

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение комплекса складских помещений

Обучающийся

Р.А. Свистунов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Название бакалаврской работы: «Электроснабжение комплекса складских помещений».

Выпускная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, таблиц, списка литературы, включая зарубежные источники, и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной работы является разработка системы электроснабжения комплекса складских помещений, включающих в себя административно бытовые помещения, зону хранения, зону погрузочно-разгрузочных работ. Вся система разбита на четыре зоны: первый, второй, третий этаж административно бытовых помещений и зона хранения. Выбрано силовое электрооборудование и освещение, определена длина электрических линий, марка и сечение проводов, защитная аппаратура и узел коммерческого учета расхода электроэнергии.

Целью бакалаврской работы является разработка энергоэффективной системы электроснабжения комплекса складских помещений.

Выпускная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: введение, обоснование целей и задач проекта; анализ требований, предъявляемых к помещениям склада по категории электроснабжения, освещению, отоплению и вентиляции; выбор схемы электроснабжения; расчет электрических нагрузок и трансформаторного пункта; выбор электрооборудования и его проверка на электродинамическую стойкость; разработка мероприятий по обеспечению электробезопасности объекта и его защиты от молний.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна не только для данного объекта, но и других предприятий и организаций, у которых есть склады и административно-бытовые помещения.

## Содержание

Введение.....	4
1 Обоснование целей, задач и объема реконструкции.....	7
1.1 Общие сведения об объекте .....	7
1.2 Формирование требований к системе электроснабжения складского помещения .....	7
2 Расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения комплекса складских помещений.....	13
2.1 Расчет электрических нагрузок .....	13
2.2 Расчет системы освещения.....	18
2.3 Расчет трансформаторного пункта.....	22
2.5 Обоснование схемы электроснабжения.....	26
2.6 Расчет и выбор электрооборудования.....	27
3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда .....	35
3.1 Безопасность жизнедеятельности на трансформаторном пункте.....	35
3.2 Электробезопасность в помещении склада .....	36
3.3 Заземление .....	37
3.4 Молниезащита .....	42
3.5 Система уравнивания потенциалов.....	42
Заключение .....	45
Список используемых источников.....	47

## Введение

Энергетика занимает очень важное место в мировой экономике и жизни населения. Непрерывный рост энергопотребления в целом и электрической энергии в частности, выводит на глобальный уровень проблему энергетического кризиса. Его предпосылками являются истощение природных ресурсов, являющихся традиционным сырьем для выработки энергии, медленное развитие и внедрение альтернативных (возобновляемых) источников энергии – энергии солнца, воды, ветра. Важное значение придается освоению термоядерного синтеза. И если сейчас это относится в большей степени к перспективным опытным разработкам, то лет через двести это будет вопрос выживания человечества. Таким образом перед мировой энергетикой сформировались три проблемы, от решения которых зависит будущее мировой экономики:

- так называемый «энергетический голод». Проблема заключается в дефиците энергии по приемлемым ценам;
- проблема под названием «экологический инфаркт», охватывающая весь спектр негативного влияния добывающей и энергетической отраслей на окружающую среду;
- геополитические и социальные вызовы.

В энергетике России происходят схожие процессы, как и во всем мире. Крупные мегаполисы и промышленные конгломераты испытывают дефицит поставок электроэнергии, из-за чего происходит ее ограничение. Для решения данной проблемы энергетическими компаниями ведется поиск конструктивных решений и технологий, позволяющих существенно снизить энергопотребление этих объектов и одновременно с этим обеспечить высокие требования к уровню их надежности.

В настоящее время перед электроэнергетикой стоят следующие актуальные проблемы:

- изменение структуры генерирующих мощностей;

- реконструкция и модернизация технических устройств действующих электростанций;
- исследование энергетических и технологических возможностей альтернативных источников энергии;
- модернизация технологии режимного управления энергосетями;
- управление потоками реактивной энергии;
- решение проблемы физического и морального старения сетевого электрооборудования и ее влияние на надежность электросетей.

При проектировании системы электроснабжения (СЭ) необходимо учитывать специфику склада, тип складываемых товаров, необходимость или возможность применения технологического оборудования. Как и другие промышленные объекты складу могут присвоить все три категории электроснабжения. Большое значение имеет пожарная безопасность. Типовая схема СЭ склада предполагает питание от централизованной сети. Если на складе размещено холодильное оборудование, то необходим второй канал подачи электроэнергии или предусмотреть автономный генератор электроэнергии.

Согласно правил устройства электрооборудования (ПУЭ) к системам электроснабжения склада предъявляются следующие правила:

- все электроприемники, расположенные в комплексе складских помещений должны отключаться одним аппаратом, расположенным за его пределами;
- осветительная арматура, вводно-распределительные устройства, силовые распределительные щиты должны быть недоступны для лиц, не имеющих допуска и соответствующей квалификации;
- светильники должны иметь светопропускаемые негорючие рассеиватели;
- розетки и осветительные приборы должны располагаться на расстоянии не менее 50 см. от хранящихся товаров;

- не допускается на складе легковоспламеняющихся материалов проводить кабельные линии и провода через зоны с хранящимся материалом.

Целью бакалаврской работы является проектирование системы надежного электроснабжения комплекса складских помещений.

Проектируемый склад относится к третьей категории надежности электроснабжения. Должна быть предусмотрена возможность легкой доработки системы под более высокую степень бесперебойности питания. Основные критерии СЭ склада должны быть рассчитаны по суммарной мощности предполагаемых потребителей электроэнергии. Для питания аварийного освещения, пожарной и охранной сигнализаций предусматривается источник бесперебойного электроснабжения. Система учета электроэнергии – двухтарифная. В бытовых помещениях необходимо предусмотреть систему уравнивания потенциалов.

## **1 Обоснование целей, задач и объема реконструкции**

### **1.1 Общие сведения об объекте**

Комплекс складских помещений включает в себя:

- непосредственно зону хранения, одноэтажную, размером  $48 \times 18$  м, расстояние от пола до потолка десять метров;

- к зоне хранения примыкают административно-бытовые помещения, расположенные на трех этажах. Размер каждого этажа  $9,16 \times 18$  м.

Таким образом площадь зоны хранения  $864 \text{ м}^2$ , площадь АБП  $164,88 \text{ м}^2$ . Габаритный размер склада  $60 \times 18$  м.

По длинной стороне зоны хранения уложены рельсовые пути для перемещения кран-балки, грузоподъемностью 5 тонн. Для заезда автотранспорта на противоположных сторонах зоны хранения располагаются ворота, закрываемые ролл-ставнями. Центральный вход для персонала склада и его посетителей расположен на первом этаже АБП. План расположения помещений складского комплекса показан в графической части проекта.

### **1.2 Формирование требований к системе электроснабжения складского помещения**

Требования, предъявляемые к СЭ склада ПУЭ приведены во введении к данной работе.

СЭ склада TN-C-S (см. рисунок 1). Достоинством данного типа системы заземления считается более высокий уровень электробезопасности по сравнению с TN-C, но материальные затраты на ее внедрение меньше, по сравнению с системой TN-S. Главным отличительным признаком заземления типа TN-C-S заключается в подаче электричества с применением комбинированного «PEN» (PE – защитный ноль, N – рабочий ноль), который

соединен с глухозаземленной нейтралью. Таким образом комплекс складских помещений связан с трансформаторным пунктом четырехжильным проводом СИП-2 по которому подается 380В 50 Гц. Сечение провода будет определено далее расчетом.

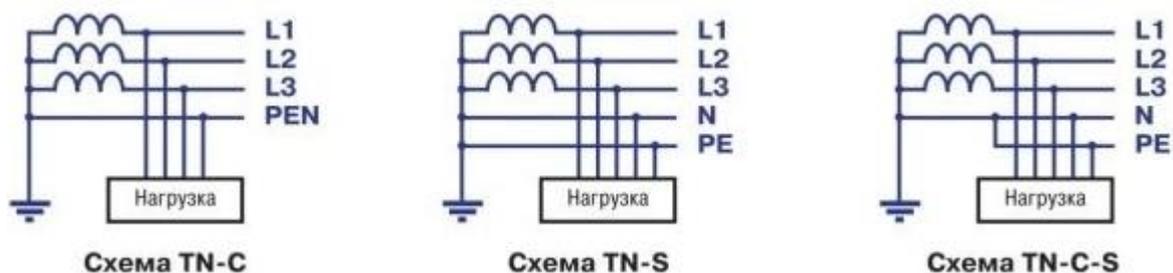


Рисунок 1 – Сравнение систем заземления TN-C-S, TN-C и TN-S

Требования к электромонтажу электрооборудования склада.

Монтаж электрооборудования и прокладка электропроводки выполняется в соответствии с инструкцией, прилагаемой к электрооборудованию (руководству по монтажу) [33].

Прокладка электропроводки должна быть выполнена скрыто в стальных трубах или электрического лотка согласно плана.

Все ответвления электропроводки выполнить в клеммных коробках.

Все металлические части светильников, нормально не находящиеся под напряжением, необходимо заземлить. Для заземления используют третьи жилы электропроводки.

Высота установки электрооборудования от уровня чистого пола:

- до низа щитов - 1,6 м;
- до выключателей - 1,5 м;
- до розеток - 1,5 м, также согласовать с высотой подключаемого оборудования [34].

После прокладки кабельной продукции необходимо произвести заделку конструктивных элементов (покрытие, несущие конструкции кровли, перекрытия, стены).

Требования к электромонтажу системы освещения склада.

Выключатели аварийного освещения должны иметь световой индикатор.

Высота установки выключателей на атм. +1,500 от чистого пола.

Прокладку кабеля аварийного освещения и рабочего в лотке выполнить через разделительную перегородку. В других местах прокладка каждой группы осуществляется отдельно в стальной водогазопроводной трубе  $d_y=20$ мм на скобах согласно плана освещения.

Над каждым выходом из помещений повесить светильники с указанием выход. Также над каждым входом в здание повесить светильники. Управление осуществляется от выключателей.

Светильники аварийного освещения должны быть установлены горизонтально на колоннах на атм. +4.000 спуски кабеля с лотка производить в стальной трубе.

Выводы.

Применение системы заземления TN-C-S позволит снизить затраты на покупные материалы, при этом обеспечивая высокий уровень электробезопасности. Руководство изложенным выше требованиям по электромонтажу позволит создать надежную систему электроснабжения комплекса складских помещений.

## 2 Расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения комплекса складских помещений

### 2.1 Расчет электрических нагрузок

Электрические нагрузки комплекса складских помещений сведены в таблицу 1. Расчет электрических нагрузок выполнен по РТН.36.18.32.4 – 92 [1], [3]. Средняя активная  $P_C$  и реактивная  $Q_C$  сменная нагрузка:

$$P_C = K_{И} \cdot P_{Н}, \quad (1)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{Н} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где  $K_{И}$  – коэффициент использования оборудования [6], [8].

Для первой строки таблицы 3 (технологическое оборудование – вентиляция 1) [12] средняя сменная нагрузка:

$$P_C = 0,8 \cdot 2,3 = 1,84 \text{ кВт},$$

$$Q_C = 0,8 \cdot 2,3 \cdot 0,88 = 1,62 \text{ квар}.$$

Результаты расчета по остальным нагрузкам сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Электрические нагрузки складского комплекса

Название электроприемника	$P_{Н}$ , кВт	$K_{И}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , квар
АБП 1 этаж						
Технологическое оборудование (вентиляция 1)	2,3	0,8	0,75	0,88	1,84	1,63
Технологическое оборудование (преобразователь напряжения)	1,75	0,95	0,95	0,33	1,66	0,55
Технологическое оборудование (вентиляция 2)	1,6	0,8	0,75	0,88	1,28	1,13

Продолжение таблицы 1

Розеточная группа компьютеров	0,95	0,4	0,7	1,02	0,38	0,39
Бытовые розетки	1,56	0,2	0,9	0,48	0,31	0,15
Освещение	1,2	0,98	0,7	1,02	1,18	1,19
Котел обогрева	1,5	0,5	0,98	0,2	0,75	0,15
Бойлер	5,0	0,5	0,98	0,2	2,5	0,5
Итого по АБП 1 этажа	15,86	0,624	0,498	0,574	5,12	2,38
АБП 2 этаж						
Розеточная группа компьютеров	1,85	0,4	0,7	1,02	0,74	0,75
Бытовые розетки	1,1	0,2	0,9	0,48	0,22	0,11
Освещение	1,44	0,98	0,95	0,33	1,41	0,47
Кондиционер	4,5	0,78	0,8	0,75	3,51	2,63
Технологическое оборудование	9,67	0,8	0,85	0,62	7,74	4,79
Итого по АБП 2 этажа	18,56	0,733	0,54	0,642	13,62	8,75
АБП 3 этаж						
Розеточная группа компьютеров	2,8	0,4	0,7	1,02	1,12	1,13
Бытовые розетки	1,3	0,2	0,9	0,48	0,26	0,12
Освещение	1,8	0,98	0,95	0,33	1,76	0,58
Кондиционер	2,93	0,78	0,8	0,75	2,28	1,71
Технологическое оборудование	6,36	0,8	0,85	0,62	5,09	3,15
Итого по АБП 3 этажа	15,91	0,66	0,537	0,636	10,51	6,69
Помещение склада						
Освещение	3,3	0,98	0,95	0,33	3,23	1,07
Технологическое оборудование	19,32	0,8	0,85	0,62	15,46	9,58
Розеточная группа	8,4	0,2	0,9	0,48	1,68	0,81
Щит пожарной безопасности	1,0	0,9	0,9	0,48	0,9	0,43
Щит слаботочных сетей	1,0	0,9	0,85	0,62	0,9	0,56
Лебедка	5,5	0,1	0,85	0,62	0,55	0,34
Вентиляция	4,5	0,8	0,75	0,88	3,6	3,17
Наружное освещение	5,0	0,5	0,85	0,62	2,5	1,55
Кран	18,275	0,2	0,85	0,62	3,66	2,26
Ролворота	0,74	0,2	0,65	1,17	0,15	0,17
Аварийное освещение	0,199	0,1	0,95	0,33	0,02	0,01
Итого по помещению склада	68,91	0,474	0,521	0,611	32,65	19,95
Итого всего по объекту	117,56	0,567	0,525	0,616	66,68	41,08

Дальнейший расчет [3], [5], [27]:

- по таблицам [4] находится расчетный коэффициент  $K_p = f(K_{И}; n_{Э})$ ;
- по формулам (3), (4) и (5) определяются  $P_p$  и  $Q_p$  нагрузки;
- по формуле (6) [34] определяется расчетная полная  $S_p$  нагрузка.

$$P_p = K_p \cdot P_c, \quad (3)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c \text{ при } n_{\text{э}} \leq 10, \quad (4)$$

$$Q_p = Q_c \text{ при } n_{\text{э}} > 10, \quad (5)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

После суммирования, дальнейший расчет ведется по обобщенным значениям.  $K_u$  и  $\text{tg } \varphi$  по формулам (7) и (8):

$$K_u = \frac{\sum P_c}{\sum P_H}, \quad (7)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c}. \quad (8)$$

Суммарная полная мощность:

$$\sum S_p = \sqrt{\sum P_p^2 + \sum Q_p^2}. \quad (9)$$

Суммарный ток:

$$I_{\Sigma} = \frac{\sum S_p}{\sqrt{3} U_n}, \text{ А}, \quad (10)$$

Для примера выполним расчет первой строки таблицы 2 (технологическое оборудование – вентиляция 1):

$$P_p = 1,14 \cdot 1,84 = 2,09 \text{ Вт},$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 1,63 = 1,79 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{2,09^2 + 1,79^2} = 2,75 \text{ кВА},$$

$$I = \frac{2750}{\sqrt{3} \cdot 220} = 7,21 \text{ А}.$$

Результаты расчетов по складскому комплексу сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета нагрузок складского комплекса

Название электроприемника	$\sum P_n$ , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_c$ , кВт	$Q_c$ , квар	$K_p$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , кА
АБП 1 этаж											
Технологическое оборудование (вентиляция 1)	2,3	0,8	0,75	0,88	1,84	1,63	1,14	2,09	1,79	2,75	7,21
Технологическое оборудование (преобразователь напряжения)	1,75	0,95	0,95	0,33	1,66	0,55	1,05	1,74	0,61	1,85	4,84
Технологическое оборудование (вентиляция 2)	1,6	0,8	0,75	0,88	1,28	1,13	1,14	1,46	1,24	1,92	5,03
Розеточная группа компьютеров	0,95	0,4	0,7	1,02	0,38	0,39	1,43	0,54	0,43	0,69	1,82
Бытовые розетки	1,56	0,2	0,9	0,48	0,31	0,15	1,84	0,57	0,16	0,59	1,56
Освещение	1,2	0,98	0,7	1,02	1,18	1,19	1,03	1,22	1,31	1,78	4,69
Котел обогрева	1,5	0,5	0,98	0,2	0,75	0,15	1,65	1,24	0,16	1,25	3,27
Бойлер	5,0	0,5	0,98	0,2	2,5	0,5	1,55	3,87	0,55	3,91	10,26
Итого по АБП 1 этажа	15,8	0,62	0,49	0,57	9,9	5,69	1,28	12,73	6,25	14,1	37,221
АБП 2 этаж											
Розеточная группа компьютеров	1,85	0,4	0,7	1,02	0,74	0,75	1,43	1,06	0,83	1,34	3,52
Бытовые розетки	1,1	0,2	0,9	0,48	0,22	0,11	1,84	0,40	0,12	0,42	1,109
Освещение	1,44	0,98	0,95	0,33	1,41	0,47	1,03	1,45	0,51	1,54	4,046
Кондиционер	4,5	0,78	0,8	0,75	3,51	2,63	1,16	4,07	2,89	4,99	13,109

Продолжение таблицы 2

Технологическое оборудование	9,67	0,8	0,85	0,62	7,74	4,79	1,14	8,82	5,26	10,2	26,973
Итого по АБП 2 этажа	18,56	0,73	0,54	0,64	13,6	4,79	1,16	15,8	5,26	21,1	55,464
АБП 3 этаж											
Розеточная группа компьютеров	2,8	0,4	0,7	1,02	1,12	1,13	1,43	1,60	1,24	2,02	5,321
Бытовые розетки	1,3	0,2	0,9	0,48	0,26	0,12	1,84	0,47	0,13	0,49	1,302
Освещение	1,8	0,98	0,95	0,33	1,76	0,58	1,03	1,81	0,63	1,92	5,044
Кондиционер	2,93	0,78	0,8	0,75	2,28	1,71	1,16	2,64	1,88	3,24	8,518
Технологическое оборудование	6,36	0,8	0,85	0,62	5,09	3,15	1,14	5,80	3,46	6,75	17,738
Итого по АБП 3 этажа	15,91	0,66	0,53	0,63	10,5 <sub>1</sub>	6,69	1,17	12,3 <sub>2</sub>	7,34	14,3	37,784
Помещение склада											
Технологическое оборудование	19,32	0,8	0,85	0,62	15,4	9,58	1,14	17,6	9,58	20,0	52,648
Освещение	3,3	0,98	0,9	0,33	3,23	1,07	1,03	3,326	1,07	3,49	9,17
Технологическое оборудование	19,32	0,8	0,8	0,62	15,4	9,58	1,14	17,62	9,58	20,1	52,651
Розеточная группа	8,4	0,2	0,9	0,48	1,68	0,81	1,84	3,091	0,81	3,19	8,384
Щит пожарной безопасности	1,0	0,9	0,9	0,48	0,9	0,43	1,07	0,963	0,473	1,07	2,815
Щит слаботочных сетей	1,0	0,9	0,8	0,62	0,9	0,56	1,07	0,963	0,616	1,14	3,0
Лебедка	5,5	0,1	0,8	0,62	0,55	0,34	1,1	0,605	0,374	0,71	1,867
Вентиляция	4,5	0,8	0,7	0,88	3,6	3,17	1,14	4,104	3,487	5,38	14,134
Наружное освещение	5,0	0,5	0,8	0,62	2,5	1,55	1,4	3,5	1,705	3,89	10,218
Кран	18,27	0,2	0,8	0,62	3,66	2,26	3,22	11,78	2,486	12,0	31,612
Роллворота	0,74	0,2	0,6	1,17	0,15	0,17	2,64	0,396	0,187	0,43	1,149

## Продолжение таблицы 2

Аварийное освещение	0,199	0,1	0,9	0,33	0,02	0,01	2,72	0,054	0,011	0,05	0,145
Итого по помещению склада	68,91	0,47	0,5	0,61	0,02	0,01	1,42	0,054	0,011	50,8	133,48
Итого всего по объекту	117,5	0,56	0,5	0,61	66,6	41,0	1,30	87,28	44,03	97,7	256,608

В результате были получены данные полной нагрузки, полной мощности, и значение суммарного тока по всему объекту.

### 2.2 Расчет системы освещения

На территории комплекса складских помещений должно применяться внутреннее освещение:

- основное;
- аварийное;
- эвакуационное.

Эвакуационное освещение представлено табличками бело-зеленого цвета «Выход». Их питание осуществляется от источников бесперебойного питания (ИБП). Аварийное питание, также как и эвакуационное, питается от ИБП.

Согласно СП52.13330.2016 принимаем следующие нормы освещенности ( $E_{\text{норм}}$ ) для помещений склада:

- зона хранения 100 лк;
- зона погрузки/загрузки 300 лк;
- офисные помещения (кабинеты) 300 лк;
- коридоры 200 лк;
- бытовые помещения (гардеробные, санузлы) 75 лк.

Индексы помещений рассчитываются по формуле (11):

$$i = \frac{F}{h \cdot (m+v)}, \quad (11)$$

где  $F$  – площадь помещения,  $m^2$ ;

$h$  – расстояние от фокуса светильника до пола, м;

$m$  – длина помещения, м;

$v$  – ширина помещения, м.

Необходимое число светильников:

$$N_{\text{св}} = \frac{E_{\text{норм}} \cdot F \cdot K_3 \cdot t}{\Phi_{\text{св}} \cdot \theta}, \quad (12)$$

Где  $E_{\text{норм}}$  – норма освещенности,  $лм^2$ ;

$F$  – площадь помещения,  $m^2$ ;

$K_3$  – коэффициент запаса. Для помещений склада принимаем  $K_3 = 1,1$  [9], [20];

$t$  – коэффициент неравномерности освещения. Принимаем для помещений всех категорий складского комплекса  $t = 1,1$  [7], [9];

$\Phi_{\text{св}}$  – световой поток по паспорту светильника, Лм;

$\theta$  – коэффициент использования (определяются по [13], [14], [24] в зависимости от уровня отражения стен, потолка и пола и индекса помещения  $i$ ).

Для примера рассчитаем параметры освещения для кабинета на втором этаже АБП (см. рисунок 2).

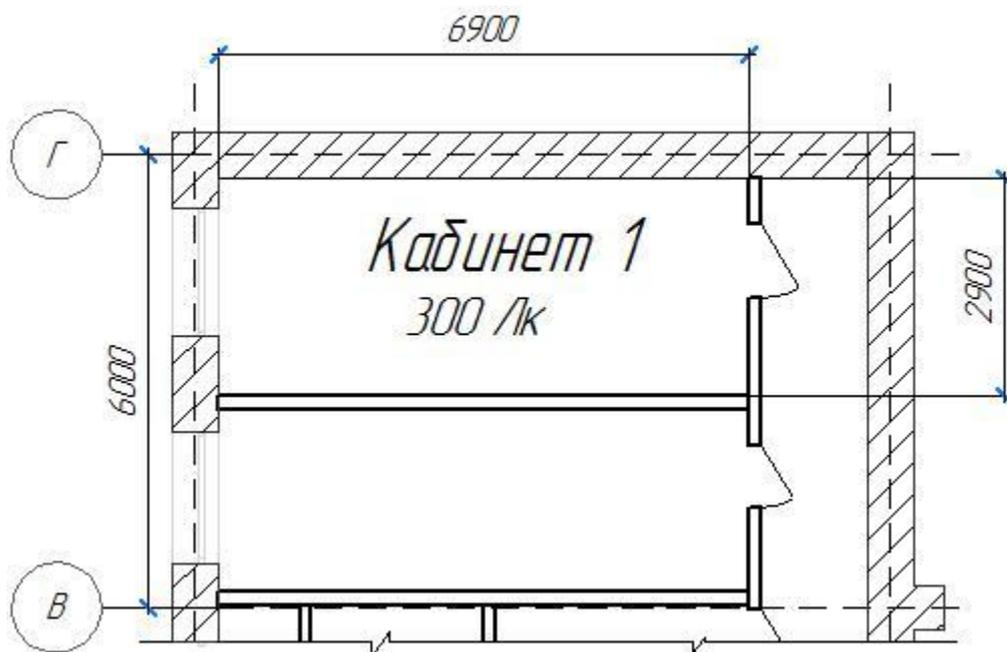


Рисунок 2 – Кабинет на втором этаже АБП

Индекс кабинета:

$$i = \frac{7 \cdot 2,9}{3,0 \cdot (7 + 2,9)} = 0,68.$$

По [13], [14], [24] принимаем коэффициент использования в зависимости от индекса и уровня отражения поверхностей помещения (потолок 70%, стены 50%, полы 30%). Для установки выбираем офисный светильник встраиваемый, типа «Армстронг», 36Вт, 4000 Лм. Определяем требуемое количество устанавливаемых светильников:

$$N_{\text{св}} = \frac{300 \cdot 7 \cdot 2,9 \cdot 1,1 \cdot 1,1}{4000 \cdot 0,35} = 5,26.$$

Принимаем к установке 6 светильников. Результаты расчета освещения по остальным помещениям складского комплекса сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет системы освещения

Наименование помещения	a	b	E <sub>норм</sub>	i	Θ	Φ <sub>св</sub>	N <sub>св</sub>	Светильник
	м	м	Лк	–	–	Лм	шт	
АБП первого этажа								
Фойе	6,9	4,9	200	0,95	0,43	4000	6	OLP-S05-P-36-4K
Коридор	1,5	17	200	0,46	0,28	4000	5	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет 1	6,9	2,8	300	0,66	0,34	4000	4	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет 2	6,9	3,0	300	0,69	0,35	4000	4	OLP-S05-P-36-4K
Подсобка	5,1	2,6	75	0,57	0,3	4000	2	OLP-S05-P-36-4K
Сан.узел	1,5	1,5	75	0,25	0,12	600	1	НПП-03-60
Лестница	6,9	2,7	200	0,64	0,33	4000	4	OLP-S05-P-36-4K
АБП второго этажа								
Коридор	1,5	17	200	0,46	0,22	4000	5	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет 1	6,9	2,9	300	0,68	0,35	4000	6	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет 2	6,9	2,4	300	0,59	0,32	4000	4	OLP-S05-P-36-4K
Раздевалка	5,4	3,2	75	0,67	0,34	600	3	OLP-S05-P-36-4K
Сан.узел	1,5	1,5	75	0,25	0,12	400	1	НПП-03-60
Душ	1,5	1,5	75	0,25	0,12	400	1	НПП-03-60
Лестница	6,9	2,7	200	0,64	0,33	4000	4	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет руководителя	6,9	2,2	300	0,56	0,31	4000	4	OLP-S05-P-36-4K
Приемная	6,9	2,5	300	0,61	0,29	4000	4	OLP-S05-P-36-4K
АБП третьего этажа								
Коридор	1,5	17	200	0,46	0,22	4000	5	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет 1	3,0	2,4	300	0,44	0,24	4000	3	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет 2	3,9	2,4	300	0,49	0,26	4000	3	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет 3	6,9	2,9	300	0,68	0,35	4000	6	OLP-S05-P-36-4K
Кабинет 4	6,9	2,5	300	0,61	0,29	4000	6	OLP-S05-P-36-4K
Техническое помещение 1	3,4	2,4	75	0,47	0,22	600	2	OLP-S05-P-36-4K
Техническое помещение 2	3,4	2,4	75	0,47	0,22	600	2	OLP-S05-P-36-4K

Продолжение таблицы 3

Техническое помещение 3	6,9	3,1	75	0,71	0,36	600	4	OLP-S05-P-36-4K
Лестница	6,9	2,7	200	0,64	0,33	4000	4	OLP-S05-P-36-4K
Зона хранения								
Зона приемки (разгрузки/загрузки) 1	5,56	5,4	300	0,27	0,14	7450	4	PFL-S(S2)-SMD: 100 Вт, 7450
Зона приемки (разгрузки/загрузки) 2	5,56	5,4	300	0,27	0,14	7450	4	PFL-S(S2)-SMD: 100 Вт, 7450
Зона хранения	48	14	100	1,08	0,48	7450	14	PFL-S(S2)-SMD: 100 Вт, 7450

В результате расчетов было подобрано необходимое количество светильников для каждого из помещений, а также определено их необходимое количество.

### 2.3 Расчет трансформаторного пункта

Для выбора трансформатора для пункта питания комплекса складских помещений определим плотность электрической нагрузки цеха,  $\sigma$ , кВА/м<sup>2</sup>, по формуле:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{об}}, \quad (13)$$

где  $S_p$  – суммарная полная мощность потребления комплекса складских помещений. Принимаем по таблице 2  $S_p = 97,767$  кВА;

$F_{об}$  – общая площадь комплекса, м<sup>2</sup>. Принимаем в соответствии с габаритами помещений  $F_{об} = 1512$  м<sup>2</sup>.

$$\sigma = \frac{97,767}{1512} = 0,065 \text{ кВА/м}^2.$$

Для плотности электрической нагрузки  $\sigma = 0,065$  кВА/м<sup>2</sup> рекомендуется использовать экономически целесообразную мощность одного трансформатора не более 400 кВА [8], [10].

Рассчитываем мощность силовых трансформаторов:

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T}, \quad (14)$$

где  $S_T$  – полная мощность одного трансформатора, кВА;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора. Для III категории надежности  $K_3 = 0,9$  [9], [15], [21];

$N_T$  – количество трансформаторов на подстанции (ПС). Принимаем  $N_T = 1$ .

$$S_T \geq \frac{97,767}{0,9 \cdot 1} = 108,63 \text{ кВА.}$$

Согласно таблице 2, в системе ЭС комплекса складских помещений будет генерироваться достаточно большое количество реактивной энергии  $Q_p = 44,038$  квар, при этом  $tg \varphi_k = 0,616$ . Для ее компенсации рассчитаем и подберем компенсирующее устройство (КУ). Задаемся нормативным значением  $tg \varphi_k = 0,33 \dots 0,48$ . Принимаем к расчету  $tg \varphi_k = 0,35$ . Определяем расчетную мощность  $Q_{к.р}$ , квар, выбираемого КУ:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_{к.р}), \quad (15)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos \varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$P_p$  – расчетная активная мощность цеха, кВт. Принимаем по данным таблицы 2,  $P_p = 87,288$  кВт;

$tg\varphi, tg\varphi_{к.р}$  - коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 87,288 \cdot (0,616 - 0,35) = 20,897 \text{ квар.}$$

Выбираем стандартное значение КУ 22 квар, модель АУКРМ. Применяв КУ, определяем полную мощность потребления комплекса складских помещений:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{к.р})^2} \quad , \quad (16)$$

$$S_p = \sqrt{87,288^2 + (44,038 - 22)^2} = 90,02 \text{ кВА.}$$

По ГОСТ 12965 – 85 [22], [28] округляем в большую сторону. Выбираем трансформатор мощностью 100 кВА (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Трансформатор ТМ 100/10/0,4

Тип	Сном.Т кВА	Каталожные данные				
		Уном обмоток, кВ		ук, %	Рк, кВт	Рх, кВт
		ВН	НН			
ТМ 100/10/0,4	100	10	0,4	4,5	2,4	0,4

Исходя из расчетных значений был подобран трансформатор ТМ 100/10/0,4.

## 2.4 Внешнее электроснабжение

Внешнее электроснабжение осуществляется от ближайшего трансформаторного пункта, который запитан от районной ГПП.

Уровень внешнего напряжения 10 кВ. Для подключения внешнего напряжения в ТП комплекса складских помещений применена камера сборная одностороннего обслуживания КСО-203 (см. рисунок 3, таблица 5)

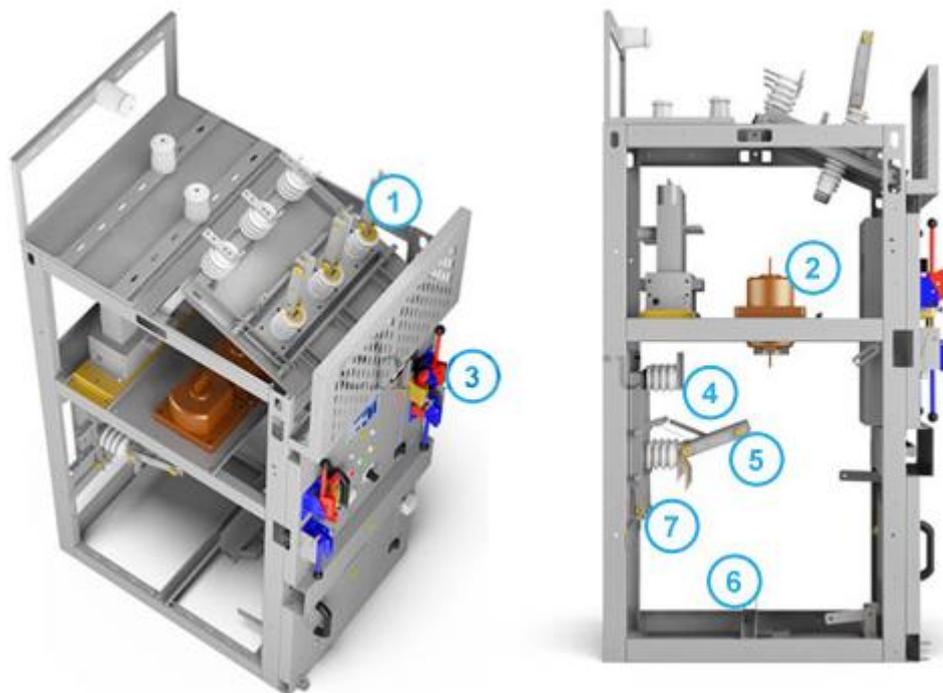


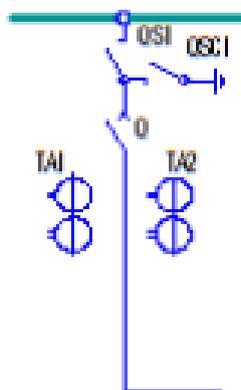
Рисунок 3 - КСО-203

1 – разъединитель шинный; 2 – вакуумный выключатель; 3 – привод к разъединителю; 4 – трансформатор тока; 5 – линейный разъединитель; 6 – трансформатор тока нулевой последовательности; 7 – ограничитель перенапряжения нелинейный

Таблица 5 – Технические данные КСО-203

Характеристики	Единицы измерения	Величина
Рабочее напряжение	кВ	10
Предельное напряжение	кВ	12
Рабочий ток главных цепей	А	400
Ток термической стойкости (3с)	кА	31,5
Номинальный ток выключателя нагрузки	А	630
Рабочее напряжения вспомогательных цепей (защиты, сигнализации, освещения и т.д.)	В	220

Выбираем комплектацию: КСО-203-5В-630ЧУ1, где 5 – каталожный номер схема главных цепей (см. рисунок 4), В – вакуумный выключатель, 630 - номинальный ток выключателя нагрузки (А), Ч – производитель (Челябинский завод электрооборудования), У1 – климатическое исполнение.



QS1 – шинный разъединитель; QSC1 – заземляющие ножи шинного разъединителя; Q – выключатель вакуумный; ТА – трансформатор тока

Рисунок 4 - Схема главных цепей КСО-203 №5 (исполнение схемы 05ВВ-630)

Для данных условий подобрана камера сборная одностороннего обслуживания в комплектации КСО-203-5В-630ЧУ1, характеристики которой были представлены выше.

## 2.5 Обоснование схемы электроснабжения

Схема ЭС комплекса складских помещений выполнена по смешанной схеме. От ГРЩ непосредственно запитана:

- розеточная группа помещения склада (зоны хранения);
- силовые щиты технологического оборудования (крана, лебедки, вентиляции, роллворота);
- щит освещения склада;

- щит пожарной безопасности;
- щит слаботочных цепей;
- щит наружного освещения.
- щит АБП1.

К щиту АБП1 присоединены щиты АБП2 и АБП3.

Таким образом большинство потребителей подключены по радиальной схеме. Её достоинства: максимальная простота, аварийное отключение одной из линий не вызывает электроснабжение потребителей по другим линиям.

## 2.6 Расчет и выбор электрооборудования

Составим спецификацию электрооборудования комплекса складских помещений (таблица 6).

Таблица 6 – Спецификация электрооборудования и материалов комплекса складских помещений

Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа	Единица измерения	Количество
Провода и кабели	-	-	-
Кабель с медными жилами, напряжением 660В, сечением:	ГОСТ 16442-80	-	-
5×95 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	10
3×2.5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	855
5×2.5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	260
5×1.5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	145
2×2.5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	70
5×6 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	10
3×1.5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг-LS	м	595
5×16 мм <sup>2</sup>	ВВГнг(А)-LS	м	10
5×2.5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг(А)-LS	м	177
3×1.5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг(А)-LS	м	48
3×2.5 мм <sup>2</sup>	ВВГнг(А)-LS	м	52
3×4 мм <sup>2</sup>	ВВГнг(А)-LS	м	18
3×2,5 мм <sup>2</sup>	СИП-2	м	142
4×95 мм <sup>2</sup>	СИП-2	м	23
1×10 мм <sup>2</sup>	ПуВГ	м	250
Осветительная арматура	-	-	-

Продолжение таблицы 6

Светильник светодиодный самоцентрирующийся	PFL-S(S2)-SMD: 100 Вт, 7450	шт	21
Светильник с газоразрядной лампой высокого давления на кронштейне	ЖКУ11-150-001 Street	шт	8
Светильник светодиодный аварийного освещения	ДСП52-18-041 Optima	шт	7
Светильник накладной, внутреннего освещения, светодиодный	ДБО85-16-141	шт	3
Светильник встраиваемый, офисный, для потолка Армстронг	OLP-S05-P-36-4K	шт	91
Светильник накладной, для помещений с повышенной влажностью	НПП-03-60	шт	3
Светильник направления движения «Выход»	ДБО83-3-113 Gelios PT LED	шт	6
Оборудование	-	-	-
Трансформатор тока	T-0,66У3 200/5А кл.точности 0,5S	шт	1
Счетчик электрической энергии	Меркурий 234 ART-03 KRL 3×230В/400В 5(10)А 1кл.точности 0,5S	шт	1
ВРУ 1	Unit S IP54 1800×600×600 (mb-18-60-60m)	шт	1
ВРУ 2	Unit S IP54 1800×800×600 (mb-18-80-60m)	шт	1
ЩАБК1, ЩАБК2, ЩАБК3 - щит распределительный навесного исполнения	ЩРН-36 IP31 480×300×120 (mb-21-36n)	шт	3
ЩНО - щит распределительный навесного исполнения	ЩРН-12 IP54 265×310×120 (mb-24-12)	шт	1
Щкрана – щит распределительный навесного исполнения	ЩРН-24 IP54 395×310×120 (mb-24-24)	шт	1
Выключатель нагрузки	EKF ВН-99/250 sl99-250-250, 3P 250А	шт	1
Автоматический выключатель	EKF ВА-99М/250 mccb199-250-200m, 3P 25кА	шт	
Автоматический выключатель	EKF ВА47-63pro, C10А, 6кА (mcb4763-6-1-10С)	шт	3
Автоматический выключатель	EKF ВА47-63pro, C16А, 4.5кА (mcb4763-3-16С)	шт	2
Автоматический выключатель дифференциального типа малогабаритный	EKF АДТ-63, C16А, АС30mA (DA63-16-30e)	шт	14

Продолжение таблицы 6

Автоматический выключатель	EKF ВА47-125pro, C100A, 15kA (mcb47125-3-100C)	шт	1
Автоматический выключатель	EKF ВА47-63pro, C10A, 6kA (mcb4763-6-3-10C)	шт	16
Дифференциальный автомат	EKF АД-32, C16A, AC30mA (DA32-16-30-4p-pro)	шт	1
Устройство защитного отключения	EKF ВД-100, 25А, AC30mA (elcb-4-25-30-em-pro)	шт	1
Автоматический выключатель	EKF ВА47-125pro, C80A, 15kA (mcb47125-3-80C)	шт	1
Автоматический выключатель	EKF ВА47-63pro, C63A, 6kA (mcb4763-6-3-63C)	шт	1
Автоматический выключатель	EKF ВА47-63pro, C40A, 6kA (mcb4763-6-3-40C)	шт	1
Автоматический выключатель	EKF ВА47-63pro, C25A, 4.5kA (mcb4763-3-25C)	шт	5
Выключатель нагрузки	EKF ВН63-pro, 3P, 63A, (SL63-3-63-pro)	шт	1
Автоматический выключатель	EKF ВА47-29bas, C32A, 4.5kA (mcb4729-1-32C)	шт	2
Автоматический выключатель	EKF ВА47-29bas, C20A, 4.5kA (mcb4729-1-20C)	шт	2
Автоматический выключатель	EKF ВА47-29bas, C20A, 4.5kA (mcb4729-1-16C)	шт	3
Автоматический выключатель	EKF ВА47-29bas, C10A, 4.5kA (mcb4729-1-10C)	шт	1
Выключатель нагрузки	EKF ВН63-pro, 3P, 40A, (SL63-3-40-pro)	шт	1
Дифференциальный автомат	EKF АД-32, C25A, AC30mA (DA32-25-30-pro)	шт	1
Дифференциальный автомат	EKF АД-32, C20A, AC30mA (DA32-20-30-pro)	шт	1
Дифференциальный автомат	EKF АД-32, C32A, AC30mA (DA32-32-30-pro)	шт	1
Установочные изделия	-	-	-
Выключатель однополюсный 10А, 250В для скрытой установки	C1B1	шт	15
Выключатель двухполюсный 10А, 250В для скрытой установки	C1B2	шт	8
Розетка штепсельная сдвоенная открытой установки с заземляющим контактом IP44	C1P4	шт	2
Розетка штепсельная одинарная открытой установки с заземляющим контактом IP44	РА 16-112Б	шт	2

Продолжение таблицы 6

Розетка 380В открытой установки с заземляющим контактом IP44	115 33+PE+N	шт	7
Распределительная коробка	B1-552	шт	1
Распределительная (ответвительная) коробка IP55 HEGEL	KP2604	шт	2
Трубы	-	-	-
Труба поливинилхлоридная типа «У» наружным диаметром 25 мм из вторичного сырья с раструбом ТУ 5-19-215-83	ПВХ-В-Р-ЭП 25У	м	255
То же диаметром 32 мм	ПВХ-В-Р-ЭП 32У	м	120
Прокат металлов	-	-	-
Сталь листовая сеч. 40×4 мм	ГОСТ 103-76	м	160
Сталь круглая диаметром 8 мм	ГОСТ 2590-88	м	80
Сталь угловая 63×63×5	ГОСТ 7214-76	м	10

Проверим выбранные электрические аппараты на соответствие параметрам системы ЭС (выборочно).

Проверка высоковольтного оборудования.

Данные для выбора выключателя 10 кВ:  $I_{кз} = 8 \text{ кА}$ ;  $i_{удз} = 16 \text{ кА}$ ;  $I_{ном.раб.} = 256 \text{ А}$ ;  $I_{утяж} = I_{ном.раб.} \cdot 2 = 512 \text{ А}$ . К установке принимается вакуумный выключатель ВВЭ-10-20/1000-У3 (см. таблица 7).

Таблица 7 – Вакуумный выключатель ВВЭ-10-20/1000-У3

Расчётные данные	Каталожные данные
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{утяж} = 512 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{п.о.к-3} = 16 \text{ кА}$	$I_{ном. откл.} = 52 \text{ кА}$
-	Собственное время отключения – 0,04 с
-	Полное время отключения – 0,05 с
-	$I_{дин.} = 80 \text{ кА}$
-	Термическая стойкость – 20/3 кА/с

Выбор шинного разъединителя на стороне 10 кВ для КСО-203. Необходимые параметры:  $I_{КЗ} = 8$  кА;  $i_{удЗ} = 16$  кА;  $I_{ном.раб.} = 256$  А;  $I_{утяж} = I_{ном.раб.} \cdot 2 = 512$  А. Принимаем шинный разъединитель РВ-10/630 УХЛ2 для внутренней установки. Проверяем его параметры:

- $U_{ном.раб.} = 10$  кВ;
- $I_{КЗ} = 16$  кА;
- $i_{удЗ} = 40$  кА;
- $I_{ном.раб.} = 630$  А.

Как видно, все его характеристики превосходят данные для его эксплуатации. Шинный разъединитель выбран верно.

Проверка низковольтного оборудования.

Для примера выполним проверку автоматического выключателя ВА47-63pro, с комбинированным расцепителем серии ВА, установленного в цепи ролворот №1. Расчетный ток в цепи ролворот 1,149 А, напряжение 220 В. Проверим условие по рабочему току:

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (17)$$

где  $I_p$   $I_p$  – расчетный ток вентилятора, А;

$I_{ном}$   $I_{ном}$  – номинальный ток выключателя, А.

$$10 \text{ А} > 1,149 \text{ А}.$$

Проверим условие по рабочему напряжению:

$$U_{ном} \geq U_p, \quad U_{ном} \geq U_p, \quad (18)$$

где  $U_p$  – расчётное напряжение, кВ;

$U_{\text{ном}} U_{\text{н}}$  – номинальное напряжение, кВ.

$$0,4 \text{ кВ} > 0,22 \text{ кВ}$$

Выбранный аппарат проверяют на электродинамическую стойкость, кА, по условию:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}, \quad i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}, \quad (19)$$

где  $i_{\text{уд}}$   $i_{\text{уд}}$  – ударный ток короткого замыкания, кА;

$i_{\text{дин}}$   $i_{\text{дин}}$  – допустимый ток динамической стойкости, кА.

$$1,2 \text{ кА} \leq 6 \text{ кА.}$$

Аналогично проверяются автоматические выключатели для других электроприемников.

Проверяем выбранный трансформатор тока (ТТ) Т-0,66УЗ-300/5А-0,5S на соответствие параметрам:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$0.6 \text{ кВ} \leq 0.22 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{max}} < I_{\text{ном}};$$

$$256.61 \text{ А} < 300 \text{ А};$$

$$I_{\text{уд}} < i_{\text{дин}};$$

$$25.6 \text{ кА} < 81 \text{ кА};$$

Трансформатор тока Т-0,66УЗ-300/5А-0,5S выполняет все критерии по первичной цепи и может быть применим в ВРУ-1 0.4 кВ. Для получения

достоверной измерительной информации необходимо проверить его вторичную цепь по нагрузке. Согласно рисунку 5, нагрузкой ТТ является электросчетчик Меркурий 234 ART-0.3 KRL 3×230/400В с потребляемой мощностью собственной измерительной системой приблизительно  $S_{\text{сум}} = 2,5 \text{ ВА}$ . Вторичный ток прибора 5А.

Определим сопротивление ТТ:

$$r_{\text{ТТ}} = \frac{S_{\text{сум}}}{I_2^2}, \quad (20)$$

$$r_{\text{ТТ}} = \frac{2,5}{5^2} = 0,1 \text{ Ом.}$$

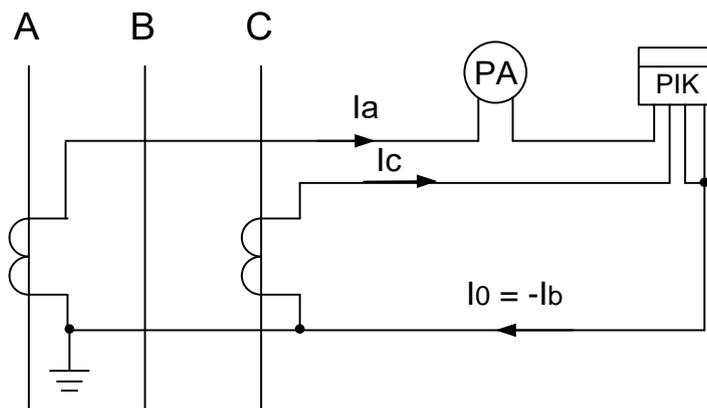


Рисунок 5 – Нагрузка ТТ Т-0,66У3-300/5А-0,5S

Принимаем по справочным данным:

- сопротивление контактов  $r_k = 0,05 \text{ Ом}$  [11], [14], [29];
- полное сопротивление вторичной цепи  $Z_{2,\text{НОМ}} = 0,4 \text{ Ом}$  [14], [18], [31].

Определяем сопротивление соединительных проводов между ТТ и измерительными приборами:

$$r_{\text{пров}} = Z_{2,\text{НОМ}} - r_{\text{ТТ}} - r_k, \text{ Ом}, \quad (21)$$

$$r_{\text{пров}} = 0,4 - 0,1 - 0,05 = 0,25 \text{ Ом.}$$

Так как для присоединения измерительной аппаратуры рекомендуется использовать медные многожильные провода, то выбираем контрольный кабель КРВГ с удельным сопротивлением жилы  $\rho = 0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$  [32]. Расстояние от ТТ до шкафа  $l_{\text{T-П}}$  со счетчиком и амперметром обычно в ТП равно 5 метров. Длину провода  $l_{\text{расч}}$  принимают с запасом в  $\sqrt{3}$  раз:

$$l_{\text{расч}} = l_{\text{T-П}} \cdot \sqrt{3}, \quad (22)$$
$$l_{\text{расч}} = 5 \cdot \sqrt{3} = 8,66 \text{ м}$$

Сечение провода КРВГ:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}}, \quad (23)$$
$$q = \frac{0,0175 \cdot 8,66}{0,25} = 0,606 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение 1,0 мм<sup>2</sup>.

Выводы.

Выбранное электрооборудование для снабжения электрической энергией электроприемников комплекса складских помещений проверено по критериям качества, соответствуют электрическим показателям, и обеспечивает высокую надёжность проектируемой системы электроснабжения.

### **3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда**

#### **3.1 Безопасность жизнедеятельности на трансформаторном пункте**

К работам на трансформаторных подстанциях и в распределительных пунктах предъявляются повышенные требования в безопасности труда. Еще до назначения на самостоятельную работу электромонтеру необходимо пройти обучение безопасным методам труда, вводный инструктаж по безопасности труда, первичный инструктаж на рабочем месте, первичную проверку знаний ПТБ, ПТЭ, правил пожарной безопасности и инструкций в объеме необходимом для данной профессии, дублирование в течении нескольких смен под руководством опытного наставника. И только после прохождения всех ступеней подготовки электромонтер может приступить к самостоятельной работе

Прежде чем приступить к работе, электромонтер должен привести в порядок свою спецодежду таким образом, чтобы она не явилась причиной несчастного случая, заправить волосы под головной убор. Спецодежда должна быть чистой, отремонтированной и заправленной по форме.

Лица из оперативного персонала, обслуживающие электроустановки единолично и старшие в смене или в бригаде, за которыми закреплена данная электроустановка, должны иметь группу по безопасности не ниже IV в электроустановках выше 1000В и III в установках напряжением до 1000В.

Оперативное обслуживание заключается в:

- постоянном наблюдении за исполнением и режимом работы всего электрооборудования;
- периодических осмотрах оборудования;
- производстве оперативных переключений;
- проведении в электроустановках, на оборудовании работ по устранению неисправностей, содержанию подшефного оборудования;

- подготовке рабочих мест для ремонтных бригад, допуск их к работе, надзоре за ними во время работы и восстановлении схемы после окончания всех работ.

### **3.2 Электробезопасность в помещении склада**

Согласно классификации ПУЭ складские помещения относятся к типу помещений по степени электрической опасности – без повышенной опасности, т.е. в данном помещении отсутствуют факторы, приводящие к поражению людей электрическим током. В таких помещениях влажность воздуха не превышает 75 процентов, температура воздуха не более 30 градусов по Цельсию, полы изготовлены из материала, который не проводит электрический ток, нет источника токопроводящей пыли, отсутствуют электроустановки, присоединенные к общему заземляющему устройству.

Сотрудники склада должны выполнять простые правила по электробезопасности:

- нельзя эксплуатировать неисправные электрический чайник, СВЧ печь и все остальные бытовые электроприборы;
- нельзя ремонтировать бытовые электрические приборы и электрическую проводку лицами, не имеющими специальной подготовки по электробезопасности;
- при обнаружении нарушения целостности изоляции нужно принять меры к ее восстановлению.
- если возникает короткое замыкание в проводке или электрическом приборе, то должен надежно сработать автоматический выключатель и отключить неисправный участок цепи;
- важным элементом электробезопасности является контроль над состоянием сетевых шнуров и вилок электрических приборов;
- электрические розетки в бытовых помещениях должны иметь всегда третий заземляющий контакт. Третья жила используется для

заземления корпусов электроустановок. Эта мера защищает человека от поражения электротоком при появлении напряжения на корпусе электроприбора.

### **3.3 Заземление**

Согласно п.1.7.55 ПУЭ-7 - заземляющие устройства защитного заземления электроустановок зданий и сооружений и молниезащиты второй и третьей категорий этих зданий и сооружений, как правило, должны быть общими.

Заземление обязательно во всех электроустановках при напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока, а в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках – при напряжении 42 В и выше переменного тока, 110 В и выше постоянного тока.

Расчетное значение сопротивления заземляющего устройства - 4,0 Ом. При наличии железобетонных конструкций их необходимо присоединить к токоотводам/заземляющему устройству.

В помещении склада выполняется внутренний контур заземления при помощи стальной полосы сечением 30х4 мм. Крепление полосы к вертикальным заземлителям выполняется при помощи сварки. Подключение к заземляющему устройству выполняется при помощи сварки (см. рисунок б).

Подключение заземляющего устройства к вводному щиту выполняется при помощи проводника ZZ-500-103.

В качестве заземлителя защиты от ударов молний по периметру на расстоянии 1,0 м от фундамента здания в земле на глубине не менее 0,8 м прокладывается контур, состоящий из горизонтальной стальной полосы 40х4 мм, и вертикальных электродов, выполненных из угловой стали 63х63х5 длиной 5 м, забитых в землю. Также необходимо выполнить соединение

горизонтального контура заземления с железобетонными конструкциями фундамента здания.

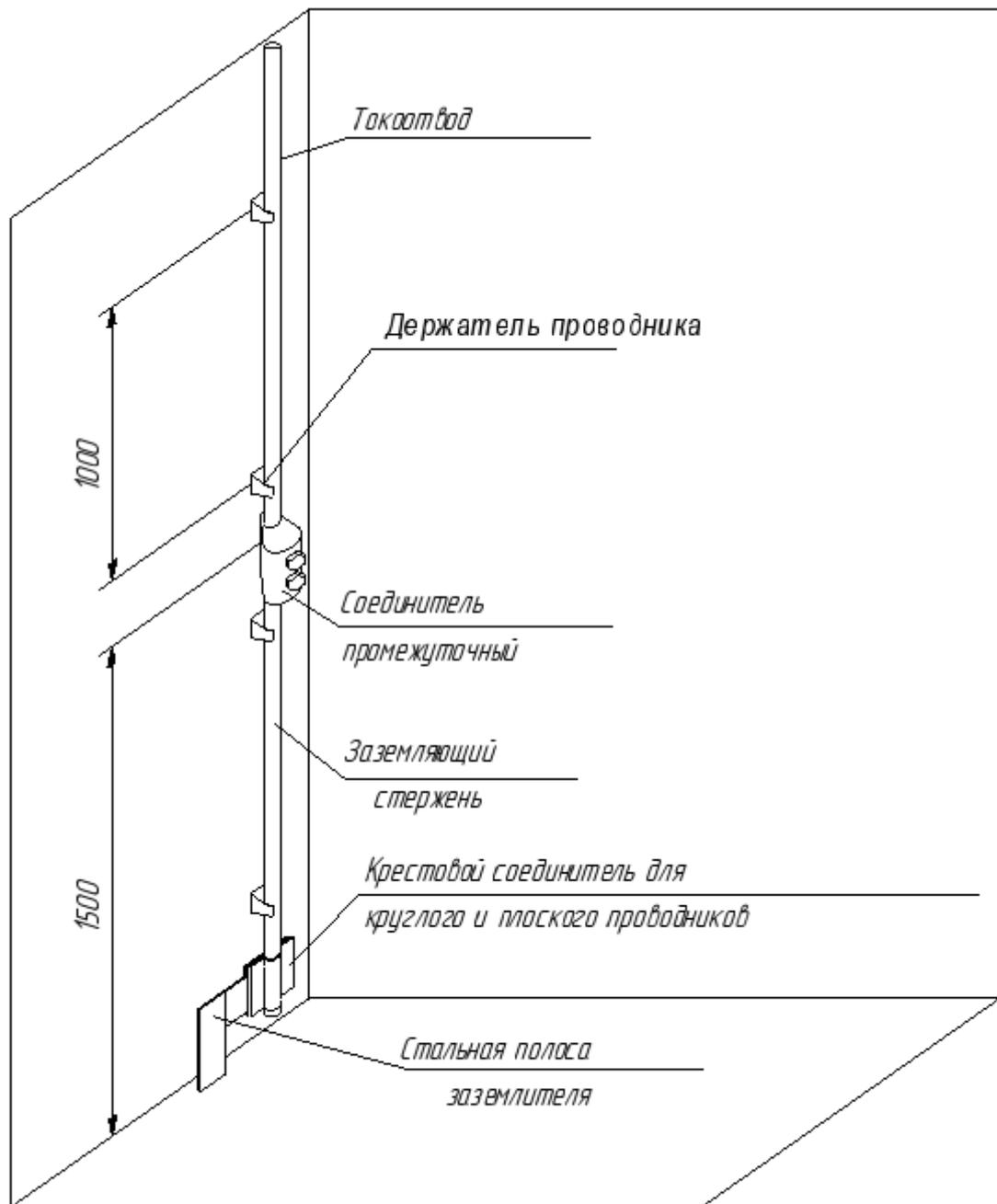


Рисунок 6 - Узел подключения токоотвода к заземлителю

Все соединения заземлителей между собой и с токоотводами производятся сваркой. Длина сварного шва должна быть не менее двойной ширины прямоугольного проводника и не менее шести диаметров

свариваемых круглых проводников. К кровле должны быть присоединены все выступающие на ней металлические предметы. Схема установки одиночного заземлителя показана на рисунке 7. Металлические скобы для крепления токоотводов могут быть в контакте со стеной. Токоотводы, для предохранения от коррозии, должны быть оцинкованы и окрашены.

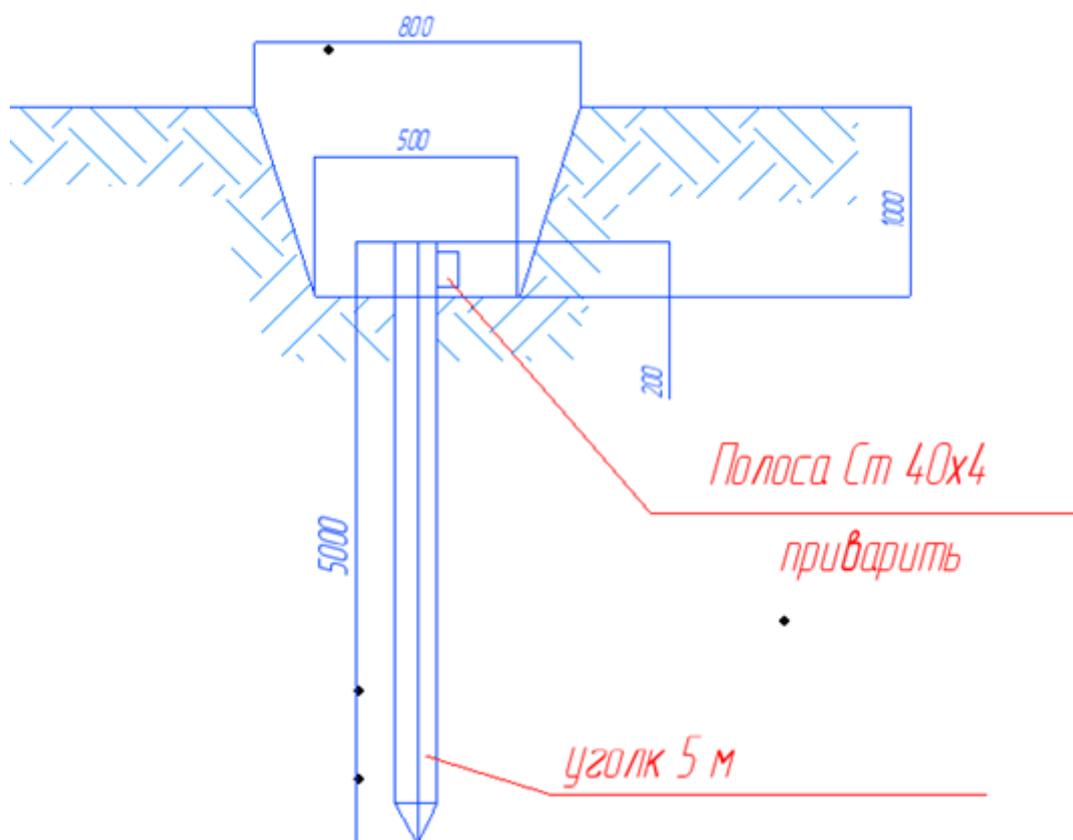


Рисунок 7 – Схема установки одиночного заземлителя

Грунт на территории склада имеет разную структуру. На глубину до 1500 мм идет смесь чернозема, песка и перегноя.

Длительность воздействия напряжения прикосновения человека определяется по формуле:

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{р.з}} + t_{\text{отк.в}}, \quad (24)$$

$$\tau_{\text{в}} = 0,015 + 0,05 = 0,065 \text{ с.}$$

Для  $\tau_b = 0,065$  с находим  $U_{\text{пр.доп.}} = 400$  В [13], [16], [23].

Определяем коэффициент поражения прикосновением:

$$k_{\text{п}} = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{L_{\text{вер}} \cdot L_{\text{Г}}}{a \cdot \sqrt{S}}\right)^{0,45}}, \quad (25)$$
$$k_{\text{п}} = \frac{0,75 \cdot 0,93}{\left(\frac{5 \cdot 890}{5 \cdot \sqrt{40 \cdot 50}}\right)^{0,45}} = 0,18.$$

где  $M = 0,75$ , если  $\rho_1/\rho_2 = 50/10 = 5$  [13], [26];

« $\beta$  - коэффициент, определяющий уровень сопротивления стекания зарядов на землю (формула 26);

$L_{\text{Г}}$  - общая длина горизонтальных заземлителей по плану. Предварительно задаемся  $L_{\text{Г}} = 1000$  м [17], [25];

$L_{\text{вер}}$  - длина вертикального заземлителя. Принимаем предварительно  $L_{\text{вер}} = 5000$  мм;

$a$  - горизонтальное расстояние между вертикальными заземлителями. Задаемся  $a = 5000$  мм [19];

$S$  - площадь, ограниченная заземлителями (формула 27) [13].

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot \rho}, \quad (26)$$
$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 50} = 0,93.$$

«Составим план заземления в виде расчетной квадратной схемы замещения при условии сходимости их площадей и найдем сторону квадратной модели  $\sqrt{S}$  по формуле (27)» [30]

$$\sqrt{S} = h \cdot w, \quad (27)$$
$$\sqrt{S} = 50 \cdot 40 = 2000 \text{ м}^2.$$

Количество ячеек вдоль одной стороны защитной зоны:

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2\sqrt{S}}, \quad (28)$$

$$m = \frac{890}{2\sqrt{50 \cdot 40}} = 9,95 \approx 10 \text{ ячеек.}$$

Длина стороны ячейки (см. рисунок 12):

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \quad (29)$$

$$b = \frac{\sqrt{50 \cdot 40}}{10} = 4,47 \text{ м.}$$

Приняв длину вертикального заземлителя  $l_B = 5$  м определим общее количество вертикальных заземлителей по периметру контура:

$$n_B = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{l_B}, \quad (30)$$

$$n_B = \frac{\sqrt{40 \cdot 50} \cdot 4}{5} = 35,8 \approx 36 \text{ штук.}$$

Принимаем  $n_B = 36$ . Задаемся по [17] коэффициентом растекания зарядов  $A=0,35$  и эквивалентным удельным сопротивлением  $\rho_3=12,2$  Ом·м. Тогда общее сопротивление заземлителя:

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{l_{\Gamma} + l_B}, \quad (31)$$

$$R_3 = 0,35 \frac{12,2}{\sqrt{40 \cdot 50}} + \frac{12,2}{890 + 5} = 0,11 \text{ Ом.}$$

Таким образом  $R_3 = 0,11 \text{ Ом} < R_{3, \text{доп}} = 4 \text{ Ом}$ .

### **3.4 Молниезащита**

Согласно [4] для Поволжского ФО характерны следующие показатели молниеактивности:

- плотность разрядов молнии в землю - 4 уд/кв.км в год;
- полное число ударов в систему - 0,09 (раз в 26 лет);
- суммарное число прорывов (удары непосредственно в объект минуя молниеприемники) - 0,0035 (раз в 286 лет);
- надежность системы - 0.91.

В соответствии с "Инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" (СО 153-34.21.122-2003) данное здание относится к обычным объектам с III уровнем защиты от ПУМ (прямых ударов молнии).

В качестве молниеприемника используется металлическая сетка, выполненная оцинкованной круглой сталью диаметром 8 мм.

Шаг молниезащитной сетки должен быть не более 10x10 м.

Участки кровли здания, расположенные на разных уровнях, соединяются круглой сталью диаметром 8 мм, обеспечивая электрическую непрерывность между разными частями. В качестве молниеотводов принята круглая сталь диаметром 8 мм. План элементов молниезащиты на кровле комплекса складских помещений представлен в графической части проекта.

### **3.5 Система уравнивания потенциалов**

Согласно п. 1.7.32 ПУЭ-7, под защитным уравниванием потенциалов понимают электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности. Систему уравнивания потенциалов (СУП) используют для устранения разности напряжений всех проводящих элементов и конструкций здания, а так же относящихся к нему инженерных сетей и коммуникаций между собой

и заземляющим устройством, путем их объединения в единый контур с использованием защитных проводников.

Защитные проводники могут находиться в составе линий электроснабжения здания или прокладываться отдельно. Подключение каждого токопроводящего элемента необходимо выполнять отдельным проводом, с помощью болтовых соединений, зажимов или сварки, с обязательным соблюдением условий доступности для осмотра и проведения испытаний, а также защиты от механических повреждений и коррозии. Разработанная система уравнивания потенциалов комплекса складских помещений представлена в графической части проекта и на рисунке 8.

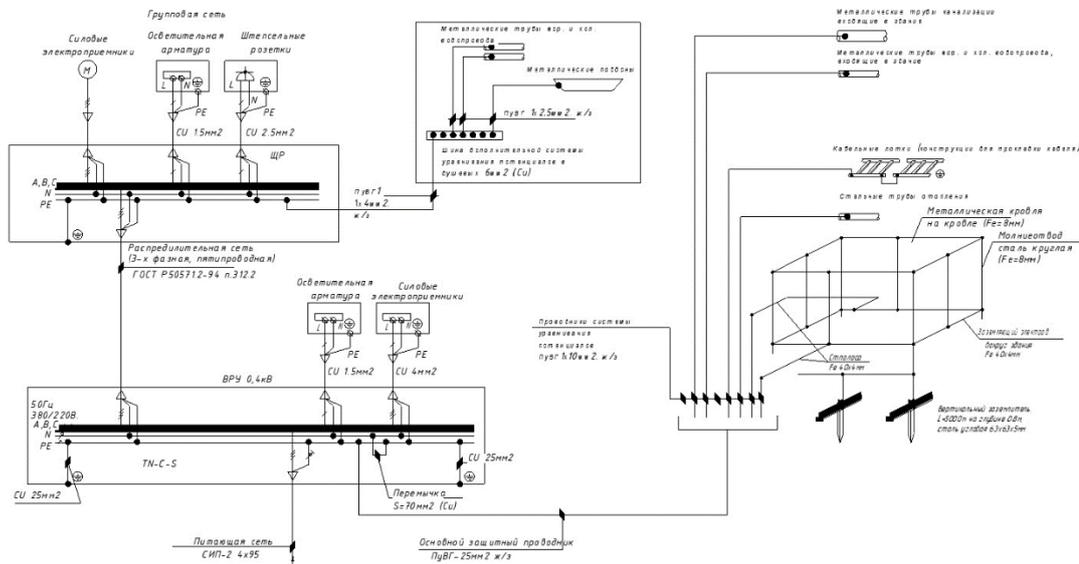


Рисунок 8 - Система уравнивания потенциалов комплекса складских помещений

Система уравнивания потенциалов соединяет между собой следующие токопроводящие части:

- защитный проводник (PEN) питающей линии;
- заземляющее устройство системы молниезащиты;
- дополнительный контур заземления;

- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание (трубы горячего и холодного водоснабжения, отопления и т.п.);

В качестве заземляющего устройства используется заземлитель молниезащиты.

ГЗШ изготавливается из медной шины.

Заземляющие проводники в местах их присоединения обозначены желто-зелеными полосами, выполненными краской или двухцветной липкой лентой.

Подключение проводников уравнивания потенциалов показано условно.

К дополнительной системе уравнивания потенциалов присоединить все одновременно доступные проводящие части:

- трубы горячего и холодного водоснабжения (с помощью хомутов);
- трубы систем канализации;
- РЕ контакт розеток (с помощью зажимных контактов);
- металлические части систем вентиляции;
- металлические части каркаса здания.

Выводы.

Выполнение норм охраны труда и техники безопасности позволяет снизить риски техногенных катастроф, уменьшить травматизм обслуживающего персонала, повысить безопасность проведения работ по обслуживанию и ремонту оборудования.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан проект системы электроснабжения комплекса складских помещений.

Комплекс складских помещений включает в себя непосредственно зону хранения, одноэтажную, размером 48×18 метров, и административно-бытовые помещения, расположенные на трех этажах. Размер каждого этажа 9,16×18 метров. Площадь зоны хранения 864 м<sup>2</sup>, площадь АБП 164,88 м<sup>2</sup>.

Проектируемый склад относится к третьей категории надежности электроснабжения. Выбрана система электроснабжения смешанного типа, система заземления типа TN-C-S. Применение системы заземления TN-C-S позволит снизить затраты на покупные материалы, при этом обеспечивая высокий уровень электробезопасности.

В первом разделе определены требования, предъявляемые к электроснабжению складских помещений. Разработаны требования к электромонтажу электрооборудования и освещения склада.

Во втором разделе выполнен расчет электрических нагрузок комплекса складских помещений, показавший следующие результаты:

- общая активная мощность установленных электроприемников 117,56 кВт;
- средний коэффициент использования 0,567;
- средний  $\cos\varphi = 0,525$ ;
- средний  $\operatorname{tg}\varphi = 0,616$ ;
- суммарная расчетная активная мощность 87,288 кВт;
- суммарная расчетная реактивная мощность 44,038 квар;
- суммарная расчетная полная мощность 97,767 кВА;
- суммарный расчетный ток 256,608 А.

Выполнен расчет системы освещения, определено необходимое количество светильников для каждого помещения склада в зависимости от его нормы освещенности.

Определена реактивная мощность, требующая компенсации – 20,897 квар. Выбрано КУ модели АУКРМ. С учетом КУ определена мощность трансформатора для ТП – 90,02 кВА. Выбран трансформатор – ТМ 100/10/0,4. Выбрано высоковольтное электрооборудование – камера сборная одностороннего обслуживания КСО-203-5В-630ЧУ1, содержащая вакуумный выключатель ВВЭ-10-20/1000-У3, шинный разъединитель РВ-10/630 УХЛ2 и другие аппараты. Составлена спецификация электрооборудования и материалов комплекса складских помещений. Выбранное электрооборудование проверено на соответствие параметрам проектируемой системы ЭС.

В разделе №3 рассмотрены мероприятия по технике безопасности и охране труда на территории комплекса складских помещений. В том числе:

- требования к безопасности труда на трансформаторном пункте;
- вопросы электробезопасности в складском помещении;
- составлена схема системы заземления;
- разработана схема молниезащиты;
- разработана система уравнивания потенциалов.

На основе произведенных расчетов можно сделать вывод, что выбран наиболее оптимальный и рациональный вариант электроснабжения цеха металлорежущих станков

## Список используемых источников

1. Выбор местоположений ГПП или ГРП, а также цеховых трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Energy.ru». URL: <https://elenergi.ru/vybor-mestopolozeniya-gpp-ili-grp-a-takzhe-sexovux-transformatornyx-podstancij.html> (дата обращения 28.09.2022)
2. ГОСТ 12965–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. Технические условия. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012412> (дата обращения 10.08.2022)
3. Единая энергетическая система России [Электронный ресурс] : Официальный сайт Системного оператора единой энергетической системы URL: <https://so-ups.ru/index.php?id=ees> (дата обращения 01.09.2022)
4. Жугарев Г.О. Проектирование системы освещения промышленного предприятия – Нижневартовск: филиал ЮУрГУ, Информатика: 2019, 66 с.. URL: [https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/19277/2017\\_431\\_zhugarevgo.pdf?sequence=1](https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/19277/2017_431_zhugarevgo.pdf?sequence=1) (дата обращения 22.08.2022)
5. Конденсаторы для компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «ZPUE» URL: <https://zpue.com/ru/konteynernaya-transformatornaya-podstantsiya-podstantsiya-dlya-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti/> (дата обращения 02.08.2022)
6. Конденсаторы типов ЭСВ, ЭСВП, ЭЭВ и ЭЭВП [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Машинформ.Ру». URL: <https://electro.mashinform.ru/kondensatory-dlya-ehlektrotermicheskih-ustanovok/kondensatory-tipov-jesv-jesvp-jejev-i-jejev-obj3148.html> (дата обращения 18.09.2022)
7. Красник В.В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств [Электронный ресурс] : произв.-практ. пособие / В. В. Красник. - Москва : ЭНАС, 2018. - 319 с.

8. Молодежь. Наука. Общество [Электронный ресурс] : Всерос. науч.-практ. междисциплинар. конференция : Тольятти, 5 дек. 2018 г. : сб. студенческих работ / [отв. за вып. С. Х. Петерайтис]. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2018. - 893 с.

9. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Е. Немировский, И. Ю. Сергиевская, Л. Ю. Крепышева. - 2-е изд. - Москва : Инфра-Инженерия, 2018. - 148 с.

10. Оборудование трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Школа для электрика» URL: <http://electricalschool.info/elstipod/1663-oborudovanie-transformatornykh.html> (дата обращения 02.09.2022)

11. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем : учебник для вузов / Н.И. Овчаренко. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. - 475 с.

12. Пискунов В.М. Общая энергетика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. М. Пискунов ; Нац. минерально-сырьевой ун-т. - Санкт-Петербург, 2018. - 135 с.

13. Понижающие подстанции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Большая Энциклопедия Нефти и Газа» URL: <https://www.ngpedia.ru/id275920p1.html> (дата обращения 02.09.2022)

14. Потери энергии в электрических сетях и установках [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. В. Маслакова [и др.]. - Липецк : Липец. гос. техн. ун-т : ЭБС АСВ, 2018. - 79 с.

15. Расчет режимов распределительных электрических сетей [Электронный ресурс] : учеб. пособие для магистров / П. О. Гуков [и др.] ; Воронеж. гос. аграр. ун-т им. Императора Петра I. - Воронеж : ВГАУ им. Петра I, 2018. - 105 с.

16. Расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Energy-systems». URL: <https://energy-systems.ru/main-articles/proektirovanie->

elektriki/1836-raschet-jelektricheskikh-nagruzok-metodom-uporjadochennyh-diagramm (дата обращения 10.08.2022)

17. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов КЗ [Электронный ресурс] / Офиц. изд. URL: <https://www.rts-tender.ru/poisk/rukovodjawij-dokument/153-34-0-20-527-98> (дата обращения 11.08.2022)

18. РТН.36.18.32.4-92 «Указания по расчету электрических нагрузок» [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения 10.09.2022)

19. Сивков А.А. Основы электроснабжения: учебное пособие / А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, Д.Ю. Герасимов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – 184 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SIVKOV/uchebnrab/Tab1/Power-supply-IDO.pdf> (дата обращения 06.08.2022).

20. СП 256.1325800.2016 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139957> (дата обращения 10.09.2022).

21. Счетчик электрической энергии трехфазный статический «Меркурий 230», «Mercury 230». Руководство по эксплуатации АВЛГ.411152.021 РЭ. URL: <https://www.incotexcom.ru/files/em/docs/merkuriy-230-avlg-411152-021-re-izm-4-2020-07-27.pdf> (дата обращения 05.10.2022).

22. Томашевский Р.В. Методы измерения потерь мощности в поддерживающих конструкциях генераторных токопроводов. Актуальные проблемы энергетики, №52, 2019.

23. Холянов В.С. Основы электроэнергетики : учеб.-метод. комплекс / В. С. Холянов, О. М. Холянова. - Москва : Проспект, 2018. - 190 с.

24. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учеб. пособие / В.П.

Шеховцов. 3-е изд., испр. М. : Форум; ИНФРА-М, 2019. 214 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1009603> (дата обращения 06.010.2022).

25. Электрооборудование складского хозяйства [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Studbooks.net». URL: [https://studbooks.net/756853/matematika\\_himiya\\_fizika/tehnologicheskiiy\\_protse\\_s\\_gomelskogo\\_sisteme\\_elektrosnabzheniya](https://studbooks.net/756853/matematika_himiya_fizika/tehnologicheskiiy_protse_s_gomelskogo_sisteme_elektrosnabzheniya) (дата обращения 16.09.2022)

26. Электрооборудование цеховых подстанций [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Школа для электрика». URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/368-transformatornye-podstancii-v-sistemakh.html> (дата обращения 15.09.2022)

27. Электроснабжение промышленных зданий [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Studfile.Net». URL: <https://studfile.net/preview/6761273/page:11/> (дата обращения 22.09.2022)

28. Электроснабжение промышленного предприятия [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Window.Edu». URL: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/109/57109/27553> (дата обращения 20.09.2022)

29. Эрнст А.Д. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах: Учеб. пособие. — Нижневартовск: Изд-во НГГУ, 2018. — 86 с. URL: <https://nvsu.ru/ru/Intellekt/1134/Ernst%20A.D.%20Raschet%20tokov%20korotkogo%20zamikaniya%20-%20Uch.%20posobie%20-%202012.pdf> (дата обращения 17.09.2022)

30. Analysis of a large industrial enterprise power. Available at: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/69/e3sconf\\_energy-212020\\_06005.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/69/e3sconf_energy-212020_06005.pdf) (accessed 20.09.2022)

31. Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8764188> (accessed 22.09.2022)

32. Electrical equipment for melting metals. Internet portal «Dy-Kast». Available at: <https://www.dykast.com/products/melting-equipment/2722> (accessed 02.08.2022)

33. Optimization model of power supply system of industrial enterprise. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2018. — T. 450 (№ 7) Available at: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/128987> (accessed 19.09.2022)

34. Scheme of power supply of industrial enterprises. Internet portal «ResearchGate». Available at: [https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-power-supply-of-industrial-enterprises\\_fig1\\_317901271](https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-power-supply-of-industrial-enterprises_fig1_317901271) (accessed 02.10.2022)