

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

С.А. Дмитриев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2022

Аннотация

Выпускная квалификационная работа бакалавра направлена на разработку технических мероприятий по реконструкции системы внутреннего электроснабжения комплекса складских помещений и направлена на повышение надежности электроснабжения потребителей, снижение аварийности и обеспечение качества выпускаемой на предприятии продукции.

В работе приводится краткая характеристика производственного объекта, выпускаемой им продукции и существующей системы электроснабжения. В работе были произведены вычисления ожидаемых электрических нагрузок на предприятии, отдельно произведён расчёт нагрузок для силовых электроприемников и для системы искусственного внутреннего освещения. Рассчитана необходимая мощность силовых трансформаторов для комплектной трансформаторной подстанции, от которых будет получать питание производственный корпус. Произведены обоснование и выбор схемы внутреннего электроснабжения комплекса складских помещений.

Произведены предварительные расчёты по выбору кабелей, используемых в системе внутреннего электроснабжения, определён их тип и необходимое сечение как для групповых сетей, так и для проводников к отдельным электроприемникам. Выполнен расчёт токов короткого замыкания в системе внутреннего электроснабжения комплекса складских помещений. Определён состав, места размещения и номинальные токи коммутационно-защитных аппаратов, выбранные аппараты проверены на возможность отключения токов короткого замыкания. Для комплекса складских помещений определены параметры системы заземления, а также требования по организации молниезащиты корпусов.

Работа состоит из пояснительной записки объёмом 64 листа, в которую входит 2 графических рисунка и 10 таблиц, в которых собраны результаты расчётов и исходные данные. Графическая часть работы составит из 6 листов, на которых присутствуют чертежи и плакаты, выполненные на формате А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Какая характеристика комплекса складских помещений	5
2 Расчёт электрических нагрузок вот силовых электроприемников складского комплекса	8
3 Расчёт электрической нагрузки системы искусственного освещения	23
4 Расчёт номинальной мощности питающей КТП	26
5 Расчёт номинальных нагрузок отдельных ЭП и выбор сечений питающих линий	35
6 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения складского комплекса	44
7 Выбор и проверка электрических аппаратов, устанавливаемых в системе электроснабжения складского комплекса	52
8 Расчёт системы искусственного заземления складского комплекса	57
Заключение	60
Список используемых источников	62

Введение

В систему электроснабжения производственного объекта входят все электроприёмники, проводники, аппараты, коммутационно-защитная аппаратура и автоматика, необходимые для передачи и распределения электрической энергии по территории предприятия от источника внешнего электроснабжения до конечных потребителей.

Проект системы электроснабжения должен обеспечивать в первую очередь соблюдение требований безопасности, обеспечения жизни и здоровья обслуживающего персонала и работников предприятия, выполнение требований к надежности электроснабжения отдельных групп потребителей электрической энергии, при этом стараются сократить затраты как на строительство системы электроснабжения, так и потери во время эксплуатации. Система должна быть эргономичной, удобной, легко масштабируемой и перестраиваемой [1]. Сети цехового электроснабжения выполняются как правило на напряжение ниже 1000 В, в них входят изолированные проводники и низковольтные коммутационные аппараты [2].

Современные складские комплексы являются высокоавтоматизированными объектами, на которых повышенное внимание уделяется вопросам обеспечения безопасных условий труда персонала, энергосбережению в установках наружного и внутреннего освещения, а также обеспечению надежного функционирования электроприемников с целью минимизации времени простоя оборудования.

Основной целью выпускной квалификационной работы бакалавра является повышение надежности электроснабжения потребителей, снижение аварийности и обеспечение качества предоставляемых услуг по хранению и обработке грузов. В основные задачи работы входит расчёт электрических нагрузок как силовых электроприемников, такие системы внутреннего искусственного освещения, выбор проводников, коммутационных защитных аппаратов, расчёт и проверка выбранных аппаратов на стойкость к токам КЗ.

1 Какая характеристика комплекса складских помещений

Складские комплексы делятся на следующие категории:

Назначение – перевалочные, распределительные, специальные;

Специализация – универсальные, смешанные, узкоспециализированные склады;

Режим хранения – неотапливаемые или отапливаемые, помещения, оборудованные рефрижераторами или с определенными климатическими условиями;

Типы планировки и застройки – открытые, перекрытые навесами, закрытые здания.

Однако такая классификация не всегда дает правильную оценку пригодности складов. Сейчас в России существуют комплексы, оставшиеся еще со времен СССР. Они не позволяют рационально распоряжаться складом: планировка и высота комплексов, размеры ворот, их небольшое количество препятствуют организации динамичного грузопотока, особенно в Москве.

Сегодня принята система, отражающая, насколько склад(складское) подготовлен для пригодности в применении к современным стандартам. Самыми высокими эксплуатационными характеристиками обладает склад А.

Выбор помещения в зависимости от класса. Подразделение на них осуществляется, учитывая особенности логистических потоков Москвы, области, других крупных регионов России. Оно позволяет подобрать комплекс в соответствии с требованиями к эксплуатационным качествам недвижимости.

Помещения вида D. Склад D присваиваются складские комплексы, если он располагается в старых неотапливаемых производственных объектах. К этим складам предъявляются минимальные требования. Такой склад пригоден для грузов с низкими требованиями к условиям хранения.

Помещения вида С. Комплекс этой категории часто находится на территории бывшего производственного сооружения 1950 – 90 годах постройки. На складе имеются устаревшие инженерные коммуникации.

Высота потолков в таком складе – от 3,5 до 5 метров. В качестве пола на складе выступает покрытие из бетона или асфальта. Такие складские помещения требуют модернизации, демонтажа оборудования, чтобы отвечать современным грузопотокам, особенно Москвы.

Помещения вида В. Склады класса В выступают капитальные одноэтажные и многоэтажные объекты, построенные в 1970 – 1990 годах с высотой потолков от 4 до 8 метров. Центральное отопление на складе обеспечивает температурный режим от +10 до +18 градусов по Цельсию. В комплексах (класс В) имеется противопожарная сигнализация и гидратные системы тушения пожаров. Склад В оборудован пандусами либо рампами с целью погрузки/разгрузки автотехники, телевизионными коммуникациями, офисами, охраной по всему периметру. Такие постройки нуждаются в изменениях для повышения эффективности работ, особенно если речь идет о крупных торговых компаниях Москвы.

Помещения вида А. Здание класса А – это склад, построенный по самым высоким стандартам качества и призванный обеспечивать наилучшие условия хранения для любых типов грузов. Склад должен соответствовать определенным требованиям:

- комплекс должен быть построен специально для данного вида деятельности. Помещение для хранения класса А находится вблизи основных транспортных магистралей и обеспечено прямым доступом к складской территории прямо с трассы или же имеет сообщение с ней через дороги-сателлиты;

- склад класса А адаптирован под любые габариты и вес грузов, скорость грузооборота, как правило, – высокая;

- склад класса А – это одноэтажный склад с высотой потолков от 8 м., позволяющий устанавливать стеллажи, конвейеры и другое оборудование на складе (не исключая мезонинные конструкции стеллажей). Пространственная планировка складского склада не должна предполагать секционных и коридорных решений. Оптимальное здание – это однообъемное сооружение;

- пол на складе – усиленный бетонный, с антипылевым поверхностным слоем. Он должен обеспечивать безопасность движения и быстрое перемещение по территории погрузочной техники. При проектировании бетонного основания пола учтены такие нагрузки на его поверхность, которые позволят пользоваться помещением по максимуму: применять тяжелое складское оборудование и загружать стеллажи во всю высоту;

- склад А имеет увеличенный шаг колонн, позволяющий размещать в любом порядке стеллажи и выбирать любую схему движения кладовщиков и техники;

- на 1000 м. кв. склада приходится не менее одних погрузочно-разгрузочных ворот, каждые из которых имеют обособленную территорию выгрузки и погрузки;

- склад А оборудован всеми необходимыми автономными инженерными коммуникациями, включая отопительные приборы;

- в здании высшего класса имеются такие современные системы безопасности, как сигнализация и спецпожаротушение;

- у зоны ворот установлены гидравлические подъемники, а также докшелтеры;

- пространство вокруг склада благоустроено и составляет не меньше сорока процентов от всей площади застройки;

- комплекс оснащен современным остеклением, а его несущее ограждающая конструкция выполнена из качественных материалов.

На территории складского комплекса расположены в основном электроприёмники, относящиеся к третьей категории по надежности электроснабжения, но значительную долю составляют электроприёмники 1 категории к которым относится система противопожарного обеспечения, система аварийного освещения, а также дымоудаления и система вентиляции.

Выводы по разделу. В разделе приведена характеристика складского комплекса, указаны основные требования, предъявляемые к комплексу складских помещений, характеристики ЭП по надежности электроснабжения.

2 Расчёт электрических нагрузок вот силовых электроприемников складского комплекса

Расчётная нагрузка определяется для групповых сетей и используется для выбора проводников, защитных аппаратов, а также мощности цеховых трансформаторных подстанций.

Произведем расчет ожидаемых электрических нагрузок на примере распределительного щита номер один:

Для электроприемников работающих в длительном или продолжительном режиме работы их паспортная мощность принимается равной номинальной [3, 4]:

$$P_{ном} = P_{пасп} \cdot \quad (1)$$

где « $P_{пасп}$ - номинальная мощность электроприёмника» [3].

При отсутствии на плане здания установленных электроприемников и сведений об их мощностях, нагрузка розеточной сети принимается по нормативным документам в зависимости от числа розеток:

$$P_{ном} = 2 \text{ кВт} \cdot$$

Определяем групповую номинальную мощность для электроприемников записанных от распределительного щита номер 4:

$$P_{ном} = n \cdot P_{пасп} \cdot \quad (2)$$

где « n – количество электроприёмников;

$P_{пасп}$ - номинальная мощность установленного электроприёмника» [3].

Расчёты производим для электрифицированного подъёмного механизма, умножаем известную номинальную мощность 1,1 кВт на количество таких электроприемников равное двум.

$$P_{ном} = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ кВт}.$$

Поскольку среди электроприемников имеются однофазная то их мощность необходимо пересчитать в условную трехфазную нагрузку.

Для этого электроприёмники распределяем по фазам стараясь добиться максимальной равномерности, после распределения определяем нагрузку наиболее и наименее загруженные фазы и находим значение неравномерности распределения нагрузки:

$$H = \frac{P_{ф.наиб} - P_{ф.наим}}{P_{ф.наим}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

$$H = \frac{2,5 - 1,89}{1,89} \cdot 100\% = 32,3 \text{ \%}.$$

где « $P_{ф.наиб}$ » - номинальная мощность наиболее загруженной фазы;

« $P_{ф.наим}$ » - номинальная мощность наименее загруженной фазы» [3].

Поскольку полученное значение неравномерности превышает пороговое 15%, то условная трехфазная мощность определяется как мощность наиболее загруженной фазы, умноженная на 3:

$$P_{ном} = 3 \cdot P_{ф.наиб}, \quad (4)$$

$$P_{ном} = 3 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ кВт}.$$

Для итогового значения мощностей по распределительному щиту номер один определяем показатель силовой сборки:

$$m = \frac{P_{\text{ном.наиб}}}{P_{\text{ном.наим}}}, \quad (5)$$

$$m = \frac{2}{0,24} = 8,33. \quad (6)$$

где « $P_{\text{ном.наиб}}$ - номинальная мощность наибольшего ЭП в группе;

$P_{\text{ном.наим}}$ - номинальная мощность наименьшего ЭП в группе» [3].

В зависимости от полученного значения коэффициента m , общего количества электроприемников, подключенных к узлу питания, их мощности и типа, а также группового коэффициента использования, определяется эффективное число электроприемников.

Для данной группы электроприемников находим средние значения активной и реактивной мощности за наиболее нагруженную смену.

$$P_{\text{см}} = k_u \cdot P_{\text{ном}}, \quad (7)$$

$$P_{\text{см}} = 0,7 \cdot 7,5 = 5,25 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi, \quad (8)$$

$$Q_{\text{см}} = 5,25 \cdot 0,36 = 1,9 \text{ квар}.$$

где « k_u - коэффициент использования;

$P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность для группы ЭП;

$P_{\text{см}}$ - активная мощность за наиболее загруженную смену» [3].

Находим произведение количества электроприемников на квадрат единичной мощности [5, 6]:

$$n \cdot P_{НОМ}^2, \quad (9)$$

$$n \cdot P_{НОМ}^2 = 1 \cdot 2^2 = 4 \text{ кВт}^2.$$

Для распределительного щита номер один выписываем исходное количество электроприемников и справочные значения коэффициента использования и мощности n , k_u , $\cos \varphi$, $\text{tg} \varphi$, $n \cdot P_{НОМ}^2$.

$$n = \sum n, \quad (10)$$

$$n = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7 \text{ шт.}$$

$$k_u = \frac{\sum P_{СМ}}{\sum P_{НОМ}}, \quad (11)$$

$$k_u = \frac{5,25}{7,5} = 0,7.$$

где « $\sum P_{СМ}$ - суммарная активная мощность за наиболее загруженную смену;

$\sum P_{НОМ}$ - суммарная номинальная мощность для группы ЭП» [3].

$$\text{tg} \varphi = \frac{\sum Q_{СМ}}{\sum P_{СМ}}, \quad (12)$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{1,9}{5,25} = 0,36.$$

где « $\sum Q_{СМ}$ - суммарная активная мощность за наиболее загруженную смену;

$\sum P_{СМ}$ - суммарная активная мощность за наиболее загруженную смену» [3];

$$\cos \varphi = \cos(\text{arctg}(\text{tg})), \quad (13)$$

$$\cos \varphi = \cos(\text{arctg}(0,36)) = 0,94.$$

$$\sum n \cdot P_{НОМ}^2, \quad (14)$$

$$\sum n \cdot P_{НОМ}^2 = 4 + 1 + 1,96 + 0,4225 + 0,25 + 0,25 + 0,0576 = 7,9.$$

где «n – количество электроприёмников;

$P_{НОМ}$ - номинальная мощность одного электроприёмника» [3].

По упрощенному выражению для распределительного щита номер 1 находим эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{Э}} = 2 \cdot \frac{\sum P_{НОМ}}{P_{НОМ.наиб}}, \quad (15)$$

$$n_{\text{Э}} = 2 \cdot \frac{7,5}{2} = 7,5.$$

где « $\sum P_{НОМ}$ - суммарная номинальная мощность для группы ЭП;

$P_{НОМ.наиб}$ - номинальная мощность наибольшего ЭП в группе» [3].

Так как полученное значение эффективного числа электроприемников не может превышать фактического числа установленных электроприемников, то далее принимаем $n_{\text{Э}}$ равным 7.

По номограммам или справочным таблицам, приведённым в литературе, находим значение расчётного коэффициента при эффективном числе электроприемников равным 7 и групповом коэффициенте использования родном 0,7.

Расчетные нагрузки для распределительного щита номер 1 определяем по приведённым ниже формулам, в них используются найденное ранее значение расчётного коэффициента. Расчётный коэффициент по реактивной мощности принимается равным 1,1, так как эффективное число электроприемников меньше 10:

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{см}, \quad (16)$$

$$P_p = 1,4 \cdot 5,25 = 5,46 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{см}, \quad (17)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 1,9 = 2,1 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (18)$$

$$S_p = \sqrt{5,46^2 + 2,1^2} = 5,85.$$

Найдем для ЩР1 значение расчётного тока:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (19)$$

$$I_p = \frac{5,85}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 8,9 \text{ А.}$$

где « S_p - расчётная полная мощность;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение» [3].

По приведенной выше методике производим расчёт ожидаемых электрических нагрузок по каждому узлу питания, полученные результаты расчетов сводим в таблицу 1.

Выводы по разделу. Приведена методика расчёта силовых электрических нагрузок, на примере распределительного щита подробно показано определение расчётной электрической нагрузки, для остальных групп электроприемников выполнены аналогичные расчёты, а полученные результаты определения итогового значения расчётной нагрузки по комплексу складских помещений приведены в итоговой таблице.

Таблица 1 – Итоговые значения к расчёту ожидаемых электрических нагрузок по каждому узлу питания

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{ном}, кВт$	$P_{ном}$ всех, кВт	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$\frac{K_{и}}{P_{ном}}$	$\frac{K_{и}}{P_{ном}} \cdot tg\varphi$	$\frac{n \cdot P_{ном}}{P_{ном}}$	$n_{э}$	K_p	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Розеточная сеть пом. №3 и №35 по плану	1	2	7,5	0,7	0,94	0,36	5,25	1,9	4	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №6 и №7 по плану	1	1							1						
Розеточная сеть пом. №4 и №5 по плану	1	1,4							1,96						
Система освещения пом. №2, №3, №7 и №35	1	0,65							0,4225						
Система освещения пом. №1, №4, №5 и №6	1	0,5							0,25						
Ящик пониж. напряжения 220/12	1	0,5							0,25						
Уст. воздухообмена	1	0,24							0,0576						
Всего по распред. щиту №1	7	2/0,24	7,5	0,7	0,94	0,36	5,25	1,9	7,9401	7	1,04	5,46	2,1	5,85	8,9

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{НОМ}, кВт$	$P_{НОМ}$ всех, кВт	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_{НОМ}$	$K_{и} \cdot P_{НОМ} \cdot tg\varphi$	$n \cdot P_{НОМ} \cdot P_{НОМ}$	$n_{э}$	K_p	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Розеточная сеть пом. №13 и №14	1	3	22,7	0,6	0,94	0,36	13,6	5	9	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №3, №11 и №12	1	2,8							7,84						
Розеточная сеть пом. №5, №6, №8 и №9	1	2,2							4,84						
Розеточная сеть пом. №27	1	1							1						
Система освещения пом. №1, №2 и №27	1	0,6							0,36						
Система освещения пом. №4, 5, 5а, 6, 8, №9, 9а, 10, 11 12	1	1							1						
Система освещения пом. №3, №13 и №14	1	0,7							0,49						
Система освещения пом. №7	1	0,45							0,2025						
Доп. устройства	1	3,1							9,61						
Доп. устройства	1	1,7							2,89						
Отвод стоков	1	0,054							0,003						
Уст. воздухообмена	1	0,6	0,36												
Всего по распред. щиту №2	12	3,1/0,054	22,7	0,6	0,94	0,36	13,6	5	37,6	14	1	13,6	5	14,5	22

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{ном}, кВт$	$P_{ном}$ всех, кВт	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$	$n \cdot P_{ном} \cdot P_{ном}$	$n_{э}$	K_p	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Розеточная сеть пом. №12 и №13	1	3	31,7	0,4	0,94	0,36	12,7	4,6	9	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №9 и №11	1	3							9						
Розеточная сеть пом. №6, №8 и №10	1	2,5							6,25						
Розеточная сеть пом. №3, №4 и №5	1	2,5							6,25						
Система освещения пом. №1, №2 и №7	1	0,5							0,25						
Система освещения пом. №3, №4, №5, №6, №8 и №10	1	0,9							0,81						
Система освещения пом. №9, №11, №12 и №13	1	0,8							0,64						
Доп. устройства	1	3,1							9,61						
Доп. устройства	1	2,18							4,75						
Отвод стоков	1	0,072							0,005						
Уст. воздухообмена	1	0,52							0,27						
Всего по распредел. щиту №3	11	3,1/0,072	31,7	0,4	0,94	0,36	12,7	4,6	46,8	20	1	12,7	4,6	13,5	20,5

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{ном}, кВт$	$P_{ном}$ всех, кВт	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$	$n \cdot P_{ном} \cdot P_{ном}$	$n_{э}$	K_p	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$						
Транспортер	1	1,1	1,1	0,7	0,85	0,62	0,77	0,48	1,21	-	-	-	-	-	-						
Транспортер	1	1,1	1,1	0,7	0,85	0,62	0,77	0,48	1,21												
Обмотчик	1	1,1	1,1	0,5	0,8	0,75	0,55	0,41	1,21												
Привод вьезда	1	0,4	17,01	0,65	0,9	0,48	11,06	5,35	0,16												
Привод вьезда	1	0,4							0,16												
Розеточная сеть пом. №15, 15а, №16, 18, 19, 20	1	3,5							12,25												
Розеточная сеть пом. №23	1	2							4												
Розеточная сеть пом. №37	1	1							1												
Система освещения пом. №17, №19, №20 и над входами	1	0,3							0,09												
Система освещения пом. №21, №22 и №23	1	0,4							0,16												
Система освещения пом. №14, 15, 15а, №16, 18, 37, 38	1	0,8							0,64												
Освет. установки	1	1							1												
Уст. воздухообмена	1	0,34							0,1												
Электрич. обогрев	1	3,37							11,36												
Всего по распред. щиту №4	14	3,5/0,3							20,31	0,65	0,89	0,5	13,15	6,72	34,56	11	1	13,15	6,72	14,8	22,4

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{ном}, кВт$	$P_{ном}$ всех, кВт	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$	$n \cdot P_{ном} \cdot P_{ном}$	$n_{э}$	K_p	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Транспортер	2	1,1	2,2	0,7	0,85	0,62	1,54	0,95	2,42	-	-	-	-	-	-
Электроплощадка	1	0,75	2,25	0,75	0,9	0,48	1,69	0,82	0,56						
Привод въезда	2	0,4							0,32						
Всего по щиту силовому №1	5	1,1/0,4	4,45	0,725	0,88	0,55	3,2	1,77	3,3	5	1,03	3,3	1,95	3,85	5,85
Транспортер	3	1,1	3,3	0,7	0,85	0,62	2,31	1,43	3,63	-	-	-	-	-	-
Привод въезда	3	0,4	1,2	0,75	0,9	0,48	0,9	0,436	0,48						
Всего по щиту силовому №2	6	1,1/0,4	4,5	0,71	0,86	0,58	3,21	1,87	4,11	6	1,01	3,24	2,05	3,8	5,8
Розеточная сеть пом. №36	1	2	6	0,6	0,94	0,36	3,6	1,3	4	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №39	1	1							1						
Система освещения пом. №39	1	0,2							0,04						
Система освещения пом. №8, №9 и №36	1	0,3							0,09						
Ящик пониж. напряжения 220/12	1	0,25							0,0625						
Уст. воздухообмена	1	0,1							0,01						
Всего по распред. щиту №5	6	2/0,1	6	0,6	0,94	0,36	3,6	1,3	5,2	6	1,06	3,8	1,44	4,08	6,2
Розеточная сеть пом. №15 и №16	1	1,8	-	-	-	-	-	-	3,24	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №17 и №18	1	2,1	-	-	-	-	-	-	4,41	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{ном}, кВт$	$P_{ном}$ всех, кВт	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$	$n \cdot P_{ном} \cdot P_{ном}$	$n_{э}$	K_p	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Розеточная сеть пом. №20, №21 и №22	1	3	18,66	0,7	0,9	0,48	13,062	6,33	9	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №23 и №24	1	1,4							1,96						
Система освещения пом. №19	1	0,5							0,25						
Система освещения пом. №23, №24, №25 и №26	1	0,4							0,16						
Система освещения пом. №20, №21 и №22	1	0,8							0,64						
Система освещения пом. №17 и №18	1	0,3							0,09						
Система освещения пом. №15 и №16	1	0,6							0,36						
Доп. устройства	1	3,1							9,61						
Доп. устройства	2	1							2						
Отвод стоков	1	0,16							0,0256						
Уст. воздухообмена	1	0,06							0,0036						
Всего по распредел. щиту №6	14	3,1/0,06	18,66	0,7	0,9	0,48	13,062	6,33	31,75	12	1	13,062	6,33	14,5	22,05
Розеточная сеть пом. №14 и №15	1	3	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{ном}, кВт$	$P_{ном}$ всех, кВт	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$	$n \cdot P_{ном} \cdot P_{ном}$	$n_{э}$	K_p	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Розеточная сеть пом. №16 и №17	1	2,5	38,25	0,4	0,9	0,48	15,3	7,4	6,25	-	-	-	-	-	-
Розеточная сеть пом. №19, №20 и №21	1	3							9						
Розеточная сеть пом. №20 и №23	1	1,4							1,96						
Система освещения пом. №18	1	0,5							0,25						
Система освещения пом. №22, №23, №24 и №25	1	0,4							0,16						
Система освещения пом. №19, №20 и №21	1	0,8							0,64						
Система освещения пом. №16 и №17	1	0,3							0,09						
Система освещения пом. №14 и №15	1	0,6							0,36						
Доп. устройства	2	3,1							19,22						
Доп. устройства	1	2,18							4,75						
Отвод стоков	1	0,11							0,0121						
Уст. воздухообмена	1	0,06							0,0036						
Всего по распред. щиту №7	14	3,1/0,06							38,25						

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{НОМ}, кВт$	$P_{НОМ}$ всех, кВт	k_u	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$\frac{K_{и}}{P_{НОМ}}$	$\frac{K_{и}}{P_{НОМ}} \cdot tg \varphi$	$\frac{n \cdot P_{НОМ}}{P_{НОМ}}$	$n_{Э}$	K_p	$P_p', кВт$	$Q_p', квар$	$S_p', кВА$	$I_p, А$
Транспортер	2	1,1	2,2	0,7	0,85	0,62	1,54	0,95	2,42	-	-	-	-	-	-
Обмотчик	1	1,1	1,1	0,5	0,8	0,75	0,55	0,4	1,21						
ЦТП	1	5,5	5,5	0,7	0,85	0,62	3,85	2,39	30,25						
Привод въезда	2	0,4	15,6	0,7	0,9	0,48	10,92	5,29	0,32						
Розеточная сеть пом. №27, №28, №30, №31а и №32	1	3,5							12,25						
Розеточная сеть пом. №24	1	2							4						
Розеточная сеть пом. №34	1	1							1						
Система освещения пом. №27, №28, №29 и над входами	1	0,3							0,09						
Система освещения пом. №24, №25 и №26	1	0,4							0,16						
Система освещения пом. №30, №31, №31а и №32	1	0,8							0,64						
Освет. установки	1	1							1						
Уст. воздухообмена	1	0,16							0,0256						
Электрич. обогрев	1	3,37							11,36						
Всего по распред. щиту №8	15	5,5/0,16	24,4	0,69	0,88	0,54	16,86	9,04	64,7						

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприем. или узла	$n, шт$	$P_{ном}, кВт$	$P_{ном}$ всех, кВт	k_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$\frac{K_{и}}{P_{ном}}$	$\frac{K_{и}}{P_{ном}} \cdot tg\varphi$	$n \cdot P_{ном} \cdot P_{ном}$	$n_{э}$	K_p	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$
Щит телемеханики 2	1	3,28	3,28	1	0,92	0,426	3,28	1,4	10,76	-	-	3,28	1,4	3,6	5,4
Итоговые данные по вводному шкафу	56	5,5/0,054	95,09	0,58	0,9	0,5	55,3	27,35	168,24	34	1	55,3	30,08	62,96	95,7
Силовой щит 1го въезда	1	2	2	0,5	0,92	0,426	1	0,426	4	-	-	1	0,426	1,09	1,65
Силовой щит 2го въезда	1	2	2	0,5	0,92	0,426	1	0,426	4	-	-	1	0,426	1,09	1,65
Щит телемеханики 1	1	3,28	3,28	1	0,92	0,426	3,28	1,4	10,76	-	-	3,28	1,4	3,6	5,4
Вводно-распред. устройство без освет. установок	108	5,5/0,054	188,9	0,57	0,91	0,46	108,38	49,49	316,46	68	1	108,38	54,4	121,3	184,27
Осветительные установки корпуса	-	-	9,488	-	0,97	0,25	5,7	1,42	-	-	-	5,7	1,42	5,87	8,9
Вводно-распред. устройство ВСЕГО	108	5,5/0,054	198,38	0,575	0,91	0,45	114,1	50,91	316,46	72	1	114,1	50,91	124,92	189,8

3 Расчёт электрической нагрузки системы искусственного освещения

Расчёт системы искусственного освещения производим по методу коэффициента использования в соответствии с нормативными требованиями СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

Для выполнения расчёта по данному методу необходимо знать следующие исходные данные, это геометрические размеры помещения, такие как его длина $A=29,25$ м, ширина $B=6,74$ м и высота помещения $H=12$ м.

Внутри складского помещения используем энергосберегающие светильники со светодиодными источниками света производства «Varton».

Геометрические размеры производственных помещений, коэффициенты запаса по световому потоку и коэффициенты отражения поверхностей заносим в таблицу номер 2.

Таблица 2 – Геометрические размеры производственных помещений, коэффициенты запаса по световому потоку и коэффициенты отражения поверхностей

Произв. зона	$A, м$	$B, м$	$H, м$	$K_z, о.е.$	$K_{отр.пот}, \%$	$K_{отр.стен}, \%$	$K_{отр.пол}, \%$
Разгрузки-погрузки	26	6,2	12	1,5	70	50	20
Разгрузки-погрузки	29,25	6,74	12	1,5	70	50	20
Склада	39	53,17	12	1,5	70	50	20
Разгрузки-погрузки	33,8	7,28	12	1,5	70	50	20
Разгрузки-погрузки	26	5,52	12	1,5	70	50	20
Склада	39	52,75	12	1,5	70	50	20

Определяем индекс помещения в зависимости от его площади, высоты, высоты рабочей поверхности и расстояния от потолка до размещаемого светильника [7, 8]:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (A + B)}, \quad (20)$$

$$i = \frac{197,11}{(12 - 0 - 0) \cdot (29,25 + 6,74)} = 0,46.$$

где «S – площадь помещения;

H – высота помещения;

A – длина помещения;

B – ширина помещения» [7].

План найденному значению индекса помещения, а также известным коэффициентам отражения для потолочной поверхности, поверхности стен помещения и поверхности напольного покрытия находим значение коэффициента использования для выбранного типа светильника $K_u = 0,59$.

Определяем необходимое для установки в данном помещении число светильников в зависимости от требуемой горизонтальной освещенности, светового потока, геометрических размеров помещения и принятых коэффициентов запаса и использования, зависящих от условий эксплуатации системы освещения:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_z}{k_u \cdot n \cdot \Phi}, \quad (21)$$

где «E – требуемая освещённость;

k_z - коэффициент запаса;

k_u - коэффициент использования;

Φ - световой поток» [7].

Определим суммарную мощность светильников внутри помещения №10:

$$P = N \cdot p, \quad (22)$$

$$P = 8 \cdot 36 = 288 \text{ Вт.}$$

где «N – количество светильников в помещении;

p – мощность одного светильника» [7].

Данную методику применяем при определении необходимого числа светильников для установки в остальных складских помещениях.

В таблицу 3 сводим полученные результаты расчётов, в которые входят: выбранный тип светильника, его световой поток, номинальная мощность одного выбранного светильника, количество светильников в каждом помещении, и номинальная мощность системы освещения для каждого из складских помещений.

Таблица 3 – Выбранный тип светильника, его световой поток, номинальная мощность одного выбранного светильника, количество светильников в каждом помещении, и номинальная мощность системы освещения для каждого из складских помещений

Произв. зона	Марка ист. осв.	Φ , лм	P , Вт	N , шт	P_{Σ} , Вт
Разгрузки-погрузки	VS IP65	4400	36	6	216
Разгрузки-погрузки	VS IP65	4400	36	8	288
Склада	VI 2.0	10300	80	54	4320
Разгрузки-погрузки	VS IP65	4400	36	8	288
Разгрузки-погрузки	VS IP65	4400	36	6	216
Склада	VI 2.0	10300	80	52	4160

Вывод по разделу: выполнен сбор исходной информации по геометрическим размерам помещений складского комплекса, определены необходимые для расчёта коэффициенты отражения потолка, стен и пола, коэффициенты запаса, связанные с условиями эксплуатации системы освещения, выбран тип светильника, отвечающий современным требованиям к энергосбережению в системах освещения и произведён расчёт необходимого количества светильников для установки в каждом из складских помещений. На основании данных расчётов определены мощности системы внутреннего искусственного освещения.

4 Расчёт номинальной мощности питающей КТП

Поскольку большая часть установленных электроприемников относится к третьей категории по надежности электроснабжения, то для их питания предусматриваем установку на комплектной трансформаторной подстанции, питающей комплекс складских помещений один силовой трансформатор с масляной системой охлаждения.

«Мощность трансформатора, принимаемого к установке» [9, 10]:

$$S_{ном.т} = \frac{P_p}{N_T \cdot K_3}, \quad (23)$$
$$S_{ном.т} = \frac{114,1}{1 \cdot 0,9} = 126,8.$$

где « P_p - расчётная суммарная активная мощность;

N_T - число трансформаторов;

K_3 - коэффициент загрузки трансформатора» [9].

По расчётному значению мощности выбираем ближайшее большее значение номинальной мощности для выбранного типа силовых трансформаторов равное 160 кВА, таким образом с учётом номинальных напряжений в системе внешнего питания и внутренних сетей принимаем к установке силовой трансформатор ТМГ–160/10/0,4.

Технические характеристики силового трансформатора, к которым относятся потери холостого хода и короткого замыкания, напряжение короткого замыкания, ток холостого хода, расчётный коэффициент загрузки силового трансформатора, а также количество трансформаторов, устанавливаемых в одной КТП заносим в таблицу 4.

Таблица 4 – Технические характеристики силового трансформатора

P_{xx} , кВт	$P_{кз}$, кВт	$U_{кз}$, %	i_{xx} , %	K_3	N_T , шт	$S_{ном.т}$, кВА
0,35	2,9	4,5	1,1	0,9	1	160

«Активные потери в СТ» [11]:

$$\Delta P = N_T \cdot P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}, \quad (24)$$

$$\Delta P = 1 \cdot 0,35 + 0,9^2 \cdot 2,9 = 2,7 \text{ кВт.}$$

где « N_T - число трансформаторов;

P_{xx} - потери холостого хода;

K_3 - коэффициент загрузки трансформатора;

$P_{кз}$ - потери короткого замыкания» [9].

Определяем величину потери активной мощности в одном силовом трансформаторе:

$$\Delta Q = N_T \cdot (i_{xx} + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_{ном.т}}{100}, \quad (25)$$

$$\Delta Q = 1 \cdot (1,1 + 0,9^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{160}{100} = 7,6 \text{ квар.}$$

где « i_{xx} - ток холостого хода;

$U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания;

$S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора» [9].

Находим величину активной и реактивной мощности, приведенную к стороне высокого напряжения силовых трансформаторов с учетом потерь в них:

$$\Sigma P_p = P_p + \Delta P, \quad (26)$$

$$\Sigma P_p = 114,1 + 2,7 = 116,6 \text{ кВт.}$$

$$\Sigma Q_p = Q_p + \Delta Q, \quad (27)$$

$$\Sigma Q_p = 50,91 + 7,6 = 58,5 \text{ квар.}$$

Определяем реальный коэффициент загрузки силового трансформатора с учётом его номинальной мощности и величины расчётной протекаемой через него нагрузки:

$$K_{з.д} = \frac{P_p}{NT \cdot S_{ном.т}}, \quad (28)$$

$$K_{з.д} = \frac{114,1}{1 \cdot 160} = 0,71.$$

Находим величину реактивной мощности, которую физически можно передать через силовой трансформатор с учётом принятого коэффициента загрузки:

$$Q_1 = \sqrt{(K_{з.д} \cdot S_{ном.т})^2 - \Sigma P_p^2}, \quad (29)$$

$$Q_1 = \sqrt{(0,71 \cdot 160)^2 - 116,6^2} = 84,226 \text{ квар.}$$

Определяем необходимую мощность устройств компенсации в соответствии с определенной ранее максимальной передаваемой реактивной мощностью через силовой трансформатор:

$$Q_{ку.тп1} = \Sigma Q_p - Q_1, \quad (30)$$

$$Q_{\text{ку.тп1}} = 58,5 - 84,226 = -25,7 \text{ квар.}$$

где « Q_1 - реактивная мощность, которую можно передать через трансформатор с учётом требуемого коэффициента загрузки» [9].

Определяем экономическое значение реактивной мощности потребляемые силовыми трансформаторами подстанции в часы максимальных нагрузок в электроэнергетической системе:

$$Q_{\text{э}} = \text{tg} \varphi_{\text{э}} \cdot \Sigma P_p, \quad (31)$$

$$Q_{\text{э}} = 0,45 \cdot 116,8 = 52,56 \text{ квар.}$$

Определяем мощность конденсаторных установок с учётом экономического коэффициента мощности в период максимума нагрузки в энергосистеме:

$$Q_{\text{ку.тп2}} = \Sigma Q_p - Q_{\text{э}}, \quad (32)$$

$$Q_{\text{ку.тп2}} = 58,5 - 52,56 = 5,94 \text{ квар.}$$

где « $Q_{\text{э}}$ - часть экономической реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной трансформаторной подстанцией» [9].

Из 2 найденных значений выбираем наибольшее $Q_{\text{ку}} = Q_{\text{ку.тп2}} = 5,94$ квар. Полученное расчетное значение целесообразной мощности устройств компенсации не превышает порогового значения в 50 квар, таким образом установка устройства компенсации на данной трансформаторной подстанции нецелесообразна по экономическим соображениям.

В качестве альтернативного варианта рассмотрим возможность применения на трансформаторной подстанции силового трансформатора большей мощности, а именно 250 кВА типа ТМГ–250/10(6).

Технические характеристики силового трансформатора, к которым относятся потери холостого хода и короткого замыкания, напряжение короткого замыкания, ток холостого хода, расчётный коэффициент загрузки силового трансформатора, а также количество трансформаторов, устанавливаемых в одной КТП заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Технические характеристики силового трансформатора

P_{xx} , кВт	$P_{кз}$, кВт	$U_{кз}$, %	i_{xx} , %	$K_з$	N_T , шт	$S_{ном.т}$, кВА
0,51	3,5	4,5	0,45	0,9	1	250

Расчёт потерь в трансформаторах, фактический коэффициент загрузки, а также целесообразную мощность компенсирующих устройств для данной мощности силового трансформатора определяем по приведённым выше формулам, полученные результаты расчётов сводим в таблицу 6.

Таблица 6 – Итоговые данные по определению целесообразной мощности компенсирующих устройств для варианта установки на ТП трансформаторов ТМГ–250/10/0,4

ΔP	ΔQ	ΣP_p	ΣQ_p	$1,3 \cdot S_{ном.т}$	$K_{з.д}$	Q_1	$Q_{ку.тп1}$	$Q_э$	$Q_{ку.тп2}$
3,3	10,2	117,4	61,15	325	0,46	191,9	-130,8	52,85	8,3

По результатам проведённых расчётов, в данном варианте размещение устройств компенсации на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции является нецелесообразным.

Поскольку в обоих вариантах установка устройства компенсации получилось нецелесообразной, то сравнение технико-экономических

показателей для двух вариантов будем производить по стоимости основного оборудования и стоимости потерь электроэнергии в силовых трансформаторах.

Определяем приведённые затраты для первого варианта установки силового трансформатора на ТП ТМГ–160/10/0,4:

$$Z = E_k \cdot K + I, \quad (33)$$

где « E_k - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

K - единовременные капитальные вложения на установку трансформаторной подстанции;

I - ежегодные издержки производства» [9].

Величина капитальных затрат складывается из стоимости самой комплектной трансформаторной подстанции и стоимости размещаемого в ней силового трансформатора:

$$K = K_{ktn} + K_m, \quad (34)$$

где « K_{ktn} - капитальные вложения на установку КТП;

K_m - капитальные вложения на установку трансформатора» [9].

Определим годовую величину издержек:

$$I = I_a + I_{\text{э}}, \quad (35)$$

«Расходы на эксплуатацию, ремонт и амортизационные отчисления» [7]:

$$I_a = \frac{(p_a + p_{\text{э}} + p_p)}{100} \cdot K, \quad (36)$$

где « p_a - норма амортизации;

$p_{\text{э}}$ - расходы на эксплуатацию;

p_p - расходы на ремонт» [9].

Находим стоимость потерь электрической энергии в силовом трансформаторе за год его эксплуатации:

$$I_{\text{э}} = C \cdot \Delta W, \quad (37)$$

где « C - стоимость 1 $\text{kВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии;

ΔW - годовые потери электроэнергии» [9].

Годовые потери электрической энергии [12, 13]:

$$\Delta W = N \cdot (P_{\text{хх}} \cdot t + P_{\text{кз}} \cdot K \frac{2}{3} \cdot \tau), \quad (38)$$

где « τ - время использования максимума потерь» [9].

Определяем продолжительность максимума потерь электрической энергии [14]:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_M}{10000})^2 \cdot t, \quad (39)$$

$$\tau = (0,124 + \frac{2500}{10000})^2 \cdot 8760 = 1225,3 \text{ ч.}$$

Находим суммарные потери электрической энергии в режиме холостого хода и короткого замыкания в силовом трансформаторе комплектной трансформаторной подстанции за один год его эксплуатации с учётом нормируемого коэффициента загрузки:

$$\Delta W = 1 \cdot (0,35 \cdot 8760 + 2,9 \cdot 0,9^2 \cdot 1225,3) = 5944,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определяем затраты на оплату потерь электрической энергии в силовых трансформаторах за 1 год:

$$I_s = 2,4 \cdot 5944,3 = 14266,2 \text{ руб.}$$

Находим суммарную стоимость установки комплектные трансформаторные подстанции и выбранного силового трансформатора:

$$K = 130000 + 129000 = 259000 \text{ руб.}$$

«Расходы на эксплуатацию, ремонт и амортизационные отчисления» [7]:

$$I_a = \frac{(20 + 3 + 2,9)}{100} \cdot 259000 = 67081 \text{ руб.}$$

Определяем годовую величину издержек:

$$I = 67081 + 14266,2 = 81347,2 \text{ руб.}$$

Определяем величину приведённых затрат для установки в КТП 1 трансформатора типа ТМГ–160/10/0,4:

$$Z = 0,15 \cdot 259000 + 81347,2 = 120197,2 \text{ руб.}$$

Таким же образом находим стоимость потерь электрической энергии, а также затраты на установку комплектной трансформаторной подстанции и силовых трансформаторов для второго варианта с установкой в КТП трансформатора мощностью 250 кВА.

Выводы по разделу: с учетом категории надежности электроснабжения потребителей и требуемого коэффициента загрузки силового трансформатора на КТП определена номинальная мощность силового трансформатора. Рассмотрено два варианта установки на комплектной трансформаторной подстанции силовых трансформаторов различной мощности. В обоих рассмотренных вариантах, размещение на ТП устройств компенсации реактивной мощности оказалось экономически нецелесообразным. Дальнейшее сравнение двух вариантов по технико-экономическим показателям проводилось на основе стоимости основного электрооборудования трансформаторной подстанции и самих силовых трансформаторов, а также с учетом стоимости потерь электроэнергии. Расчёты показали, что величина приведённых затрат для варианта установки в ТП трансформатора мощностью 160 кВА меньше, чем для варианта установки в КТП трансформатора мощностью 250 кВА, а значит первый вариант с установкой трансформатора мощностью 160 кВА принимаем для дальнейшего использования.

5 Расчёт номинальных нагрузок отдельных ЭП и выбор сечений питающих линий

Для однофазных электроприемников номинальный ток определяем по приведённой ниже формуле, при этом в ней используется фазное значение напряжения. Расчёт производим на примере установки воздухообмена:

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{U_{НОМ} \cdot \cos \varphi}, \quad (40)$$
$$I_{НОМ} = \frac{0,24}{0,22 \cdot 0,94} = 1,1 \text{ А.}$$

При определении номинального значения тока для трёхфазных электроприемников их активную мощность делим на линейное напряжение, корень из 3 и коэффициент мощности. Расчёт производим на примере транспортёра:

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi}, \quad (41)$$
$$I_{НОМ} = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 1,93 \text{ А.}$$

В таблице 8 приведены результаты однотипных расчётов по определению номинальных токов электроприемников, выполненные по формулам 40 и 41.

Для уменьшения количества страниц, занимаемых таблицей 7 в колонках 1 и 3 указываем наименование электроприемников, а в колонки 2 и 4 заносим расчётное значение номинального тока для данного вида электроприемников.

Таблица 7 – Результаты расчётов номинальных токов для отдельных электроприемников складского комплекса

Наименование ЭП	$I_{ном}$	Наименование ЭП	$I_{ном}, А$
1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №3 и №35 по плану	9	Розеточная сеть пом. №6 и №7 по плану	4,5
Розеточная сеть пом. №4 и №5 по плану	6,3	Система освещения пом. №2, №3, №7 и №35	2,9
Система освещения пом. №1, №4, №5 и №6	2,3	ЯТПР-220/12	2,2
Уст. воздухообмена	1,1	Розеточная сеть пом. №13 и №14	13,6
Розеточная сеть пом. №3, №11 и №12	12,7	Розеточная сеть пом. №5, №6, №8 и №9	10
Розеточная сеть пом. №27	4,5	Система освещения пом. №1, №2 и №27	2,7
Система освещения пом. №4, 5, 5а, 6, 8, №9, 9а, 10, 11 12	4,5	Система освещения пом. №3, №13 и №14	3,2
Система освещения пом. №7	2	Доп. устройства	14,5
Доп. устройства	7,7	Отвод стоков	0,3
Уст. воздухообмена	2,7	Розеточная сеть пом. №12 и №13	13,6
Розеточная сеть пом. №9 и №11	13,6	Розеточная сеть пом. №6, №8 и №10	11,3
Розеточная сеть пом. №3, №4 и №5	11,3	Система освещения пом. №1, №2 и №7	2,3
Система освещения пом. №3, №4, №5, №6, №8 и №10	4	Система освещения пом. №9, №11, №12 и №13	3,6
Доп. устройства	14,5	Доп. устройства	10
Отвод стоков	0,33	Уст. воздухообмена	2,4
Транспортер	1,93	Транспортер	1,93
Привод въезда	4	Привод въезда	4
Обмотчик	1,7	Розеточная сеть пом. №15, 15а, №16, 18, 19, 20	15,9
Розеточная сеть пом. №23	9	Розеточная сеть пом. №37	4,5
Система освещения пом. №17, №19, №20 и над входами	1,36	Система освещения пом. №21, №22 и №23	1,9
Система освещения пом. №14, 15, 15а, №16, 18, 37, 38	3,6	Освет. установки	4,5
Уст. воздухообмена	1,55	Электрич. обогрев	19,8
Транспортер	1,93	Транспортер	1,93
Электроплощадка	3,8	Привод въезда	4

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
Привод вьезда	4	Транспортер	1,93
Транспортер	1,93	Транспортер	1,93
Привод вьезда	4	Привод вьезда	4
Привод вьезда	4	Розеточная сеть пом. №36	9
Розеточная сеть пом. №39	4,5	Система освещения пом. №39	0,9
Система освещения пом. №8, №9 и №36	1,4	ЯТПР-220/12	1,18
Уст. воздухообмена	0,5	Розеточная сеть пом. №15 и №16	8,1
Розеточная сеть пом. №17 и №18	9,5	Розеточная сеть пом. №20, №21 и №22	13,6
Розеточная сеть пом. №23 и №24	6,3	Система освещения пом. №19	2,3
Система освещения пом. №23, №24, №25 и №26	1,8	Система освещения пом. №20, №21 и №22	3,6
Система освещения пом. №17 и №18	1,4	Система освещения пом. №15 и №16	2,7
Доп. устройства	14,5	Доп. устройства	4,5
Доп. устройства	4,5	Отвод стоков	0,7
Уст. воздухообмена	0,3	Розеточная сеть пом. №14 и №15	13,6
Розеточная сеть пом. №16 и №17	11,4	Розеточная сеть пом. №19, №20 и №21	13,6
Розеточная сеть пом. №20 и №23	6,4	Система освещения пом. №18	2,3
Система освещения пом. №22, №23, №24 и №25	1,8	Система освещения пом. №19, №20 и №21	3,6
Система освещения пом. №16 и №17	1,4	Система освещения пом. №14 и №15	2,7
Доп. устройства	14,5	Доп. устройства	14,5
Доп. устройства	9,9	Отвод стоков	0,5
Уст. воздухообмена	0,3	Транспортер	1,93
Транспортер	1,93	Привод вьезда	4
Привод вьезда	4	Обмотчик	1,7
ЦТП	10,5	Розеточная сеть пом. №27, №28, №30, №31а и №32	15,9
Розеточная сеть пом. №24	9	Розеточная сеть пом. №34	4,5
Система освещения пом. №27, №28, №29 и над входами	1,36	Система освещения пом. №24, №25 и №26	1,9
Система освещения пом. №30, №31, №31а и №32	3,6	Освет. установки	4,5

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
Уст. воздухообмена	0,73	Электрич. обогрев	19,8
ЩТ2	14,8	Силовой щит 1го въезда	3
Силовой щит 2го въезда	3	ЩТ1	14,3

При выборе проводников расчётное значение тока должно быть меньше указанного производителем длительно допустимого значения с учетом поправочных коэффициентов на способ прокладки, температуру окружающей среды, количество прокладываемых вместе кабелей:

$$I_p \leq K_n \cdot I_{дон}, \quad (42)$$

где « I_p - расчётный ток;

K_n - поправочный коэффициент на условия прокладки;

$I_{дон}$ - допустимый длительный ток» [7];

$$K_n = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (43)$$

где « K_1 - поправочный коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды;

K_2 - поправочный коэффициент на число работающих кабелей;

K_3 - поправочный коэффициент на способ прокладки» [7];

Находим значение поправочных коэффициентов для розеточной сети пом. №3 и №35 и производим сравнение расчётного тока со скорректированным значением указанного производителем длительно допустимого тока для выбранного сечения проводника.

$$K_n = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

$$9 \leq 1 \cdot 27.$$

По результатам расчётов выбираем кабель с медными жилами, негорючей оболочкой, с пониженным выделением дыма при возможном возгорании ВВГнг-LS 3×2,5.

В таблице 8 приведены результаты выбора необходимого сечения кабелей к отдельным электроприемников складского комплекса, а также для групповых сетей. Питание всех электроприемников осуществляется по одному, указанному ранее типу кабеля, при необходимости применения другого типа кабеля его марка указывается рядом с количеством жил и сечением.

Таблица 8 – Результаты выбора необходимого сечения кабелей к отдельным электроприемников складского комплекса, а также для групповых сетей

Наименование ЭП	Число жил x сечение кабеля	Наименование ЭП	Число жил x сечение кабеля
1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №3 и №35 по плану	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №6 и №7 по плану	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №4 и №5 по плану	3 × 2,5	Система освещения пом. №2, №3, №7 и №35	3 × 1,5
Система освещения пом. №1, №4, №5 и №6	3 × 1,5	ЯТПР–220/12	3 × 1,5
Уст. воздухообмена	3 × 1	Розеточная сеть пом. №13 и №14	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №3, №11 и №12	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №5, №6, №8 и №9	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №27	3 × 2,5	Система освещения пом. №1, №2 и №27	3 × 1,5
Система освещения пом. №4, 5, 5а, 6, 8, №9, 9а, 10, 11 12	3 × 1,5	Система освещения пом. №3, №13 и №14	3 × 1,5
Система освещения пом. №7	3 × 1,5	Доп. устройства	3 × 2,5
Доп. устройства	3 × 1,5	Отвод стоков	2 × 1,5
Уст. воздухообмена	3 × 1	Розеточная сеть пом. №12 и №13	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №9 и №11	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №6, №8 и №10	3 × 2,5

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №3, №4 и №5	3 × 2,5	Система освещения пом. №1, №2 и №7	3 × 1,5
Система освещения пом. №3, №4, №5, №6, №8 и №10	3 × 1,5	Система освещения пом. №9, №11, №12 и №13	3 × 1,5
Доп. устройства	3 × 2,5	Доп. устройства	3 × 2,5
Отвод стоков	2 × 1,5	Уст. воздухообмена	3 × 1,5
Транспортер	5 × 1,5	Транспортер	5 × 1,5
Привод въезда	3 × 1,5	Привод въезда	3 × 1,5
Обмотчик	5 × 1,5	Розеточная сеть пом. №15, 15а, №16, 18, 19, 20	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №23	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №37	3 × 2,5
Система освещения пом. №17, №19, №20 и над входами	3 × 1,5	Система освещения пом. №21, №22 и №23	3 × 1,5
Система освещения пом. №14, 15, 15а, №16, 18, 37, 38	3 × 1,5	Освет. установки	3 × 1,5
Уст. воздухообмена	3 × 1	Электрич. обогрев	3 × 4
Транспортер	5 × 1,5	Транспортер	5 × 1,5
Электроплощадка	3 × 1,5	Привод въезда	3 × 1,5
Привод въезда	3 × 1,5	Транспортер	5 × 1,5
Транспортер	5 × 1,5	Транспортер	5 × 1,5
Привод въезда	3 × 1,5	Привод въезда	3 × 1,5
Привод въезда	3 × 1,5	Розеточная сеть пом. №36	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №39	3 × 2,5	Система освещения пом. №39	3 × 1,5
Система освещения пом. №8, №9 и №36	3 × 1,5	ЯТПР–220/12	3 × 1,5
Уст. воздухообмена	3 × 1	Розеточная сеть пом. №15 и №16	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №17 и №18	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №20, №21 и №22	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №23 и №24	3 × 2,5	Система освещения пом. №19	3 × 1,5
Система освещения пом. №23, №24, №25 и №26	3 × 1,5	Система освещения пом. №20, №21 и №22	3 × 1,5

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
Система освещения пом. №17 и №18	3 × 2,5	Система освещения пом. №15 и №16	3 × 1,5
Доп. устройства	3 × 2,5	Доп. устройства	3 × 1,5
Доп. устройства	3 × 1,5	Отвод стоков	2 × 1,5
Уст. воздухообмена	3 × 1	Розеточная сеть пом. №14 и №15	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №16 и №17	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №19, №20 и №21	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №20 и №23	3 × 2,5	Система освещения пом. №18	3 × 1,5
Система освещения пом. №22, №23, №24 и №25	3 × 1,5	Система освещения пом. №19, №20 и №21	3 × 1,5
Система освещения пом. №16 и №17	3 × 1,5	Система освещения пом. №14 и №15	3 × 1,5
Доп. устройства	3 × 2,5	Доп. устройства	3 × 2,5
Доп. устройства	3 × 2,5	Отвод стоков	2 × 1,5
Уст. воздухообмена	3 × 1	Транспортер	5 × 1,5
Транспортер	5 × 1,5	Привод въезда	3 × 1,5
Привод въезда	3 × 1,5	Обмотчик	3 × 1,5
ЦТП	5 × 4	Розеточная сеть пом. №27, №28, №30, №31а и №32	3 × 2,5
Розеточная сеть пом. №24	3 × 2,5	Розеточная сеть пом. №34	3 × 2,5
Система освещения пом. №27, №28, №29 и над входами	3 × 1,5	Система освещения пом. №24, №25 и №26	3 × 1,5
Система освещения пом. №30, №31, №31а и №32	3 × 1,5	Освет. установки	3 × 1,5
Уст. воздухообмена	3 × 1	Электрич. обогрев	3 × 4
Щит телемеханики 2	3 × 2,5	Силовой щит 1го въезда	АВББШв 5 × 4

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
Силовой щит 2го въезда	АВББШв 5 × 4	Щит телемеханики 1	3 × 2,5
Распред. щит №1	5 × 2,5	Распред. щит №2	5 × 4
Распред. щит №3	5 × 4	Распред. щит №4	5 × 6
ЩСТ1	5 × 2,5	ЩСТ2	5 × 2,5
Распред. щит №5	5 × 2,5	Распред. щит №6	5 × 4
Распред. щит №7	5 × 4	Распред. щит №8	5 × 6
ШВ	5 × 35	РП	3ПуГВнг-LS 1 × 95
Вводно-распред. устройство	АВББШв-нг 4 × 120	-	-

Находим потери напряжения для самой протяжённой линии:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L}{U_l} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% , \quad (44)$$

где « I_p - расчётный ток в линии на данном участке;

L - расстояние от точки питания до приложения равнодействующей нагрузки;

U_l - линейное напряжение;

r_0 - активное сопротивление линии;

x_0 - индуктивное сопротивление линии» [7].

В сетях освещения потеря напряжения не превышают:

$$\Delta U_{осв} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,5 \cdot 0,09}{220} \cdot (12,3 \cdot 0,9 + 0,126 \cdot 0,436) \cdot 100 = 3,55\% .$$

Находим потери напряжения до распределительного щита номер восемь, ШВ, РП, вводно-распред. устройства.

$$\Delta U_{шр8} = \frac{\sqrt{3} \cdot 24,9 \cdot 0,105}{380} \cdot (3,09 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,436) \cdot 100 = 3,37 \%,$$

$$\Delta U_{шв} = \frac{\sqrt{3} \cdot 91,7 \cdot 0,08}{380} \cdot (0,53 \cdot 0,92 + 0,088 \cdot 0,392) \cdot 100 = 1,746 \%,$$

$$\Delta U_{пн} = \frac{\sqrt{3} \cdot 172 \cdot 0,015}{380} \cdot (0,195 \cdot 0,92 + 0,081 \cdot 0,392) \cdot 100 = 0,25 \%,$$

$$\Delta U_{вру} = \frac{\sqrt{3} \cdot 172 \cdot 0,1}{380} \cdot (0,261 \cdot 0,92 + 0,08 \cdot 0,392) \cdot 100 = 2,13 \%.$$

Находим значение напряжения на зажимах самого удалённого от центра питания электроприемника с учётом повышенного значения напряжения на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции, а также потерь напряжения во всех проводниках:

$$U = 105 - 3,55 - 3,37 - 1,746 - 0,25 - 2,13 = 93,95 \%.$$

Выводы по разделу: определены значения номинальных токов для всех отдельных электроприемников внутри складского корпуса и расчётные значения токов для распределительных щитов и других центров питания. Выбраны тип и сечение проводников с учетом поправочных коэффициентов на способ прокладки, температуру окружающей среды и количество прокладываемых вместе кабелей. Произведен расчет потерь напряжения для самых протяжённых групповых сетей и самого удалённого от центра питания электроприемника. Максимальные потери напряжения не превышают 10%.

6 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения складского комплекса

Для определения токов КЗ предварительно находим значения сопротивлений всех элементов, входящих в схему замещения.

Определяем значение индуктивного сопротивления внешней системы [16, 17]:

$$X_c = \frac{U_{HH}^2}{S_K} \cdot 10^3, \quad (45)$$

$$X_c = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм.}$$

где « U_{HH} - напряжение на стороне НН;

S_K - мощность короткого замыкания» [16].

Для трансформатора ТМГ–160/10/0,4:

Величина активного сопротивления:

$$R_{T1} = \frac{P_{K3} \cdot U_{HH}^2}{S_{ном.т}^2} \cdot 10^6, \quad (46)$$

$$R_{T1} = \frac{3,5 \cdot 0,4^2}{160^2} \cdot 10^6 = 21,875 \text{ мОм.}$$

Величина индуктивного сопротивления:

$$X_{T1} = \sqrt{U_{K3}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{K3}}{S_{ном.т}}\right)^2} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{ном.т}} \cdot 10^4. \quad (47)$$

$$X_{T1} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 3,5}{160}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{160} \cdot 10^4 = 39,325 \text{ мОм.}$$

Определим активные и индуктивные сопротивления кабельных линий:

$$R_{кл} = R_{уд} \cdot l, \quad (48)$$

$$X_{кл} = X_{уд} \cdot l, \quad (49)$$

Найдём активные сопротивления кабельных линий с первой по четвертую

$$R_{кл1} = 0,195 \cdot 15 = 2,925 \text{ мОм,}$$

$$R_{кл2} = 0,53 \cdot 80 = 42,4 \text{ мОм,}$$

$$R_{кл3} = 3,09 \cdot 105 = 324,45 \text{ мОм,}$$

$$R_{кл4} = 12,3 \cdot 90 = 1107 \text{ мОм.}$$

Найдём индуктивные сопротивления кабельных линий с первой по четвертую

$$X_{кл1} = 0,081 \cdot 15 = 1,215 \text{ мОм,}$$

$$X_{кл2} = 0,088 \cdot 80 = 7,04 \text{ мОм,}$$

$$X_{кл3} = 0,1 \cdot 105 = 10,5 \text{ мОм,}$$

$$X_{кл4} = 0,126 \cdot 90 = 11,34 \text{ мОм.}$$

Определим сопротивления контактных соединений для автоматических выключателей:

- Автоматы, размещаемые в комплектной трансформаторной подстанции: $R_{ав1} = 0,4 \text{ мОм}$, $X_{ав1} = 0,5 \text{ мОм}$;

- Автомат для защиты линии к распределительному пункту:
 $R_{ав2} = 0,4 \text{ мОм}$, $X_{ав2} = 0,5 \text{ мОм}$, $R_{ав3} = 0,4 \text{ мОм}$, $X_{ав3} = 0,5 \text{ мОм}$;
- Автомат к шкафу управления вентиляционными установками:
 $R_{ав4} = 0,7 \text{ мОм}$, $X_{ав4} = 0,7 \text{ мОм}$;
- Автомат к распределительному щиту номер восемь: $R_{ав5} = 5,5 \text{ мОм}$, $X_{ав5} = 4,5 \text{ мОм}$;
- Автоматические выключатели для защиты линий к самому дальнему электроприемнику: $R_{ав6} = 5,5 \text{ мОм}$, $X_{ав6} = 4,5 \text{ мОм}$.

Для защиты групповых сетей выбираем автоматические выключатели производства Schneider Electric.

По значению расчётного тока на первом этапе приняты следующие типы выключателей I_p :

- Автоматы, размещаемые в комплектной трансформаторной подстанции: EZC400N 1P 250A;
- Автомат для защиты линии к распределительному пункту: EZC250N 3P 200A, EZC400N 1P 250A;
- Автомат к шкафу управления вентиляционными установками: C120N 3P 125A
- Автомат к распределительному щиту номер восемь: iC60N 3P 32A.

Автоматические выключатели для защиты линий к самому дальнему электроприемнику принимаем производства ИЕК, тип автомата выбираем ВА47-29 1P 6A.

Определение значения сопротивлений катушек трансформаторов тока:

- Трансформаторы тока расположенные внутри комплектной трансформаторной подстанции: $R_{ТТ1} = 0,2 \text{ мОм}$, $X_{ТТ1} = 0,3 \text{ мОм}$;
- Трансформатор тока на линии к распределительному пункту:
 $R_{ТТ2} = 0,11 \text{ мОм}$, $X_{ТТ2} = 0,17 \text{ мОм}$

Составляем расчётную схему для определения токов короткого замыкания, в которую входят все элементы от центра питания до самого дальнего электроприемника, данная схема приведена на рисунке 1.

Определяем значение токов короткого замыкания в точке 1.

«Суммарное активное и индуктивное сопротивления» [18, 19]:

$$R_{1\Sigma} = R_{T1} + R_{ав1} + R_{ТТ1} + R_{ав2} + R_{ТТ2} + R_{кл1} + R_{ав3}, \quad (50)$$

$$R_{1\Sigma} = 21,875 + 0,4 + 0,2 + 0,4 + 0,11 + 2,925 + 0,4 = 26,31 \text{ мОм}.$$

$$X_{1\Sigma} = X_c + X_{T1} + X_{ав1} + X_{ТТ1} + X_{ав2} + X_{ТТ2} + X_{кл1} + X_{ав3}, \quad (51)$$

$$X_{1\Sigma} = 1,6 + 39,325 + 0,5 + 0,3 + 0,5 + 0,17 + 1,215 + 0,5 = 44,11 \text{ мОм}.$$

где « R_{T1} - активное сопротивление силового трансформатора;

$R_{ав1}$ - активное сопротивление автоматического выключателя;

$R_{ТТ1}$ - активное сопротивление трансформатора тока;

$R_{ав2}$ - активное сопротивление автоматического выключателя;

$R_{ТТ2}$ - активное сопротивление трансформатора тока;

$R_{кл1}$ - активное сопротивление кабельной линии;

$R_{ав3}$ - активное сопротивление автоматического выключателя» [18].

По найденным значениям суммарного активного и индуктивного сопротивления находим значение полного сопротивления до точки короткого замыкания номер один как корень из суммы квадратов активного и индуктивного значения сопротивления:

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}, \quad (52)$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{26,31 + 44,11} = 51,36 \text{ мОм}.$$

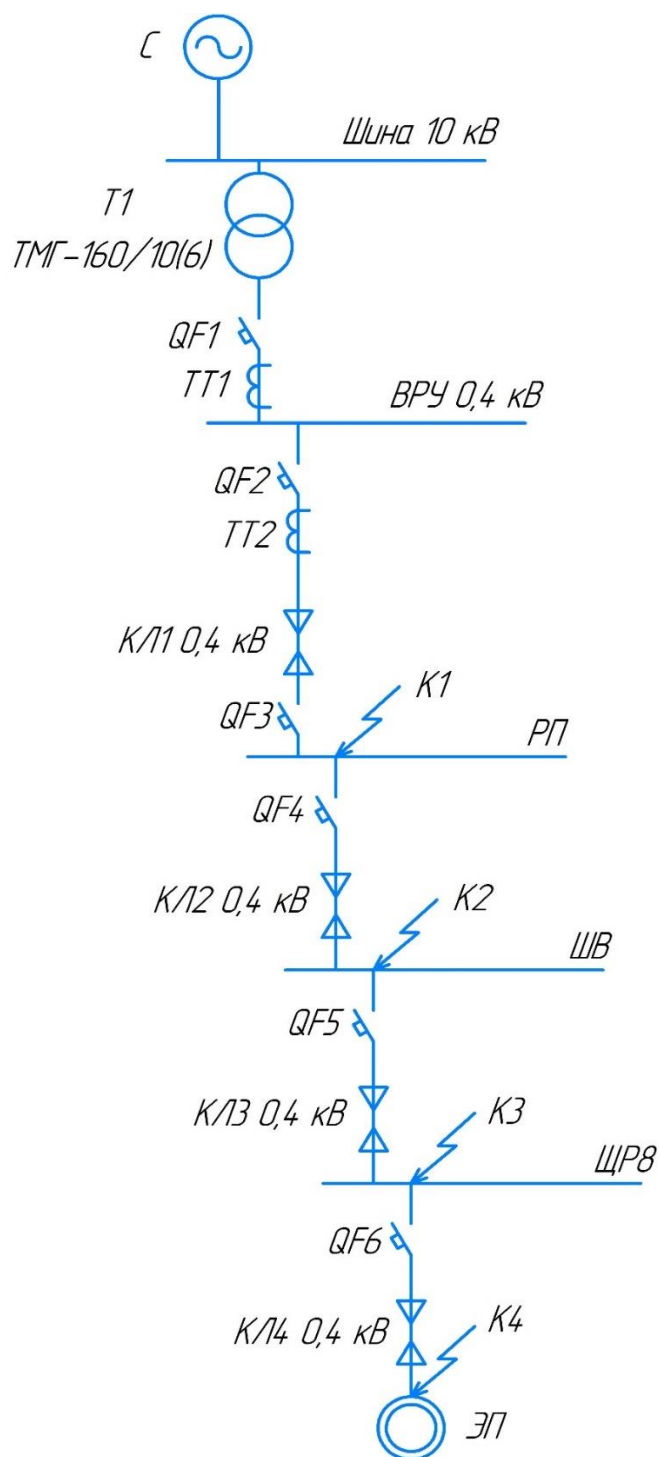


Рисунок 1 – Расчётная схема участка сети для определения значений токов короткого замыкания с указанием расчётных точек

Для приведённой выше расчётной схемы составляем схему замещения (рисунок 2), в которой каждый из представленных элементов замещается своим внутренним активным и индуктивным сопротивлением.

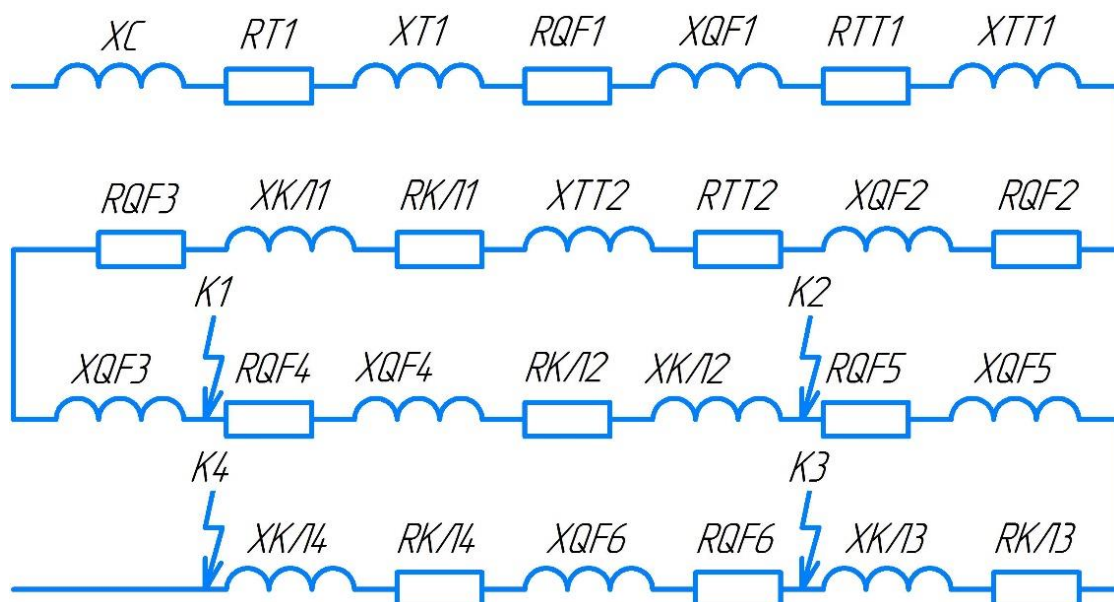


Рисунок 2 – Схема замещения с предоставлением всех входящих в расчётную схему элементов в виде внутренних активных индуктивных сопротивлений

«Начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ» [17]:

$$I_{n0} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}}, \quad (53)$$

$$I_{n0\max} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 51,36} = 4,5 \text{ кА.}$$

Определим значение ударного коэффициента, зависящего от отношения суммарного индуктивного сопротивления к суммарному активному $K_{y\partial}$ [17]:

$$\frac{X_{1\Sigma}}{R_{1\Sigma}}, \quad (54)$$

$$\frac{44,11}{26,31} = 1,68.$$

По справочной зависимости находим значение ударного коэффициента $K_{y\partial} = 1,15$.

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [17]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n0\max} \cdot K_{y\partial}, \quad (55)$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 4,5 \cdot 1,15 = 7,3 \text{ кА.}$$

Найдем значение коэффициента K_c . При величине $Z_{1\Sigma} = 51,36$
 $K_{c1} = 0,8$, $K_{c2} = 0,7$.

Находим такие дуговых коротких замыканий в различные моменты времени при помощи снижающих коэффициентов:

$$I_{n0\min} = I_{n0\max} \cdot K_{c1}, \quad (56)$$

$$I_{n0\min} = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кА.}$$

$$I_{n0\min} = I_{n0\max} \cdot K_{c2}, \quad (57)$$

$$I_{n0\min} = 4,5 \cdot 0,7 = 3,15 \text{ кА.}$$

где « K_{c1} - снижающий коэффициент для начального момента КЗ;

K_{c2} - снижающий коэффициент для установившегося КЗ» [17].

Выводы по разделу: для остальных расчётных точек расчёты по определению токов короткого замыкания производим таким же образом, как и для первой расчётной точки, полученные результаты расчёта действующего значения металлического тока КЗ в начальный момент времени, амплитудного ударного тока короткого замыкания, а также токов дугового короткого замыкания для остальных точек заносим в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты расчёта действующего значения металлического тока КЗ в начальный момент времени, амплитудного ударного тока короткого замыкания, а также токов дугового короткого замыкания

Расчетная точка КЗ	$I_{n0max}, \text{кА}$	$i_{уд}, \text{кА}$	I_{n0min} при $K_{c1}, \text{кА}$	I_{n0min} при $K_{c2}, \text{кА}$
1	4,5	7,3	3,6	3,15
2	2,7	3,96	2,3	2
3	0,6	0,4	0,5	0,46
4	0,15	0,1	0,14	0,13

Найденные значения токов короткого замыкания будут использованы в следующем разделе для проверки выбранных ранее коммутационных аппаратов на отключающую способность, а также на чувствительность к минимальному протекающему через них току дугового короткого замыкания.

7 Выбор и проверка электрических аппаратов, устанавливаемых в системе электроснабжения складского комплекса

Выбор и проверку автоматического выключателя произведём на примере линии, соединяющей распределительный щит номер восемь и электроприёмник:

Номинальный ток и ток расцепителя выбираемого аппарата должны превышать расчётное значение для данной линии [20]:

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (58)$$
$$6 \geq 4,5.$$

где « $I_{ном}$ - номинальный ток выключателя;

I_p - расчётный ток» [9].

$$I_{ном.расц} \geq I_p, \quad (59)$$
$$6 \geq 4,5.$$

где « $I_{ном.расц}$ - номинальный ток расцепителя;

I_p - расчётный ток» [9].

Паспортный ток отключения, определяемый по техническим характеристикам автоматического выключателя должен быть больше максимального тока короткого замыкания в начальный момент времени:

$$I_{откл.сп} \geq I_{п0max}, \quad (60)$$
$$4,5 \geq 4,5.$$

где « $I_{откл.сп}$ - номинальная отключающая способность;

$I_{п0max}$ - начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ» [9].

Значение электродинамической стойкости автоматического выключателя должно быть больше либо равно амплитудного значения ударного тока короткого замыкания:

$$I_{эл.ст} \geq i_{уд}, \quad (61)$$

$$10 \geq 7,3.$$

где « $I_{эл.ст}$ - ток электродинамической стойкости;

$i_{уд}$ - ударный ток трёхфазного короткого замыкания» [9].

Проверка коммутационного аппарата на термическую устойчивость не производится, так как производитель даёт гарантию на его термическую устойчивость при любой продолжительности тока короткого замыкания [16].

Таким образом выбираем коммутационные аппараты для защиты линий к отдельным электроприемникам и центрам питания, результаты выбора заносим в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты выбора коммутационных аппаратов для защиты линий к отдельным электроприемникам и центрам питания

ЭП	Выключатель	ЭП	Выключатель
1	2	3	4
Розеточная сеть пом. №3 и №35 по плану	ВА47-29 1P 16А	Розеточная сеть пом. №6 и №7 по плану	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №4 и №5 по плану	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №2, №3, №7 и №35	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №1, №4, №5 и №6	ВА47-29 1P 10А	ЯТПР–220/12	ВА47-29 1P 10А
Уст. воздухообмена	ВА47-29 1P 4А	Розеточная сеть пом. №13 и №14	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №3, №11 и №12	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №5, №6, №8 и №9	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №27	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №1, №2 и №27	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №4, 5, 5а, 6, 8, №9, 9а, 10, 11 12	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №3, №13 и №14	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №7	ВА47-29 1P 10А	Доп. устройства	ВА47-29 1P 16А

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
Доп. устройства	ВА47-29 1P 10А	Отвод стоков	ВА47-29 1P 4А
Уст. воздухообмена	ВА47-29 1P 4А	Розеточная сеть пом. №12 и №13	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №9 и №11	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №6, №8 и №10	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №3, №4 и №5	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №1, №2 и №7	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №3, №4, №5, №6, №8 и №10	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №9, №11, №12 и №13	ВА47-29 1P 16А
Доп. устройства	ВА47-29 1P 16А	Доп. устройства	ВА47-29 1P 16А
Отвод стоков	ВА47-29 1P 4А	Уст. воздухообмена	ВА47-29 1P 4А
Транспортер	ВА47-29 3P 4А	Транспортер	ВА47-29 3P 4А
Привод въезда	ВА47-29 1P 6А	Привод въезда	ВА47-29 1P 6А
Обмотчик	ВА47-29 3P 6А	Розеточная сеть пом. №15, 15а, №16, 18, 19, 20	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №23	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №37	АД12 16/0,03
Система освещения пом. №17, №19, №20 и над входами	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №21, №22 и №23	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №14, 15, 15а, №16, 18, 37, 38	ВА47-29 1P 10А	Освет. установки	ВА47-29 1P 10А
Уст. воздухообмена	ВА47-29 1P 4А	Электрич. обогрев	ВА47-29 1P 25А
Транспортер	ВА47-29 3P 4А	Транспортер	ВА47-29 3P 4А
Электроплощадка	ВА47-29 1P 6А	Привод въезда	ВА47-29 1P 6А
Привод въезда	ВА47-29 1P 6А	Транспортер	ВА47-29 3P 4А
Транспортер	ВА47-29 3P 4А	Транспортер	ВА47-29 3P 4А
Привод въезда	ВА47-29 1P 6А	Привод въезда	ВА47-29 1P 6А
Привод въезда	ВА47-29 1P 6А	Розеточная сеть пом. №36	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №39	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №39	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №8, №9 и №36	ВА47-29 1P 10А	ЯТПР-220/12	ВА47-29 1P 10А
Уст. воздухообмена	ВА47-29 1P 4А	Розеточная сеть пом. №15 и №16	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №17 и №18	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №20, №21 и №22	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №23 и №24	АД12 16/0,03	Система освещения пом. №19	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №23, №24, №25 и №26	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №20, №21 и №22	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №17 и №18	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №15 и №16	ВА47-29 1P 10А

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
Доп. устройства	ВА47-29 1P 16А	Доп. устройства	ВА47-29 1P 10А
Доп. устройства	ВА47-29 1P 10А	Отвод стоков	ВА47-29 1P 14А
Уст. воздухообмена	ВА47-29 1P 14А	Розеточная сеть пом. №14 и №15	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №16 и №17	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №19, №20 и №21	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №20 и №23	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №18	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №22, №23, №24 и №25	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №19, №20 и №21	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №16 и №17	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №14 и №15	ВА47-29 1P 10А
Доп. устройства	ВА47-29 1P 16А	Доп. устройства	ВА47-29 1P 16А
Доп. устройства	ВА47-29 1P 16А	Отвод стоков	ВА47-29 1P 4А
Уст. воздухообмена	ВА47-29 1P 4А	Транспортер	ВА47-29 3P 4А
Транспортер	ВА47-29 3P 4А	Привод въезда	ВА47-29 1P 6А
Привод въезда	ВА47-29 1P 6А	Обмотчик	ВА47-29 1P 6А
ЦТП	ВА47-29 3P 16А	Розеточная сеть пом. №27, №28, №30, №31а и №32	АД12 16/0,03
Розеточная сеть пом. №24	АД12 16/0,03	Розеточная сеть пом. №34	АД12 16/0,03
Система освещения пом. №27, №28, №29 и над входами	ВА47-29 1P 10А	Система освещения пом. №24, №25 и №26	ВА47-29 1P 10А
Система освещения пом. №30, №31, №31а и №32	ВА47-29 1P 10А	Освет. установки	ВА47-29 1P 6А
Уст. воздухообмена	ВА47-29 1P 4А	Электрич. обогрев	ВА47-29 1P 25А
Щит телемеханики 2	iC60N 1P 20А	Силовой щит 1го въезда	iC60N 3P 16А
Силовой щит 2го въезда	iC60N 3P 16А	Щит телемеханики 1	iC60N 1P 20А
Распред. щит №1	iC60N 3P 20А	Распред. щит №2	iC60N 3P 32А
Распред. щит №3	iC60N 3P 32А	Распред. щит №4	iC60N 3P 32А
ЩСТ1	iC60N 3P 16А	ЩСТ2	iC60N 3P 20А
Распред. щит №5	iC60N 3P 20А	Распред. щит №6	iC60N 3P 32А
Распред. щит №7	iC60N 3P 32А	Распред. щит №8	iC60N 3P 32А
ШВ	C120N 3P125А	РП	EZC250N 3P 200А
РП	EZC400N 1P 250А	Вводно-распред. устройство	EZC400N 1P 250А

Далее выбираем измерительные трансформаторы тока для установки комплектной трансформаторной подстанции:

Номинальное напряжение выбираемого трансформатора тока должно быть больше либо равно номинального напряжения сети:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети}, \quad (62)$$
$$0,66 \geq 0,4.$$

По номинальному току:

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (63)$$
$$250 \geq 189,8.$$

«Проверяется на электродинамическую стойкость» [3]:

$$I_{эл.ст} \geq i_{уд}, \quad (64)$$
$$40 \geq 7,3.$$

Принимаем к установке трансформатор тока Т-0,66 250/5А.

Выводы по разделу: произведён выбор автоматических выключателей для защиты линий к отдельным электроприемникам и к распределительным щитам, выбранное аппараты проверены на отключающую способность, а также на стойкость к электродинамическим воздействиям токов коротких замыканий. Произведена проверка и выбор измерительных трансформаторов тока для установки в комплектной трансформаторной подстанции.

8 Расчёт системы искусственного заземления складского комплекса

«Сопротивление растеканию электрического тока вертикального заземлителя» [21]:

$$R_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln\left(\frac{2 \cdot L}{d_{\text{экв}}}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot T + L}{4 \cdot T - L}\right) \right), \quad (66)$$

$$R_0 = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln\left(\frac{2 \cdot 3}{0,00475}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3}\right) \right) = 19,701 \text{ Ом.}$$

где « ρ - сопротивление грунта;

L - длина стержня;

d - эквивалентный диаметр стержня;

T - расстояние от поверхности земли до середины стержня» [7].

Для одиночных стержневых заземлителей используем уголки, выполненные из металла. Пересчитаем параметры уголка в эквивалентный диаметр:

$$d_{\text{экв}} = 0,95 \cdot b, \quad (67)$$

$$d_{\text{экв}} = 0,95 \cdot 0,005 = 0,00475 \text{ м.}$$

где « b - ширина стороны уголка» [7].

«Расстояние от поверхности земли до середины стержня» [21]:

$$T = \frac{L}{2} + t, \quad (68)$$

$$T = \frac{3}{2} + 0,5 = 2 \text{ м.}$$

где « L - длина стержня;

t - заглубление вертикального заземлителя» [7].

«Количество уголков заземления без учёта сопротивления горизонтального заземлителя» [21]:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_{норм}}, \quad (69)$$

$$n_0 = \frac{19,701 \cdot 1,7}{4} = 8,4.$$

где « R_0 - сопротивление растеканию электрического тока одного вертикального заземлителя;

ψ - сезонный климатический коэффициент;

$R_{норм}$ - нормируемое сопротивление заземляющегося устройства» [7].

«Сопротивление растеканию электрического тока для горизонтального заземлителя» [21]:

$$R_{горизонт} = 0,366 \cdot \left(\frac{\rho \cdot \psi}{l \cdot \eta_{горизонт}} \right) \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} \right), \quad (70)$$

$$R_{горизонт} = 0,366 \cdot \left(\frac{50 \cdot 4}{3 \cdot 0,36} \right) \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 3^2}{0,025 \cdot 0,5} \right) = 214,248 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление вертикального заземлителя с учётом сопротивления растеканию тока горизонтального заземлителя» [21]:

$$R_{верт} = \frac{R_{горизонт} \cdot R_{норм}}{(R_{горизонт} - R_{норм})}, \quad (71)$$

$$R_{верт} = \frac{214,248 \cdot 4}{(214,248 - 4)} = 4 \text{ Ом.}$$

где « $R_{горизонт}$ - сопротивление растеканию электрического тока для горизонтального заземлителя;
 $R_{норм}$ - нормируемое сопротивление заземляющегося устройства» [7].

«Полное количество вертикальных заземлителей» [21]:

$$n_0 = \frac{R_0}{R_{верт} \cdot \eta_{верт}}, \quad (72)$$

$$n_0 = \frac{19,701}{4,1 \cdot 0,55} = 8,74.$$

где « R_0 - сопротивление растеканию электрического тока одного вертикального заземлителя;
 $R_{верт}$ - сопротивление вертикального заземлителя с учётом сопротивления растеканию тока горизонтального заземлителя;
 $\eta_{верт}$ - коэффициент спроса вертикальных заземлителей» [7].

Выводы по разделу: в результате проведённых расчётов принимаем в качестве вертикальных заземлителей металлические уголки с длиной каждого отдельного вертикального заземлителя равной 3 м, вертикальные заземлители соединяются между собой в единую систему заземления при помощи металлической полосы, которая прокладывается на глубине не менее 0,5 м от поверхности земли для снижения влияния природных факторов.

Заключение

Целью выпускной квалификационной работы бакалавра является повышение надежности электроснабжения потребителей, снижение аварийности и обеспечение качества предоставляемых услуг по хранению и обработке грузов.

Приведена характеристика складского комплекса, указаны основные требования, предъявляемые к комплексу складских помещений, характеристики ЭП по надежности электроснабжения.

Приведена методика расчёта силовых электрических нагрузок, на примере распределительного щита подробно показано определение расчётной электрической нагрузки, для остальных групп электроприемников выполнены аналогичные расчёты, а полученные результаты определения итогового значения расчётной нагрузки по комплексу складских помещений приведены в итоговой таблице.

Выполнен сбор исходной информации по геометрическим размерам помещений складского комплекса, определены необходимые для расчёта коэффициенты отражения потолка, стен и пола, коэффициенты запаса, связанные с условиями эксплуатации системы освещения, выбран тип светильника, отвечающий современным требованиям к энергосбережению в системах освещения и произведён расчёт необходимого количества светильников для установки в каждом из складских помещений. На основании данных расчётов определены мощности системы внутреннего искусственного освещения.

С учетом категории надежности электроснабжения потребителей и требуемого коэффициента загрузки силового трансформатора на КТП определена номинальная мощность силового трансформатора. Рассмотрено два варианта установки на комплектной трансформаторной подстанции силовых трансформаторов различной мощности. В обоих рассмотренных вариантах, размещение на ТП устройств компенсации реактивной мощности

оказалось экономически нецелесообразным. Дальнейшее сравнение двух вариантов по технико-экономическим показателям проводилось на основе стоимости основного электрооборудования трансформаторной подстанции и самих силовых трансформаторов, а также с учетом стоимости потерь электроэнергии. Расчёты показали, что величина приведённых затрат для варианта установки в ТП трансформатора мощностью 160 кВА меньше, чем для варианта установки в КТП трансформатора мощностью 250 кВА, а значит первый вариант с установкой трансформатора мощностью 160 кВА принимаем для дальнейшего использования.

Определены значения номинальных токов для всех отдельных электроприемников внутри складского корпуса и расчётные значения токов для распределительных щитов и других центров питания. Выбраны тип и сечение проводников с учетом поправочных коэффициентов на способ прокладки, температуру окружающей среды и количество прокладываемых вместе кабелей. Произведен расчет потерь напряжения для самых протяжённых групповых сетей и самого удалённого от центра питания электроприемника. Максимальные потери напряжения не превышают 10%.

Для всех расчётных точек расчёты по определению токов короткого замыкания производим таким же образом, как и для первой расчётной точки, полученные результаты расчёта действующего значения металлического тока КЗ в начальный момент времени, амплитудного ударного тока короткого замыкания, а также токов дугового короткого замыкания.

Произведён выбор автоматических выключателей для защиты линий к отдельным электроприемникам и к распределительным щитам, выбранное аппараты проверены на отключающую способность, а также на стойкость к электродинамическим воздействиям токов коротких замыканий. Произведена проверка и выбор измерительных трансформаторов тока для установки в комплектной трансформаторной подстанции.

Список используемых источников

1. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.
2. Анчарова Т. В., Рашевская М.А., Стебунова. Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Электронный ресурс]: учебник , 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. 415 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/982211> (дата обращения 15.02.2022).
3. Валеев И.М., Мусаев Т.А. Методика расчета режима работы системы электроснабжения городского района : монография. Казань : КНИТУ, 2016. 132 с.
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 16.01.2022).
5. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 17.12.2021).
6. Дайнеко В.А., Забелло Е.П., Прищепова Е.М. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2015. 333 с.
7. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.
8. Кобелев А.В., Кочергин С.В., Печагин Е.А. Режимы работы электроэнергетических систем : учебное пособие для бакалавров и магистров

направления «Электроэнергетика». Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. 80 с.

9. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций : учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. 92 с.

10. Михайлов В.Е. Современная электросеть. СПб. : Наука и Техника, 2013. 256 с.

11. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.

12. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 173 с.

13. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. Стандарт организации. Дата введения: 13.09.2011. ОАО «ФСК ЕЭС». 2011.

14. Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 296 с.

15. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Жданов В.Г. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с.

16. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование : учебник, 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2018. 407 с.

17. Danilova O.V., Belayeva I.Y. The power grid complex of Russia: From informatization to the strategy of digital network development // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. pp. 42-53.

18. Hase Y. Handbook of Power System Engineering. England: John Wiley & Sons, 2011. 401 p.

19. Hickey R.B., Robert B. Electrical Engineer's Portable Handbook. USA: McGraw-Hill Companies, 2012. 575 p.
20. Rajendra P. Fundamentals of electrical engineering. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 1064 p.
21. Usman M., Coppo M., Bignucolo F., Turri R., Cerretti, A. A novel methodology for the management of distribution network based on neutral losses allocation factors // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №1. pp. 613-622.