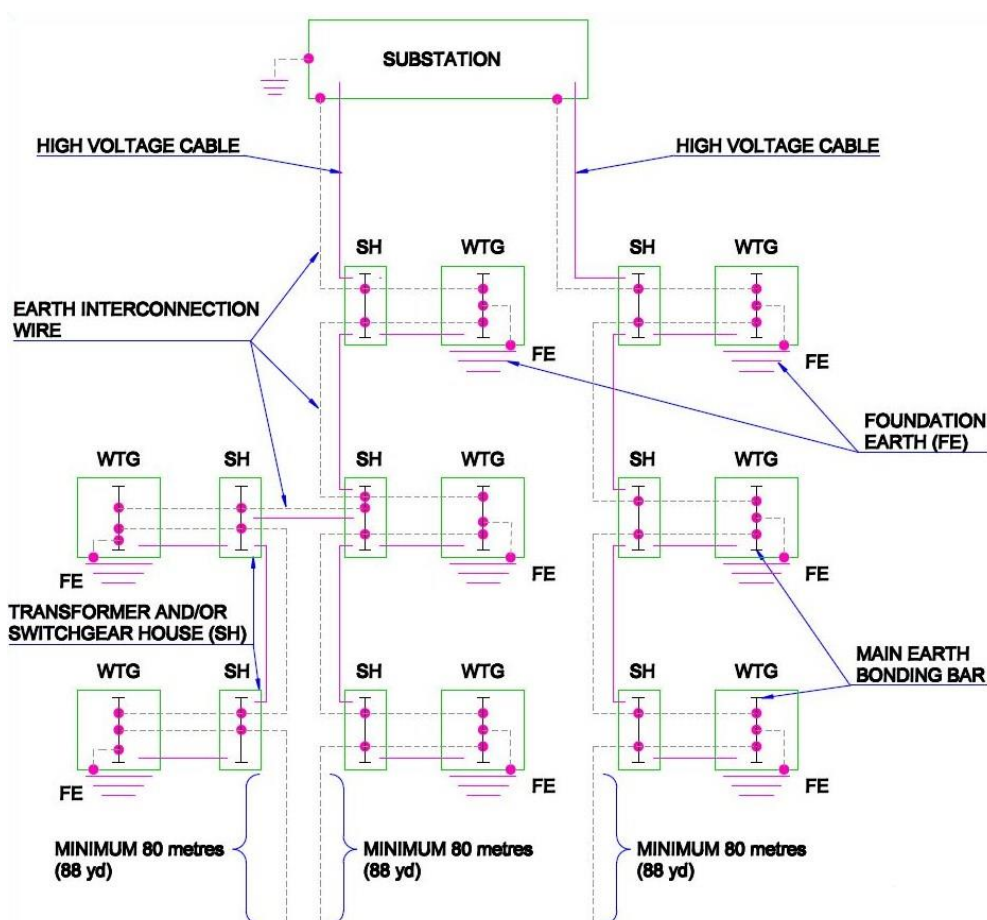


Рис. 8-2. Прокладка заземляющих соединительных проводов (трансформатор и (или) распределительное устройство снаружи ветровой турбины) (ЧЕРТЕЖ № 934671)

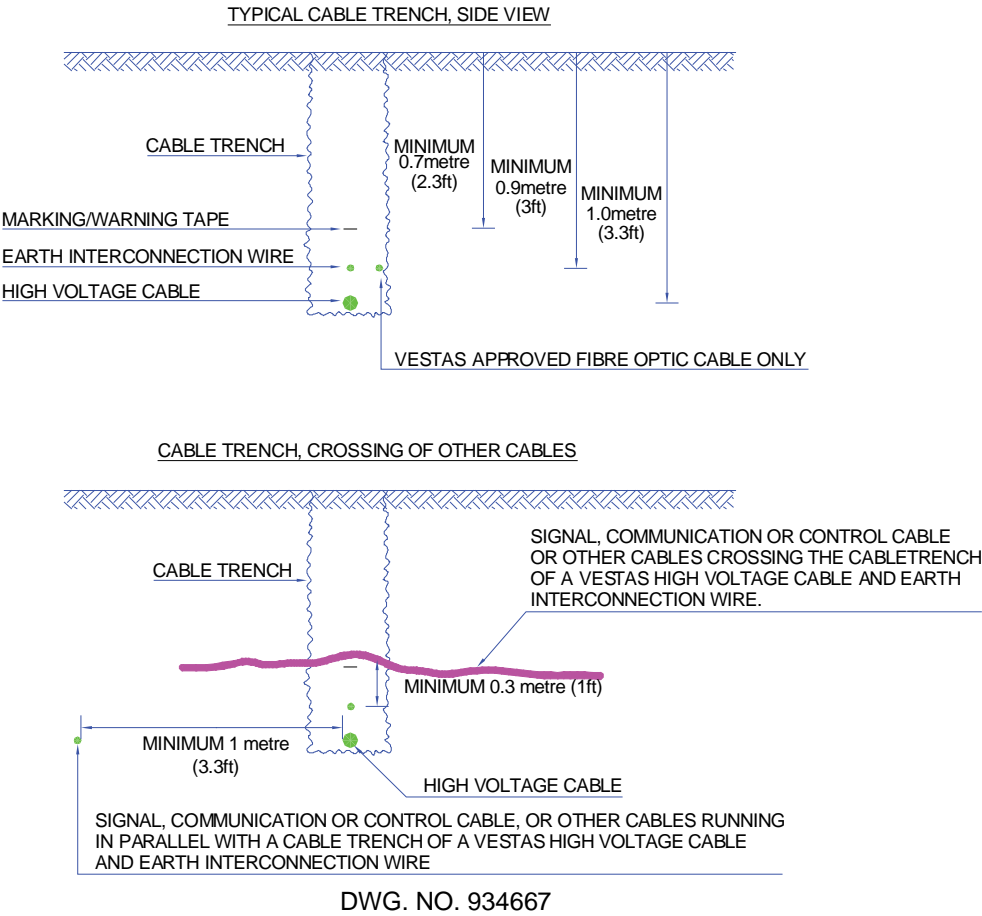


Рис. 8-3. Кабельные траншеи



**Ветроэнергетическая установка V126 с мощностью 4,2 МВт****Wind Turbine V126 with a rating of 4,2 MW**

The documents referenced in the table below are applicable for Wind Turbine V126 with a rating of 4,2MW, even if separate ratings are presented inside the document.

Приведенные документы применимы для ветроэнергетической установки V126 с мощностью 4,2МВт, даже в случае, если в документе упоминаются другие мощности.

| Document Number RU | Document Title RU   | Document Number EN | Document Title EN |
|--------------------|---|--------------------|-------------------|
| 0069-6390<br>V00   | Система заземления Vestas<br>Описание системы<br>заземления для фундамента<br>на анкерном каркасе | 0069-6390<br>V00   |                   |

Class 1  
Document no.: 0069-6390 V00  
30.06.2011

# Система заземления Vestas

Описание системы заземления для фундамента на анкерном каркасе

## Содержание

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Введение .....</b>                               | <b>3</b>  |
| 1.1      | Сопутствующие документы .....                       | 3         |
| 1.2      | Список стандартов IEC .....                         | 4         |
| 1.3      | Основные критерии проектирования и допущения .....  | 4         |
| 1.3.1    | Вопросы молниезащиты .....                          | 4         |
| 1.3.2    | Вопросы высокого напряжения .....                   | 5         |
| <b>2</b> | <b>Главная шина заземления .....</b>                | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Система заземления для молниезащиты .....</b>    | <b>10</b> |
| 3.1      | Ссылки на стандарты IEC .....                       | 10        |
| 3.2      | Описание системы .....                              | 11        |
| 3.3      | Конструкция и устройство .....                      | 12        |
| <b>4</b> | <b>Система заземления низкого напряжения .....</b>  | <b>13</b> |
| 4.1      | Ссылки на стандарты IEC .....                       | 13        |
| 4.2      | Описание системы .....                              | 14        |
| 4.3      | Конструкция и устройство .....                      | 14        |
| 4.4      | Ответственность .....                               | 14        |
| <b>5</b> | <b>Система заземления высокого напряжения .....</b> | <b>14</b> |
| 5.1      | Ссылки на стандарты IEC .....                       | 14        |
| 5.2      | Описание системы .....                              | 14        |
| 5.3      | Конструкция и устройство .....                      | 16        |
| <b>6</b> | <b>Заземление при монтаже турбины .....</b>         | <b>17</b> |

## 1 Введение

Система заземления Vestas состоит из отдельных заземляющих электродов, соединенных между собой в единую систему заземления.

В этом документе описана система заземления и приведена краткая информация, относящаяся к фундаменту на анкерном каркасе.

Система заземления Vestas предназначена как для защитного, так и для функционального заземления.

Система заземления Vestas включает в себя следующие подсистемы:

- высоковольтная система;
- низковольтная система;
- система молниезащиты.
- заземление фундамента;
- заземление между ветровыми турбинами.

С точки зрения молниезащиты ветровых турбин, компания Vestas не предъявляет требований к значению минимального сопротивления растеканию анода этой системы. Заземление системы молниезащиты интегрировано в конструкцию системы заземления Vestas.

Одним из компонентов системы заземления Vestas является главная шина заземления, расположенная в кабельных вводах в ветровую турбину. Все заземляющие электроды подключаются к этой главной шине заземления. Кроме того, для всех кабелей, входящих в ветровую турбину или выходящих из нее, предусмотрены эквипотенциальные соединения.

Требования, изложенные в спецификации на систему заземления Vestas и описании работ, являются минимальными требованиями компании Vestas и стандартов IEC. Для удовлетворения местных и национальных требований могут потребоваться дополнительные мероприятия.

Если по какой-либо причине расстояния между ветровыми турбинами и подстанцией не позволяют использовать двойные соединения, как указано в разделе 1.3.2 Вопросы высокого напряжения, стр. 5, требования, предъявляемые к системе заземления Vestas, считаются не выполненными. В этом случае принципы проектирования и конструирования, изложенные в данном документе, являются недействительными. Компания Vestas не несет никакой ответственности за работоспособность заземления.

Если в систему заземления Vestas необходимо внести какие-либо изменения, следует провести предметные исследования и удостовериться в том, что модифицированная конструкция обеспечивает достаточное защитное, а также функциональное заземление ветровых турбин. Конструкция должна соответствовать требованиям применимых региональных, национальных и проектных требований.

### 1.1 Сопутствующие документы

| Номер документа | Заголовок  |
|-----------------|--|
| 0019-2575       | Система заземления Vestas — Заземление фундамента — Описание работ по устройству заземления фундамента на анкерном каркасе           |
| 0019-2576       | Контроль качества заземления фундамента на анкерном каркасе  |
| 961635          | Заземление между ветровыми турбинами. Описание устройства заземления между ветровыми турбинами.                                      |
| 960451          | Контроль качества заземления между ветровыми турбинами   |
| 961636          | Эквипотенциальные соединения кабелей. Описание устройства эквипотенциальных соединений между кабелями, входящими в ветровую турбину. |

Таблица 1-1. Необходимая документация

## 1.2 Список стандартов IEC

Система заземления Vestas соответствует следующим международным стандартам и нормативам:

- IEC 61400-24. Турбины ветровые. Часть 24. Молниезащита.
- IEC 60364-5-54. Второе издание 2002-06. Электрические установки зданий. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов.
- IEC 61936-1. Первое издание. 2002-10. Установки электрические напряжением свыше 1 кВ переменного тока. Часть 1. Общие правила.

## 1.3 Основные критерии проектирования и допущения

В следующих подразделах описаны критерии проектирования и допущения, используемые компанией Vestas Wind Systems A/S для соответствия требованиям указанных стандартов.

Стандарты предлагают различные варианты в случае необходимости выбора для определения порядка выполнения стандарта.

### 1.3.1 Вопросы молниезащиты

Система заземления системы молниезащиты ветровой турбины разрабатывается на основе «Установки типа В» в соответствии с требованиями IEC 61400-24 Турбины ветровые. Часть 24. Молниезащита, п. 9.4.

В соответствии с этими стандартами система заземления Vestas включает в себя заземляющий электрод фундамента и не менее двух горизонтальных заземляющих электродов (соединительных проводников).

Эти стандарты не предъявляют требований к минимальному сопротивлению растеканию анода в системе заземления с точки зрения

молниезащиты. При условии выполнения указанных выше требований, состояние почвы в районе установки ветровой турбины и ее фундамента можно не принимать во внимание. Важно учитывать только пристройки фундамента и горизонтальные заземляющие электроды.

Меры защиты от поражения персонала электрическим током из-за напряжения прикосновения или шагового напряжения, выбираются в соответствии с IEC 61400-24, п. В.3, и охватывают следующие аспекты.

- Конструкция вертикального молниеотвода ветровой турбины должна обеспечивать сокращение напряжения прикосновения до приемлемого уровня для защиты от поражения электрическим током. В качестве вертикального молниеотвода системы молниезащиты используется вся конструкция башни (естественный вертикальный молниеотвод), которая представляет собой одну большую металлическую раму.
- Выравнивание потенциала конструкций и окружающей земли с помощью замкнутой системы заземления сокращает шаговое напряжение до допустимого уровня для защиты от поражения электрическим током. В данной конструкции это достигается путем соединения всех соединенных между собой частей заземления фундамента (всех стальных стержней фундамента) с заземляющими соединениями между отдельными ветровыми турбинами.

### 1.3.2 Вопросы высокого напряжения

Высоковольтная система заземления для ветровых турбин представляет собой составную систему заземления (общая система заземления) в соответствии с требованиями IEC 61936-1. Первое издание 2002-10. Установки электрические напряжением свыше 1 кВ переменного тока. Часть 1. Общие правила.

Высоковольтная система заземления носит название составной системы, так как все ветровые турбины и подстанции соединены между собой межсоединениями и экраном концентрического кабеля или заземляющим проводом. Они являются частью высоковольтных кабелей, которые также подключаются к ветровым турбинам и подстанциям.

Благодаря использованию двойного подсоединения всех ветровых турбин и подстанции к энергосети, система заземления не зависит от заземления/почвы как контура короткого замыкания в энергосети.

При таком допущении состояние почвы вокруг ветровых турбин и сопротивление растеканию анода системы заземления не имеет значения, так как все токи короткого замыкания непосредственно протекают по проводникам известных размеров и длин.

## 2 Главная шина заземления

Главная шина заземления расположена в основании башни. Все заземляющие проводники напрямую соединены с этой шиной. Кроме того, сразу после кабельных вводов в ветровую турбину всех кабелей или кабельных экранов для них предусмотрены эквипотенциальные соединения.

Эквипотенциальные соединения всех кабелей предназначены для обеспечения четко определенной линии соединения в зоне молниезащиты, которая является основой всей системы молниезащиты ветровых турбин Vestas, разрабатываемой в соответствии со стандартами IEC. Соединения также предназначены для предотвращения образования контуров с большими токами в башне, которые могут вызвать опасные наведенные напряжения в системах турбин.

Главная шина заземления закреплена болтами непосредственно к задней части несущей рамы распределительного устройства, которое смонтировано непосредственно на секции фундамента башни. Главная шина заземления подсоединяется непосредственно к башне и всем другим металлическим частям ветряной турбины двумя медными заземляющими проводами сечением 50 мм<sup>2</sup>.

Размещение главной шины заземления показано на Рис. 2-1, стр. 6. Физические размеры главной шины заземления показаны на Рис. 2-5, стр. 10.

Имеются три варианта распределительного устройства: с двумя, тремя и четырьмя панелями. Монтаж главной шины заземления для этих трех вариантов показан на Рис. 2-2 на стр. 7, Рис. 2-3, стр. 7 и Рис. 2-4 на стр. 8.

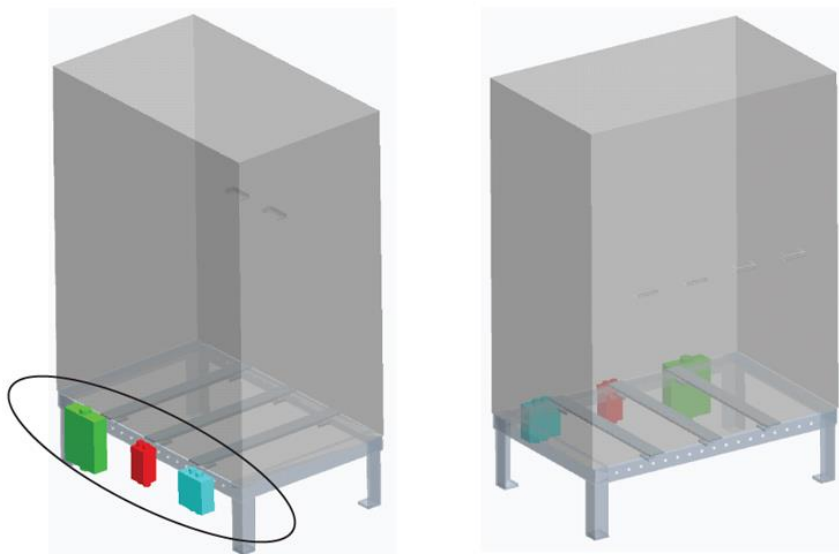


Рис. 2-1. Размещение главной шины заземления в задней части распределительного устройства



*Рис. 2-2. Главная шина заземления смонтирована в задней части несущей рамы; для распределительной аппаратуры с четырьмя панелями*

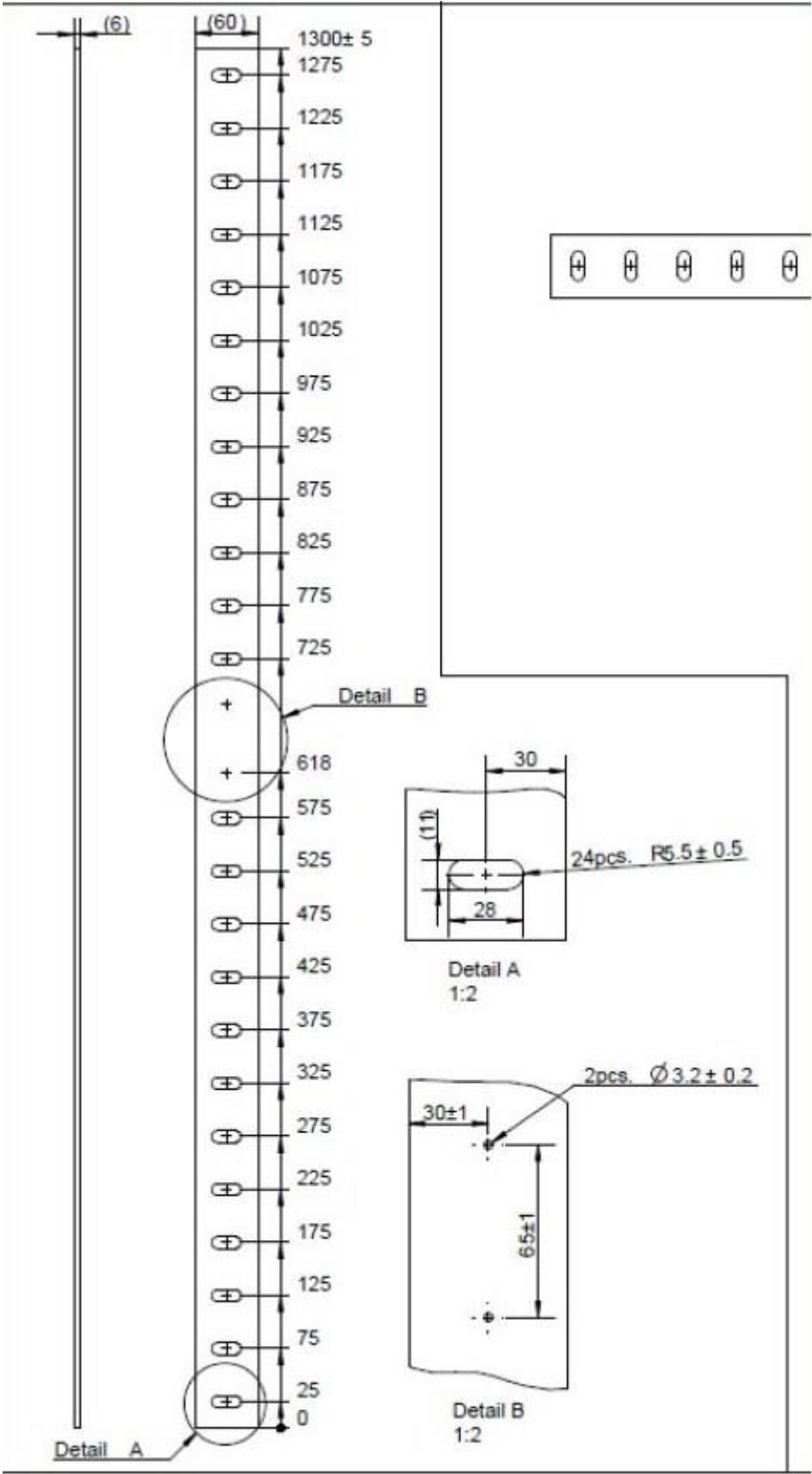


*Рис. 2-3. Главная шина заземления смонтирована в задней части несущей рамы; для распределительной аппаратуры с тремя панелями*





*Рис. 2-4. Главная шина заземления смонтирована в задней части несущей рамы; для распределительной аппаратуры с двумя панелями*



*Рис. 2-5. Физические размеры главной шины заземления*

Кабельные экраны или концентрический заземляющий провод всех высоковольтных кабелей, подведенных к башне, подсоединяются к главной заземляющей шине. Они подключаются непосредственно в точке ввода, за исключением случаев, когда распределительное устройство расположено на цокольном этаже, в месте ввода высоковольтных кабелей.

Волоконно-оптические кабели с металлическими кабельными экранами или другими металлическими элементами также подключаются непосредственно к главной шине заземления в точке ввода.

Все стандартные медные сигнальные, управляющие кабели или кабели связи должны входить в турбину через ограничитель перенапряжения, установленный в эквипотенциальной панели непосредственно на главной шине заземления.

Все низковольтные кабели, подводимые к ветровой турбине (не основные силовые кабели, а кабели питания метеорологических станций, наружного освещения, антенн и т. д.), должны вводиться в турбину через ограничители перенапряжений, установленные в эквипотенциальной панели. В эквипотенциальной панели находятся ограничители перенапряжений, соответствующие силовым кабелям системы входящим в турбину и выходящим из нее. Количество эквипотенциальных панелей зависит от количества кабелей, входящих в турбину.

Подробное описание соединения кабелей и кабельных экранов с главной шиной заземления приведено в документе № 961636: «Эквипотенциальные соединения кабелей системы заземления Vestas».

Утвержденные для применения компанией Vestas волоконно-оптические кабели без металлических элементов разрешается заводить в турбину без подсоединения к главной шине заземления.

### **3 Система заземления для молниезащиты**

#### **3.1 Ссылки на стандарты IEC**

Конструкция системы заземления Vestas основана и соответствует следующих международным стандартам и указаниям по системам заземления для молниезащиты:

- IEC 61400-24. Турбины ветровые. Часть 24. Молниезащита.

Компания Vestas предлагает проверенную систему заземления, предназначенную для фундамента трубчатой стальной башни на анкерном каркасе.

Проектная документация включает в себя следующие части:

- описание заземления фундамента на каждой площадке установки турбины;
- описание заземления между ветровыми турбинами и (или) подстанцией;

- описание эквипотенциальных соединений всех кабелей, входящих в ветровую турбину; а также
- требования к комплектной системе заземления Vestas.

### 3.2 Описание системы

Система молниезащиты, интегрированная в систему заземления Vestas, включает в себя следующие три отдельные подсистемы заземления:

:

- заземление фундамента;
- заземляющие соединительные провода (горизонтальный заземляющий электрод) для одной турбины;
- соединенные между собой заземляющие соединительные провода ветроэлектростанции или энергосети.

Предполагается, что два горизонтальных заземляющих электрода будут проложены в разных направлениях под минимальным углом 90 градусов. Расстояние между турбинами должно составлять не менее 80 метров. Только первые 80 метров заземляющего соединительного провода, проложенного между ветровыми турбинами, действительно обеспечивает заземление высокочастотных токов молнии.

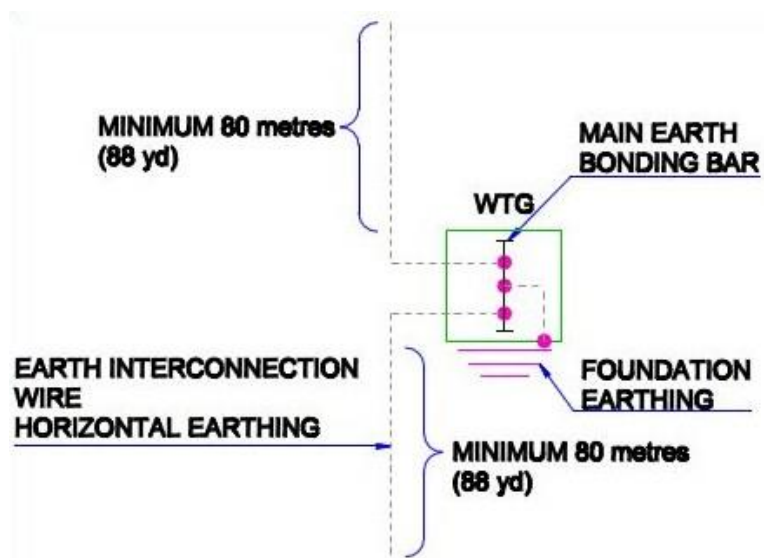


Рис. 3-1. Принципиальная схема системы заземления Vestas. (ЧЕРТЕЖ № 934675)

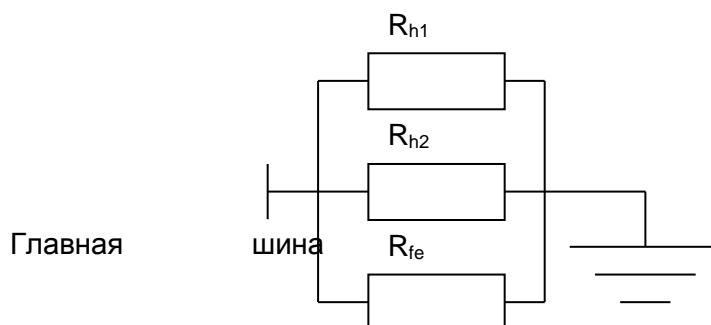


Рис. 3-2. Схема замещения системы заземления Vestas

- $R_{h1}$  Горизонтальное заземление 1.  
 $R_{h2}$  Горизонтальное заземление 2.  
 $R_{fe}$  заземление фундамента;

### 3.3 Конструкция и устройство

Система заземления Vestas рассчитана как «Установка типа В» на основе заземления фундамента, дополненного как минимум двумя горизонтальными заземляющими электродами. Длина каждого из которых не менее 80 метров. В связи с этим, стандарты не регламентируют минимальное сопротивление растеканию анода такой системы заземления, так как в ней предусматривается молниезащита. Иногда, по ряду иных причин, национальными требованиями предусматривается минимальное сопротивление растеканию анода. Этот вопрос описан ниже.

Проводники системы представляют собой оголенные многожильные медные провода сечением 50 мм<sup>2</sup> (AWG 1/0) и стержни арматуры бетонного фундамента. Все соединения в системе продублированы.

Все части системы заземления имеют равный гальванический потенциал. Это предотвращает электрохимическую коррозию в системе заземления при условии, что в системе используются только элементы, указанные компанией Vestas в описаниях работ.

Снаружи фундамента турбины к системе можно подсоединить дополнительные заземляющие электроды, но для предотвращения коррозии, эти дополнительные заземляющие электроды или проводники должны быть из меди и (или) из нержавеющей стали.

Многожильные медные провода сечением 50 мм<sup>2</sup> (AWG 1/0) в бетонном фундаменте со стальной арматурой соединены с помощью клемм для обеспечения надежного соединения медных заземляющих проводов и пересекающихся стальных балок арматуры через 5 метров по длине заземляющего провода. Медные заземляющие провода также подсоединяются ко всем пересекающимся стальными стержням арматуры с помощью стальных проволоочных стяжек.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

В следующих документах приведено описание заземления фундамента каждой ветровой турбины:

|           |   |
|-----------|---|
| 0019-2575 | Система заземления Vestas — Описание работ по устройству заземления фундамента на анкерном каркасе. |
| 0019-2576 | Контроль качества заземления фундамента на анкерном каркасе.  |

**ПРИМЕЧАНИЕ**

В следующих документах приведено описание заземления между ветровыми турбинами:

|        |  |
|--------|--|
| 961635 | Система заземления Vestas — Заземление между ветровыми турбинами: описание работ по устройству заземления между ветровыми турбинами. |
| 960451 | Контроль качества заземления между ветровыми турбинами.  |

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Подробное описание эквипотенциальных соединений кабелей, входящих в ветровую турбину, приведено в документе № 961636 «Эквипотенциальные соединения кабелей системы заземления Vestas».

Указанные описания также содержат минимальные требования к осмотру во время и после установки.

Все заземляющие соединения и вертикальные молниеотводы подсоединяются к главной шине заземления в основании башни. Все входящие кабели (кабельные экраны) также соединены с главной шиной заземления.

Все металлические части, находящиеся внутри ветровой турбины и в непосредственной близости от нее, соединяются между собой и подсоединяются к системе заземления фундамента. В результате потенциалы всех частей и окружающей турбину почвы будут равны при протекании токов в системе заземления. При равенстве потенциалов (напряжений) всех металлических частей и окружающей почвы не возникает недопустимых потенциала (напряжения) прикосновения или шагового потенциала.

## 4 Система заземления низкого напряжения

### 4.1 Ссылки на стандарты IEC

Конструкция системы заземления Vestas основана и соответствует следующим международным стандартам и указаниям по системам заземления для молниезащиты:

- IEC 60364-5-54. Второе издание 2002-06. Электрические установки зданий. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования.

Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов.

## **4.2 Описание системы**

Система заземления системы низкого напряжения Vestas ветровой турбины аналогична описанной в разделе 3.2 Описание системы на стр. 11.

## **4.3 Конструкция и устройство**

Конструкция и устройство системы заземления Vestas низковольтной системы в месте монтажа ветровой турбины аналогичны описанным в разделе 3.3 Конструкция и устройство на стр. 12.

## **4.4 Ответственность**

Компания Vestas не обязана проверять и утверждать конструкции систем заземления, не соответствующие требованиям для систем заземления Vestas. Таким образом, компания Vestas не несет никакой ответственности за конструкции систем заземления, не соответствующих требованиям для систем заземления Vestas.

# **5 Система заземления высокого напряжения**

## **5.1 Ссылки на стандарты IEC**

Конструкция системы заземления Vestas основана и соответствует следующим международным стандартам и указаниям по системам заземления для молниезащиты:

- IEC 61936-1. Первое издание. 2002-10. Установки электрические напряжением свыше 1 кВ переменного тока. Часть 1. Общие правила.

## **5.2 Описание системы**

Система заземления Vestas высоковольтных систем всех ветровых турбин аналогична описанной в разделе 3.2 Описание системы на стр. 11. Все ветровые турбины и подстанция также соединяются заземляющим соединительным проводом, как показано на Рис. 5-1 на стр. 15 и Рис. 5-2 на стр. 16.

Этот заземляющий соединительный провод является как частью системы заземления, так и частью системы молниезащиты высоковольтных кабелей. Эти кабели проходят между всеми ветровыми турбинами, а также между ветровыми турбинами и подстанциями.

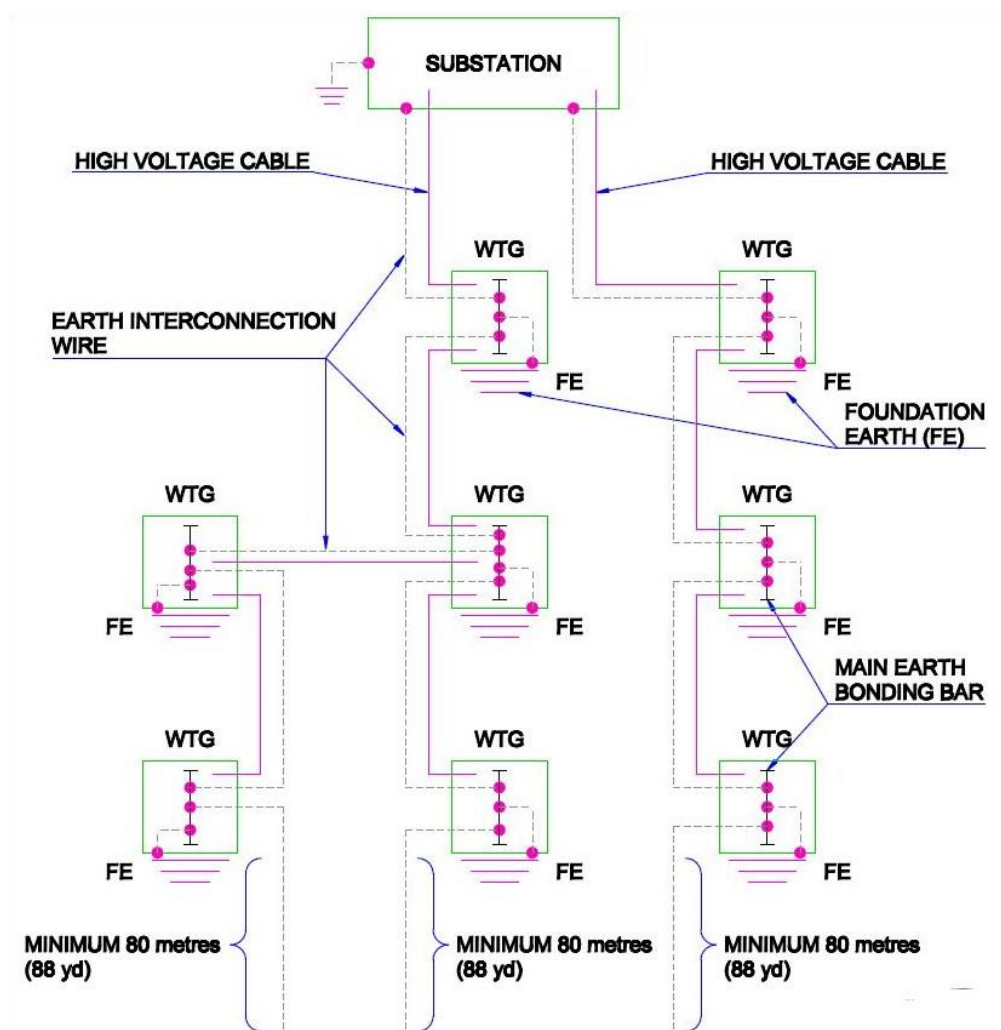


Рис. 5-1. Схема системы заземления сети (трансформатор и распределительное устройство в каждой ветровой турбине). (ЧЕРТЕЖ № 934668)



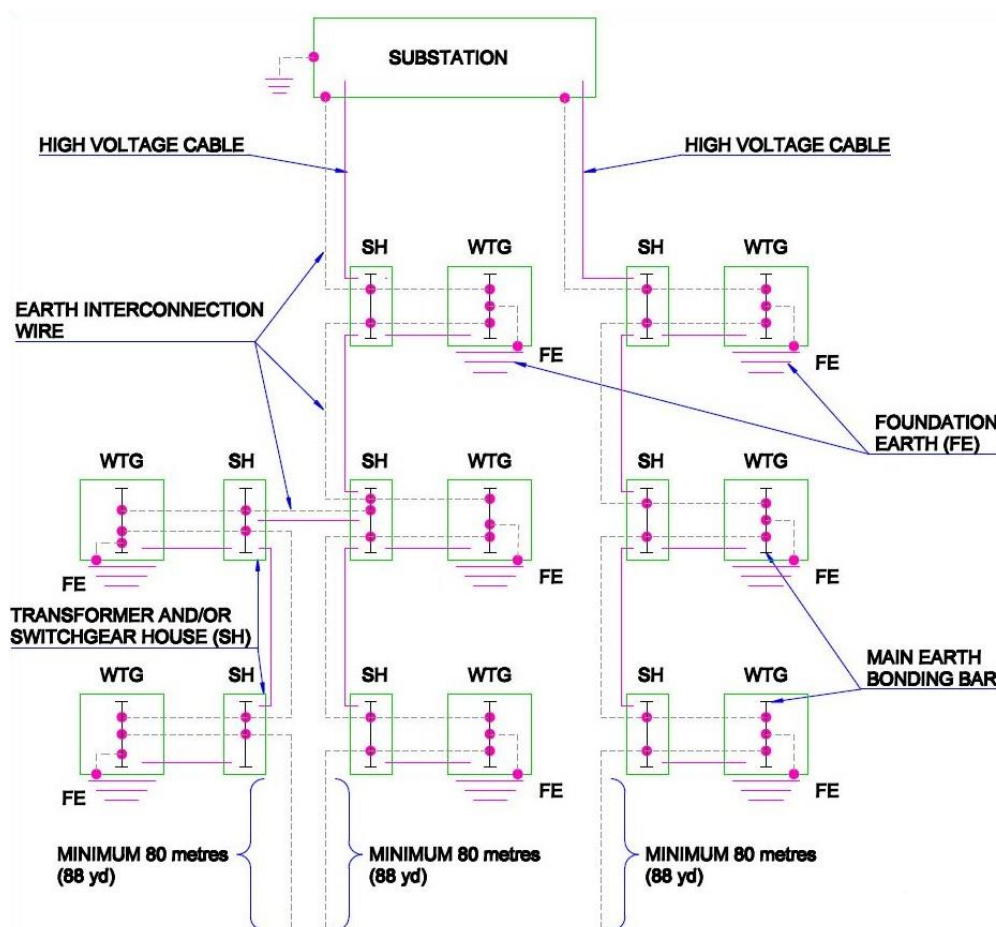


Рис. 5-2. Схема системы заземления сети (трансформатор и распределительное устройство вне ветровой турбины). (ЧЕРТЕЖ № 934671)

### 5.3 Конструкция и устройство

Конструкция и устройство системы заземления Vestas высоковольтной системы в месте монтажа ветровой турбины аналогичны описанным в разделе 3.3 Конструкция и устройство на стр. 12. Кроме того, в системе используется оголенный многожильный соединительный провод сечением 50 мм<sup>2</sup> (AWG 1/0) для соединения между собой ветровых турбин и, по возможности, подстанций.

По результатам расчета тока замыкания на землю могут потребоваться дополнительные меры по уменьшению шагового напряжения и напряжения прикосновения вокруг башни и (или) в распределительной/трансформаторной подстанции. Дополнительные заземляющие электроды могут подсоединяться к системе заземления Vestas снаружи фундамента для уменьшения напряжения прикосновения и шагового напряжения. Во избежание образования коррозии допускается использовать дополнительные заземляющие электроды только из меди и (или) нержавеющей стали.

## **6           Заземление при монтаже турбины**

Сразу же после подсоединения заземляющих проводов фундамента к главной заземляющей шине, заземление фундамента может использоваться в качестве временного заземления во время монтажа турбины. Заземление осуществляется путем подсоединения к главной шине заземления.

Эта процедура применяется при работе с любыми частями ветровой турбины: лопастями, ротором, гондолой, башней и др., для предотвращения воздействия статического разряда при монтаже различных частей ветровой турбины.

Заземление фундамента может также использоваться как временное заземление переносной генераторной установки.