

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 «Повышение эффективности системы электроснабжения агропромышленного  
комплекса»

Обучающийся

М.К. Бобоев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

М.В. Дайнеко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Название бакалаврской работы: «Повышение эффективности системы электроснабжения агропромышленного комплекса».

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 энергоэффективной системы электроснабжения агропромышленного комплекса, удовлетворяющую возросшие потребности тепличного хозяйства на электроэнергию, отопление, вентиляцию.

Целью бакалаврской работы является повышение эффективности системы электроснабжения агропромышленного комплекса. Для этого необходимо разработать многофункциональный энергетический центр, снабжающий тепличное хозяйство электроэнергией, горячей водой для отопления и углекислым газом для создания благоприятной газовой среды для эффективного роста растений.

Выпускная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: введение, обоснование целей, задач и объема работ; расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения, сбор сведений о количестве электроприемников, их установленной мощности, формирование требований к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии, расчет числа и мощности питающих трансформаторов, расчет и выбор компенсирующего устройства, аппаратов защиты, описание решений по обеспечению электроэнергией электроприемников в аварийном режиме, перечень мероприятий по экономии электроэнергии; разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна не только для предприятий агропромышленного комплекса, но и других аналогичных по назначению объектов.

## **Abstract**

Title of bachelor's work: "Improving the efficiency of the power supply system of the agro-industrial complex."

The final work consists of an introduction, 3 sections, conclusion, tables, list of references, including foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the final work is the development of an energy-efficient power supply system for the agro-industrial complex, which satisfies the increased needs of the greenhouse industry for electricity, heating, and ventilation.

The purpose of the bachelor's work is to increase the efficiency of the power supply system of the agro-industrial complex. To do this, it is necessary to develop a multifunctional energy center that supplies the greenhouse industry with electricity, hot water for heating and carbon dioxide to create a favorable gas environment for efficient plant growth.

Graduation work can be divided into the following logically interconnected parts: introduction, justification of goals, objectives and scope of work; calculation and selection of elements of the designed power supply system, collection of information on the number of power receivers, their installed capacity, formation of requirements for the reliability of power supply and power quality, calculation of the number and power of supply transformers, calculation and selection of a compensating device, protection devices, description of solutions for providing electricity to power receivers in emergency mode, a list of measures to save electricity; development of measures for safety and labor protection.

Summing up, we would like to emphasize that this work is relevant not only for enterprises of the agro-industrial complex, but also for other objects similar in purpose.

## Содержание

Введение.....	6
1 Обоснование целей, задач и объема реконструкции .....	8
1.1 Общие сведения об объекте .....	8
1.2 Характеристика источников электроснабжения.....	12
1.3 Характеристика потребителей электроснабжения .....	14
1.4 Обоснование принятой схемы электроснабжения .....	16
2 Расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения.....	12
2.1 Сведения о количестве электроприемников, их установленной и расчетной мощности .....	12
2.2 Требования к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии .....	12
2.3 Расчет электрических нагрузок .....	13
2.4 Выбор числа и мощности питающих трансформаторов.....	18
2.5 Расчет и выбор компенсирующего устройства.....	19
2.6 Расчет и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения.....	20
2.7 Описание решений по обеспечению электроэнергией электроприемников в рабочем и аварийном режимах .....	26
2.8 Спецификация щитов и панелей .....	27
2.9 Перечень мероприятий по экономии электроэнергии .....	28
2.10 Сведения о типе, классе проводов и осветительной арматуры.....	29
2.11 Описание системы рабочего и дежурного освещения .....	30
3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда .....	33
3.1 Перечень мероприятий по электробезопасности.....	33
3.2 Расчет заземления .....	34
3.3 Молниезащита .....	38

Заключение .....	41
Список используемых источников.....	43

## Введение

Электроэнергетика, ведущая составная часть энергетики, обеспечивающая электрификацию хозяйства страны на основе рационального производства и распределения электроэнергии [2]. «Электроэнергетика, имеет важное значение в хозяйстве любой промышленно развитой страны, что объясняется такими преимуществами электроэнергии перед энергиями других видов, как относительная лёгкость передачи на большие расстояния, распределения между потребителями, а также преобразования в другие виды энергии (механическую, тепловую, химическую, световую и др.)» [9]

Основная часть электроэнергии вырабатывается крупными электростанциями: тепловыми, гидравлическими, атомными. Электростанции, объединенные между собой и с потребителями высоковольтными линиями электропередач, образуют электрические системы [30].

Ответим на вопрос, почему же электрификация так важна для развития экономики [25]. Научно-технический прогресс невозможен без развития энергетики, электрификации. Для повышения производительности труда первостепенное значение имеет механизация и автоматизация производственных процессов, замена человеческого труда (особенно тяжелого или монотонного) машинным. Но подавляющее большинство технических средств механизации и автоматизации (оборудование, приборы, ЭВМ) имеет электрическую основу. Особенно широкое применение электрическая энергия получила для привода в действие электрических моторов. Мощность электрических машин (в зависимости от их назначения) различна: от долей ватта (микродвигатели, применяемые во многих отраслях техники и в бытовых изделиях) до огромных величин, превышающих миллион киловатт (генераторы электростанций).

«Для измерения и учёта электрической энергии применяют измерительные приборы. Не существует такой отрасли хозяйства и области точных наук, где бы ни проводились измерения.

Измерение космоса и микромира, производство электроэнергии и проведение сложнейшей хирургической операции невозможны без использования количественной информации о свойствах объектов материального мира, то есть о значении физических величин: механических, тепловых, электрических и др.» [17].

Важное значение электроэнергия играет и в агропромышленных комплексах. Работа технологического оборудования, освещение, обогрев – все связано с электричеством. Чем меньше электроэнергии будет затрачено, тем более низкой станет себестоимость выпускаемой продукции, а значит ее стоимость станет более привлекательной для потребителей.

Целью бакалаврской работы является повышение эффективности системы электроснабжения агропромышленного комплекса.

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

## **1.1 Общие сведения об объекте**

Современные тепличные комплексы круглогодичного выращивания сельскохозяйственных культур в климатических условиях средней полосы России сопоставимы с мировыми технологическими достижениям аналогичных искусственных производств, широко распространены и востребованы. «Для возделывания овощных культур в искусственных условиях создается окружающая среда и питание, приближенные к естественным условиям. Для качественного и скорого вызревания плодов проводятся доработки, оптимизирование и улучшения технических систем в соответствии с новациями интенсивных агрономических технологий. Искусственная среда обусловлена бесперебойной подачей энергоресурсов, с выполнением автоматизированного контроля и мониторинга в динамике» [3].

Имеется потребность в воде, тепле, газо- воздушной среде, микроклимате, электроэнергии, световой энергии. «Наибольший объем потребления энергоресурсов - электроэнергии, тепла, света наблюдается в холодные, темные пасмурные периоды» [7]. Расход воды максимален в летние месяцы.

Рассмотрим структуру теплоснабжения тепличного хозяйства. «Для обогрева большого объема теплиц имеется необходимость в значительном количестве теплоносителя. Система обогрева теплиц эволюционировала от дизельных печек в пленочных теплицах до автоматизированных газовых бойлерных в теплицах, конструктивно состоящих из алюминиевых профилей и двойных стеклопакетов или сотового поликарбоната.

Система теплоснабжения тепличного комплекса децентрализована. Источниками теплоты являются бойлерные и когенерационный энергоцентр, работающие на природном газе. Для удовлетворения технологической нагрузки отопления и горячего водоснабжения в качестве теплоносителя

используется вода. Схема теплоснабжения теплицы выполнена закрытой системой с двухтрубным контуром, с нерегулируемым теплоносителем. Подпитка контура осуществляется в тепловом пункте бойлерной» [4].

«Бойлерные рассчитаны на отпуск в наружные сети горячей воды по температурному графику для нужд отопления, вентиляции, хозяйственного горячего водоснабжения потребителей, а также приготовления воды для технологического водоснабжения теплиц (полива растений). В бойлерных установлены газовые автоматизированные водогрейные котлы. Диапазон регулирования нагрузок 30 - 100%, КПД котлов достигает 92%. Тепловая схема бойлерной имеет два зависимых контура циркуляции: котловой контур и циркуляционный контур тепловых сетей. В качестве теплоносителя в обоих контурах используется специально подготовленная горячая вода. Параметры теплоносителя котлового контура: горячая вода с постоянной температурой в подающем трубопроводе 92°С и 70°С - в циркуляционном трубопроводе. Приготовление горячей воды осуществляется в смесительных узлах, установленных в бойлерной на гидрораспределительных коллекторах. Гидрораспределительные коллекторы имеют большой диаметр, обеспечивающий стабильный гидравлический режим на входе в смесительные узлы транспортных линий. Система теплоснабжения потребителей - закрытая. Приготовление горячей воды с температурой 60°С для хозяйственных нужд осуществляется в водяных подогревателях, установленных в тепловых пунктах потребителей. В качестве греющего агента в подогревателях используется вода второго контура» [5]. Приготовление теплой воды для полива теплиц осуществляется в подогревателях с температурой 22°С, установленных в станции приготовления поливочной воды.

«На котлах установлены насосы внутренней рециркуляции, обеспечивающие температуру воды на входе в котел не ниже 70°С при различных режимах работы котла и тепловых сетей. Для поддержания

стабильного режима в каждом котловом контуре предусмотрена установка индивидуальных циркуляционных насосов.

Нагретый теплоноситель от всех теплоисточников поступает в теплоаккумулирующие емкости. Тепловые сети внутренние, короткие, с минимальными потерями. Транспорт теплоносителя по блокам теплиц производится от частотно регулируемых насосных

Газовые котлы снабжены блочными автоматическими горелками, установкой для отбора из дымовых газов углекислого газа  $\text{CO}_2$ , состоящей из конденсора и вентиляционной установки газации. Конденсор выполняет функцию подогревателя циркуляционной сетевой воды за счет охлаждения дымовых газов ниже точки росы ( $55 - 60^\circ\text{C}$ ). При снятии этого тепла происходит повышение коэффициента использования топлива на 2-3%, частичная осушка и обеспыливание дымовых газов, повышение качества отводимого углекислого газа» [6].

Полученный углекислый газ подается в теплицы для усвоения растениями. Концентрация и температура углекислого газа в теплицах контролируется автоматической установкой. Для подмеса к дымовым газам подается воздух. Также ведется контроль за концентрацией в дымовых газах окиси углерода  $\text{CO}$ .

«Важной энергией в теплице для фотосинтеза растений является световая. Из-за недостаточной естественной освещенности в короткие световые дни создана автоматизированная искусственная система досвечивания растений, максимально приближенному к солнечному свету по интенсивности и цветовому спектру, дневной яркий период и ночное темное пятно, выполнено диммирование с системой рассвета и заката. В современном развитии светотехнического оборудования, наиболее эффективным является натриевый фитосветильник. С сентября по май выращивание растений происходит под ассимиляционным досвечиванием продолжительностью до 20 часов в сутки, световой мощностью около  $200\text{Вт}/\text{м}^2$ . На один гектар системы досвечивания теплиц установленная

электрическая мощность составляет до 2,4 МВт, с уточнением по светотехническому расчету» [7].

Объектом исследования является "Тепличный комплекс «Агрокультура Групп» площадью 27,5 га по производству овощной продукции в закрытом грунте по адресу МО, Каширский р-н, с/п Знаменское» (см. рисунок 1, 2).



Рисунок 1 - Тепличный комплекс «Агрокультура Групп»



Рисунок 2 – Основная теплица «Агрокультура Групп»

Была проведена реконструкция тепличного хозяйства: с 5 Га до 27,5 Га увеличилась площадь, занимаемая агропромышленным комплексом, в том числе в 5 раз увеличилась площадь теплиц, которая составила 25 Га, а значит потребление электричества на освещение также увеличилось в пять раз. При модернизации было принято решение сделать вновь возводимые теплицы круглогодичными. Для этого они будут с обогревом. Так как площадь обогрева значительна, в качестве основного теплоносителя использован самый дешевый вариант – вода. Потребовалась система обогрева воды, причем не только для обогрева но и для полива растений, температурой 22 °С. Для ускорения роста растений во вновь построенных теплицах создана система подачи углекислого газа, для его усвоения растениями. Концентрация и температура углекислого газа в теплицах контролируется автоматической установкой.

Для снабжения тепличного хозяйства вышеперечисленными ресурсами и видами энергии необходимо разработать многофункциональный энергетический центр (далее МЭЦ).

## **1.2 Характеристика источников электроснабжения**

Электротехнический комплекс тепличного хозяйства потребляет первичные источники энергоресурсов:

- промышленную электроэнергию;
- природный магистральный газ;
- сетевое централизованное водоснабжение.

А также в своем составе имеет когенерационные установки, вырабатывающие из первичного источника энергии газа, вторичные - электроэнергию и тепло.

В качестве когенерационной установки МЭЦ применили оборудование фирмы Stone:

- три водогрейных трехходовых котла «Crone CLW 300» теплопроизводительностью 12,00 МВт с конденсором. Конденсор это водонагревательный агрегат, который устанавливается позади котла и который для нагрева воды использует вторичную температуру (дыма);
- три котла по 12 МВт без конденсоров. Котлы оснащены комбинированными (газ/дизель) горелками Zantingh с модулирующим регулированием. Общая установленная тепловая мощность составляет 60 МВт.;
- для выработки электрической энергии в МЭЦ предусмотрена установка 4-х газо-поршневых электростанций мощностью 1,5 МВт каждая.

На рисунке 3 показано подключение к МЭЦу тепличных сетей.

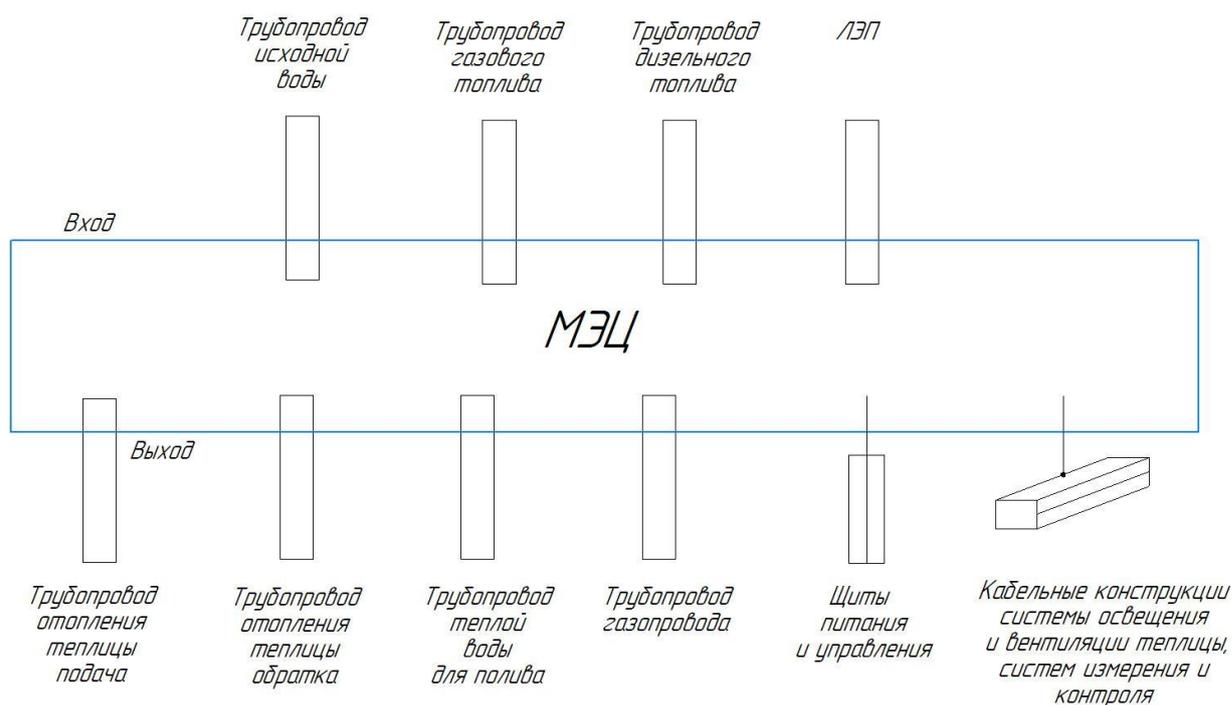


Рисунок 3 – Энергоресурсы и энергоносители МЭЦ

Таким образом, применение перечисленного оборудования с «обвязкой» из вспомогательного технологического оборудования позволило

создать МЭЦ, полностью удовлетворяющий потребности тепличного комплекса в отоплении, в подогреве воды для полива и в электроосвещении.

### **1.3 Характеристика потребителей электроснабжения**

«Состав потребителей электроэнергии имеет широкий диапазон мощностей и продолжительность включения. Рассмотрим потребителей электроэнергии в соответствии с категориями надежности электроснабжения по классификации правил устройства электроустановок» [7]. «Технологическое оборудование и автоматизированные энергетические установки относятся ко II категории, система управления технологических узлов и энергомоств к I, светотехническая ассимиляционная установка электродосвечивания растений относится к III» [9].

«Основным приёмником по объёму потребления электроэнергии и величине установленной агрегатной мощности является светотехническая установка, насосное оборудование, технологические приемники, бытовая нагрузка, наружное освещение и вспомогательные электротехнические системы» [8].

В работе подробно рассмотрим основной элемент энергосистемы агропромышленного комплекса – МЭЦ (многофункциональный энергетический центр).

Большинство электроприёмников МЭЦ относится к приёмникам трёхфазного тока напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц (горелки, насосы). К однофазной относится освещение, розеточные блоки работающие на промышленной частоте 50 Гц.

«По режиму работы электроприемники могут быть разделены на восемь групп:

- продолжительный режим работы;
- кратковременный режим работы;
- периодический повторно-кратковременный режим работы;

- повторно-кратковременный режим работы с влиянием пусковых процессов;
- повторно-кратковременный режим работы с электрическим торможением и влиянием пусковых процессов;
- перемежающийся режим работы – последовательность циклов;
- перемежающийся режим работы с влиянием пусковых токов и электрическим торможением;
- периодический перемежающийся режим работы электродвигателя с периодически изменяющейся частотой вращения» [14].

Двигатели насосов К9, К5, вентиляторов горелок, установок дозирования CO<sub>2</sub> работают от частотных преобразователей фирмы Danfoss и Zanting в периодический перемежающемся режиме работы электродвигателя с периодически изменяющейся частотой вращения.

«Повторно-кратковременный режим работы характеризуется относительной продолжительностью включения и длительностью цикла. В повторно-кратковременном режиме электрическая машина или аппарат может работать с допустимой для них относительной продолжительностью включения неограниченное время, причём превышение температур отдельных частей машины или аппарата не выйдет за пределы допустимых значений. К повторно-кратковременному режиму работы относятся двигатели насосов К8, К6 и К11.

Потребителями электроэнергии являются насосы, электродвигатель вентилятора, рассчитанные на переменный трехфазный ток и напряжение 380 В промышленной частоты, с высоким коэффициентом мощности.

Светильники рабочего освещения рассчитанные на переменный однофазный ток и напряжение 220 В промышленной частоты.

Нагрузка равномерная и симметричная по трём фазам. Толчки нагрузки имеют место только при пуске. Питание производится током промышленной частоты» [17].

Окружающая среда в насосном отделении МЭЦ нормальная, расположение приёмников стационарное, нагрузка равномерная.

#### **1.4 Обоснование принятой схемы электроснабжения**

Электроснабжение МЭЦ относится к первой категории надёжности электроснабжения, что связано с переходом работы тепличного хозяйства на зимний период.

В электрощитах установлены:

- вводные автоматические выключатели;
- элементы автоматики;
- индикаторные лампы;
- автоматические выключатели потребителей МЭЦ.
- автоматический ввод резерва питания МЭЦ.

«Силовая распределительная сеть МЭЦ выполнена кабелем ВВГнг-LS, прокладываемым в металлических лотках. Сети противопожарных устройств, заградительных огней, аварийного и эвакуационного освещения выполнены кабелем ВВГнг-FRLS согласно НПБ 110-03.

Прокладку кабелей питающих и распределительных сетей, выполнять в лотках или в ПВХ гофра-трубах.

В МЭЦ предусмотрено автоматическое отключение вентиляции при пожаре» [20].

В случае перевода электропитания МЭЦ с газа на дизельное топливо система управления должна отключить не приоритетные нагрузки. Выбор не приоритетных нагрузок производится по согласованию с инженерными и агротехническими службами аргокомплекса и заносится в систему управления при ее программировании.

Выводы по первому разделу.

Для обогрева большого объема теплиц имеется необходимость в значительном количестве теплоносителя. Наиболее оптимальным сырьем с

экономической и экологической точек зрения для получения горячей воды является природный газ. Для полива растений, для обеспечения их оптимального роста, также требуется подогретая вода. Оптимальной температурой полива является 22 °С. Для ускорения роста растений в теплицах необходимо поддерживать оптимальную газовую среду. Для этого воздух из окружающей среды смешивается с углекислым газом, являющимся продуктом сгорания природного газа. Концентрация и температура углекислого газа в теплицах контролируется автоматической установкой.

С сентября по май выращивание растений происходит под ассимиляционным досвечиванием продолжительностью до 20 часов в сутки, световой мощностью лампами накаливания около 200 Вт/м<sup>2</sup>. На один гектар системы досвечивания теплиц установленная электрическая мощность составляет до 2,4 МВт.

Изучив исходные данные к проектированию агропромышленного комплекса было принято решение, что наиболее энергосберегающим решением будет создание МЭЦ (многофункционального энергетического центра), удовлетворяющим всем вышеперечисленным требованиям и пожеланиям.

## **2 Расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения**

### **2.1 Сведения о количестве электроприемников, их установленной и расчетной мощности**

Основными потребителями электроэнергии в МЭЦ являются технологическая силовая сеть, электродвигатели насосов, вентсистем, технологических стандов, осветительная сеть и сантехнические вентиляторы.

Электродвигатели применяются с короткозамкнутым ротором. Напряжение электродвигателей - 0,4 кВ.

Количество электроприемников, а так же их установленная и расчетная мощность указана в графической части проекта.

### **2.2 Требования к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии**

По степени надежности электроснабжения электроприемники объекта относятся к потребителям I, II, III категории.

Пожарная сигнализация, датчики загазованности, система управления, электротехнические элементы системы отопления относятся к первой категории.

«Качество электроэнергии должно соответствовать ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

- предельно допустимые значения отклонения частоты: +/- 0,4 Гц, нормально допустимые значения отклонения частоты: +/- 0,2 Гц
- предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения: +/- 10%

- нормально допустимые значения установившегося отклонения напряжения: +/- 5%.

ППРЭСх ЭС, П.Т.Э. установлена периодичность контроля качества электроэнергии один раз в два года для всех ПКЭ, и два раза в год для отклонения напряжения.

Взаимоотношения юридических лиц с энергоснабжающими организациями должны регулироваться договорами энергоснабжения, в которых указываются пределы допустимых величин показателей качества электрической энергии на границе балансовой принадлежности или в точках общего присоединения потребителей, и ответственность сторон при их нарушении» [14].

### 2.3 Расчет электрических нагрузок

«Все электроприёмники разбиваются на однородные по режиму работы группы с значениями коэффициентов использования  $k_u$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\operatorname{tg}\varphi$ . Подсчитывается количество электроприемников  $n$  в каждой группе.

Для каждой группы электроприемников рассчитывается установленная активная мощность  $P_y$ , кВт» [1] по формуле

$$P_y = \sum_1^n P_{ui}, \quad (1)$$

где  $P_{ui}$  – номинальная мощность  $i$ -го электроприемника

«Для каждой группы электроприемников рассчитывается активная и реактивная среднесменная нагрузка (мощность)» [1]

$$P_{см} = k_u \cdot P_y, \quad (2)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

«Для узла присоединения рассчитывается активная установленная, активная и реактивная мощности» [1]:

$$P_{y.y} = \sum_1^n P_{y.гр}, \quad (4)$$

$$P_{см.y} = \sum_1^n P_{см.гр}, \quad (5)$$

$$Q_{см.y} = \sum_1^n Q_{см.гр}, \quad (6)$$

Определяем коэффициент использования для узла  $k_{uy}$

$$k_{и} = \frac{P_{см}}{P_y}, \quad (7)$$

Определяем  $\cos\varphi$  и  $\operatorname{tg}\varphi$  для узла:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_{см}}{P_{см}}, \quad (8)$$

$$\cos\varphi = \sqrt{\frac{1}{\operatorname{tg}\varphi^2 + 1}}, \quad (9)$$

Определяем эффективное число электроприемников узла  $n_э$ .

«Эффективное (приведенное) число электроприёмников – это число однородных по режиму работы приемников одинаковой мощности, которую потребляют ту же самую мощность, то и действительные электроприемники» [23].

Если  $n \leq 5$ , то  $n_э = (\sum_1^n P_{ui})^2 / \sum_1^n P_{ui}^2$ , а если  $n > 5$ , то  $n_э = 2 \sum_1^n P_{ui} / P_{H.max}$ . Здесь  $P_{H.max}$  – предельнодопустимая номинальная мощность потребителя в узле. В нашем случае  $n=8 > 5$  значит нужно применить формулу  $n_э = \frac{2 \sum_1^n P_{ui}}{P_{H.max}} = 6$  шт. Если  $n_э$  получается выше  $n_\phi$  (фактического), то тогда эффективное число электроприемников приравнивается к фактическому числу  $n_э = n_\phi$ . По справочным данным [8] на основании  $k_{и}$  и  $n_э$  используя

прием интерполяции определяется коэффициентом максимума  $k_m$ . Для  $k_{и} = 0,33$  и  $n_э$  принимаем  $K_m=1,88$ .

Потребляемая активная мощность:

$$P_p = k_m \cdot P_{см}, \text{ кВт}, \quad (10)$$

Потребляемая реактивная мощность:

$$Q_p = k_m \cdot Q_{см}, \text{ кВт}, \quad (11)$$

где  $k_m = 1,1$  если  $n \leq 10$  и  $k_m = 1,0$  если  $n > 10$ .

Полная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}, \quad (12)$$

Расчетный ток через РП-1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ А}, \quad (13)$$

Результат нагрузок в таблице 1.

Расчёт электрических нагрузок электроосвещения.

Удельная мощность (плотность) осветительной нагрузки  $200 \text{ Вт/м}^2$  или при использовании светодиодных светильников  $25 \text{ Вт/м}^2$  [28]. Площадь тепличного хозяйства в плане  $S = 25 \text{ га}$  или  $250000 \text{ м}^2$ . Удельная потребляемая мощность:

$$P_y = \frac{P_{уд} \cdot S}{1000}, \quad (14)$$

Таблица 1 – Расчет электрических нагрузок

Наименование	Р <sub>эп</sub> , кВт	n	Р <sub>у</sub> , кВт	Ки	cosφ	tgφ	Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	Sp, кВА	Ip, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Канализационная насосная станция	8	1	8	1,0	0,85	0,62	8	5,1	9,4	16
Транспортные насосы блок 1	5	3	15	1,0	0,78	0,8	15	12	19,2	30
Транспортные насосы блок 2	10	3	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	32,4	59
Транспортные насосы блок 3	5	3	15	1,0	0,75	0,88	15	13,2	17,1	30
Транспортные насосы блок 4	5	3	15	1,0	0,75	0,88	15	13,2	17,1	30
Транспортные насосы блок 5	5,5	2	11	1,0	0,75	0,88	11	9,68	12,9	18
Узел учета газа	0,3	1	0,3	1,0	0,85	0,62	0,3	0,185	0,52	1,52
МРПБ	3,0	1	3,0	1,0	0,8	0,75	3,0	2,25	4,8	5,7
Щит управления топливными насосами ШУНДТ	4,4	1	4,4	1,0	0,75	0,88	4,4	3,87	5,7	8,91
Щит управления насосами подпитки ШУНП	5,5	2	11	0,5	0,8	0,75	5,5	4,12	6,6	10,44
Шкаф управления умягчением воды	0,06	1	0,06	1,0	0,8	0,75	0,1	0,07	0,12	0,19
Комплекс пропорционального дозирования	0,06	1	0,06	1,0	0,8	0,75	0,1	0,07	0,12	0,19
Щит управления МЭЦ ЦУТ	0,12	1	0,12	1,0	0,85	0,62	0,12	0,08	0,17	0,64
Щит сигнализации и автоматики ЩСУ	0,3	1	0,3	1,0	0,9	0,48	0,3	0,14	0,32	1,52
Щит охранно-пожарной сигнализации	0,5	1	0,5	1,0	0,9	0,48	0,5	0,16	0,51	2,53
Аварийное освещение помещения МЭЦ	1,52	1	1,52	1,0	0,95	0,33	1,52	0,5	1,66	7,27
Калорифер электрощитовой	2,0	1	2,0	1,0	0,95	0,33	2,0	0,66	2,87	9,57
Розетки электрощитовой	1,0	1	1,0	1,0	0,9	0,48	1,0	0,48	1,11	5,05
Розеточная группа №1	1,0	1	1,0	1,0	0,9	0,48	1,0	0,48	1,11	5,05
Розеточная группа №2	1,0	1	1,0	1,0	0,9	0,48	1,0	0,48	1,11	5,05
Розеточная группа №3	5,0	1	5,0	1,0	0,9	0,48	5,0	2,4	7,3	14,62
Розеточная группа №4	5,0	1	5,0	1,0	0,9	0,48	5,0	2,4	7,3	14,62
ЯТП	0,5	1	0,5	1,0	0,9	0,48	0,5	0,24	0,54	1,46
Тепловентиляторы	2,44	4	9,76	1,0	0,85	0,62	9,76	6,05	11,07	52
Щит автоматики управления теплицей	1,0	1	1,0	1,0	0,9	0,48	1,0	0,48	1,47	5,05
Щит собственных нужд	12,5	1	12,5	1,0	0,9	0,48	12,5	6	14,3	20,7

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шкаф управления горелкой котла №1	48	1	48	1,0	0,86	0,59	48	28,3	65,4	82
Шкаф управления горелкой котла №2	48	1	48	1,0	0,86	0,59	48	28,3	65,4	82
Шкаф управления горелкой котла №3	48	1	48	1,0	0,86	0,59	48	28,3	65,4	82
Панель ЕР721	30	1	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	61,2	59
Панель ЕР723	30	1	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	61,2	59
Панель ЕР725	30	1	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	61,2	59
Панель дозирования СО <sub>2</sub> №1	33,5	1	33,5	1,0	0,78	0,8	33,5	26,8	47,1	65
Панель дозирования СО <sub>2</sub> №2	40,5	1	40,5	1,0	0,78	0,8	40,5	32,4	45,2	79
Панель дозирования СО <sub>2</sub> №3	45,0	1	45,0	1,0	0,78	0,8	45,0	36	49,2	88
Транспортные насосы блок 6	10	3	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	39,9	59
Транспортные насосы блок 7	10	3	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	39,9	59
Транспортные насосы блок 8	10	3	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	39,9	59
Рабочее освещение помещения МЭЦ	2,36	1	2,36	1,0	0,95	0,33	2,36	0,78	3,07	11,29
Вентилятор системы вентиляции МЭЦ №1	0,15	1	0,15	1,0	0,85	0,62	0,15	0,09	0,18	0,8
Вентилятор системы вентиляции МЭЦ №2 и №3	0,1	2	0,2	1,0	0,85	0,62	0,2	0,13	0,22	1,06
Шкаф управления горелкой котла №2	48	1	48	1,0	0,86	0,59	48	28,3	65,4	82
Шкаф управления горелкой котла №4	48	1	48	1,0	0,86	0,59	48	28,3	65,4	82
Шкаф управления горелкой котла №6	48	1	48	1,0	0,86	0,59	48	28,3	65,4	82
Панель ЕР722	30	1	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	39,9	59
Панель ЕР724	30	1	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	39,9	59
Панель ЕР726	30	1	30	1,0	0,75	0,88	30	26,4	39,9	59
Панель ЕР720	15	1	15	1,0	0,78	0,8	15	12	19,2	30
Азотная установка Vernit	8,5	1	8,5	1,0	0,75	0,88	8,5	7,48	12,9	17,21
Шкаф управления фильтрующего блока	4,0	1	4,0	1,0	0,75	0,88	4,0	3,52	5,31	8,0
Итого по МЭЦ	-	-	-	-	0,82	0,7	855,8	599,06	1044	2114
Освещение, досвечивание теплиц	-	-	6250	1,0	0,96	0,29	6250	1812	7821	3697
Итого	-	-	-	-	-	-	7105	2411	8865	5811

$$P_y = \frac{25 \cdot 250000}{1000} = 6250 \text{ кВт}$$

Расчитанные электрические нагрузки освещения добавляются к данным табл. 1, где суммируются с остальными нагрузками по объекту.

## 2.4 Выбор числа и мощности питающих трансформаторов

«Трансформатор — это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки на каком-либо магнитопроводе и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений), без изменения частоты» [31].

Питание системы освещения и досвечивания теплиц осуществляется от собственных четырех генераторов, поэтому питающий трансформатор необходим для удовлетворения потребностей МЭЦ, т.е.  $S_p = 1044$  кВА.

Определим активные и реактивные потери в трансформаторе [10]

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p, \quad (15)$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1044 = 20,88 \text{ кВА},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p, \quad (16)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1044 = 104,4 \text{ кВА}$$

Полные трансформаторные потери [13]

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2}, \quad (17)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{20,88^2 + 104,4^2} = 106,4 \text{ кВА}$$

Определяем рабочую мощность трансформатора с учетом потерь

$$S_T = \frac{S_{\max} + \Delta S_T}{n \cdot 0,7}, \text{ кВА}, \quad (18)$$
$$S_T = \frac{1044 + 106,4}{2 \cdot 0,7} = 821,7 \text{ кВА}.$$

По справочнику выбираем силовой трансформатор марки ТМ-1000/10/0,4 номинальной мощностью 1000 кВА [27].

Определим коэффициент загрузки [29]

$$K_3 = \frac{S_{T,\text{расч}}}{n \cdot S_{T,\text{ном}}}, \quad (19)$$
$$K_3 = \frac{821,7}{2 \cdot 1000} = 0,41$$

## 2.5 Расчет и выбор компенсирующего устройства

Компенсировать реактивные нагрузки необходимо в том случае, если  $\cos \varphi$ , объекта меньше, чем требует энергосистема. Энергосистема задаёт предприятию  $\cos \varphi_{\text{эн}} = 0,95$  [24]. Необходима установка компенсирующих устройств, если  $\cos \varphi < 0,95$ :  $\cos \varphi = \frac{855,8}{1044} = 0,819$ , что меньше требуемых 0,95.

Найдём мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{\text{ку}} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi_p - tg \varphi_{\text{эн}}), \quad (20)$$

где  $\alpha=0,95$  - расчётный коэффициент, учитывающий возможность повышения  $\cos \varphi$  естественным путём;

$\tan \varphi_p = \frac{Q_p}{P_p} = 0,73$  - расчётный  $\tan \varphi$  по объекту;

$Q_p$  - расчётная реактивная мощность по объекту;

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{эн}} = 0,33 ; \text{ при } \cos \varphi_{\text{эн}} = 0,95.$$

$$Q_{\text{ку}} = 0,95 \cdot 855,8 \cdot (0,73 - 0,33) = 325,2 \text{ квар}$$

Выберем компенсирующее устройство по найденному значению  $Q_{\text{к.у}}$ :  
КРМ-0.4-320-3-25У3.

## 2.6 Расчет и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения

Кабель выбираем по длительно допустимому току. Выбираем кабель марки ВВГ четырехжильный:

Расчет автоматических выключателей.

Воздушные выключатели выполняют несколько функций:

- при отсутствии аварийного тока перегрузки или короткого замыкания пропускают через себя ток с наименьшими потерями [26];
- при возникновении аварийного тока перегрузки или короткого замыкания автоматические выключатели разъединяют электрическую цепь;
- служат для ручной коммутации электрических цепей.

Выбираем автоматический выключатель повышенной надежности марки MOELLER/EATON, предназначенный для эксплуатации в электрических цепях напряжением до 660 В переменного тока частотой 50-60 Гц, и до 400 В постоянного тока. Токи, протекающие через автоматические выключатели, были определены ранее и занесены в таблицу 1. При выборе автоматических выключателей их необходимо проверить на следующие критерии [16]:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (21)$$

$$I_{\text{max}} < I_{\text{ном}}; \quad (22)$$

$$I_{\text{ПО}} < I_{\text{дин}}; \quad (23)$$

$$I_{\text{уд}} < i_{\text{дин}}; \quad (24)$$

$$I_{a,\tau} < i_{a.\text{НОМ}} \quad (25)$$

Номинальный ток автомата  $i_{a.\text{НОМ}}$ , определяется по формуле:

$$i_{a.\text{НОМ}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.н}} \cdot \beta, \quad (26)$$

где  $I_{\text{откл.н}} = 16 \text{ кА}$  – ток отключения автомата Moeller PLHT-C40 (по datasheet);

$\beta = 20\%$  - влияние апериодической составляющей на ток КЗ [18];

$$i_{a.\text{НОМ}} = \sqrt{2} \cdot 16 \cdot 0,2 = 4,53 \text{ кА.}$$

Результат выбора представим в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Выбор автоматических выключателей

Наименование линии	Расчетный ток, А	Принятый номинальный ток автоматического выключателя, А	Тип, модель автоматического выключателя
1	2	3	4
Канализационная насосная станция	16	40	Moeller PLHT-C40
Транспортные насосы блок 1	30	40	Moeller NZMN1-A50
Транспортные насосы блок 2	59	60	Moeller NZMN1-A80
Транспортные насосы блок 3	30	40	Moeller NZMN1-A50
Транспортные насосы блок 4	30	40	Moeller NZMN1-A50
Транспортные насосы блок 5	18	19	Moeller NZMN1-A50
Узел учета газа	1,52	20	Moeller PLHT-C25
МРПБ	5,7	25	Moeller PLHT-C25
Щит управления топливными насосами ШУНДТ	8,91	20	Moeller PLHT-C25
Щит управления насосами подпитки ШУНП	10,44	20	Moeller PLHT-C25
Шкаф управления умягчением воды	0,19	6	Moeller PL7/1-C10
Комплекс пропорционального дозирования	0,19	6	Moeller PL7/1-C10

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Щит управления МЭЦ ЩУТ	0,64	6	Moeller PL7/1-C10
Щит сигнализации и автоматики ЩСУ	1,52	10	Moeller PL7/1-C16
Щит охранно-пожарной сигнализации	2,53	10	Moeller PL7/1-C16
Аварийное освещение помещения МЭЦ	7,27	10	Moeller PL7/1-C25
Калорифер электрощитовой	9,57	20	Moeller mRB6-C16
Розетки электрощитовой	5,05	16	Moeller mRB6-C16
Розеточная группа №1	5,05	16	Moeller mRB6-C16
Розеточная группа №2	5,05	16	Moeller mRB6-C16
Розеточная группа №3	14,62	16	Moeller mRB6-C16
Розеточная группа №4	14,62	16	Moeller mRB6-C16
ЯТП	1,46	6	Moeller PL7/1-C10
Тепловентиляторы (4 штуки)	52	16	Moeller PL7/1-C16
Щит автоматики управления теплицей	5,05	16	Moeller PL7/1-C16
Щит собственных нужд	20,7	21	Moeller NZMN1-A32
Шкаф управления горелкой котла №1	82	100	Moeller NZMN2-VE100
Шкаф управления горелкой котла №2	82	100	Moeller NZMN2-VE100
Шкаф управления горелкой котла №3	82	100	Moeller NZMN2-VE100
Панель EP721	59	80	Moeller NZMN2-VE100
Панель EP723	59	80	Moeller NZMN2-VE100
Панель EP725	59	80	Moeller NZMN2-VE100
Панель дозирования CO <sub>2</sub> №1	65	80	Moeller NZMN2-VE100
Панель дозирования CO <sub>2</sub> №2	79	80	Moeller NZMN2-VE100
Панель дозирования CO <sub>2</sub> №3	88	80	Moeller NZMN2-VE100
Транспортные насосы блок 6	59	60	Moeller NZMN1-A80
Транспортные насосы блок 7	59	60	Moeller NZMN1-A80
Транспортные насосы блок 8	59	60	Moeller NZMN1-A80
Рабочее освещение помещения МЭЦ	11,29	16	Moeller PL7/1-C16
Вентилятор системы вентиляции МЭЦ №1	0,8	6	Moeller PL7/1-C10

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Вентилятор системы вентиляции МЭЦ №2 и №3 – 2 штуки	1,06	6	Moeller PL7/1-C10
Шкаф управления горелкой котла №2	82	100	Moeller NZMN2-VE100
Шкаф управления горелкой котла №4	82	100	Moeller NZMN2-VE100
Шкаф управления горелкой котла №6	82	100	Moeller NZMN2-VE100
Панель EP722	59	80	Moeller NZMN2-VE100
Панель EP724	59	80	Moeller NZMN2-VE100
Панель EP726	59	80	Moeller NZMN2-VE100
Панель EP720	30	63	Moeller NZMN1-A80
Азотная установка Vernit	17.21	25	Moeller PLHT-C25
Шкаф управления фильтрующего блока	8,0	16	Moeller PLHT-C16

При выборе кабелей, проводов и их сечений необходимо следовать следующим критериям:

- номинальный протекающий ток;
- номинальное напряжение сети;
- способ прокладки;
- по таблицам длительного допустимого тока;
- по длине линии и потерям в ней.

Результат выбора сечений проводов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Кабельные линии МЭЦ

Наименование линии	Длина линии, м	Расчетный ток, А	Тип, модель кабеля и его сечение
1	2	3	4
Канализационная насосная станция	100	16	ВБбШВ 4×16

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
Транспортные насосы блок 1	55	30	ВВГЭнг(А)-LS 3×10/10мм <sup>2</sup>
Транспортные насосы блок 2	53	59	ВВГЭнг(А)-LS 3×16/10мм <sup>2</sup>
Транспортные насосы блок 3	55	30	ВВГЭнг(А)-LS 3×10/10мм <sup>2</sup>
Транспортные насосы блок 4	49	30	ВВГЭнг(А)-LS 3×10/10мм <sup>2</sup>
Транспортные насосы блок 5	49	18	ВВГЭнг(А)-LS 3×6/6мм <sup>2</sup>
Узел учета газа	55	1,52	ВВГнг-LS 3×2,5
МРПБ	100	5,7	ВВГнг-LS 5×2,5
Щит управления топливными насосами ШУНДТ	110	8,91	ВВГнг-LS 5×4
Щит управления насосами подпитки ШУНП	70	10,44	ВВГнг-LS 5×6
Шкаф управления умягчением воды	50	0,19	ВВГнг-LS 3×2,5
Комплекс пропорционального дозирования	50	0,19	ВВГнг-LS 3×2,5
Щит управления МЭЦ ЩУТ	65	0,64	ВВГнг-LS 3×2,5
Щит сигнализации и автоматики ЩСУ	32	1,52	ВВГнг-LS 3×2,5
Щит охранно-пожарной сигнализации	125	2,53	ВВГнг-FRLS 3×2,5
Аварийное освещение помещения МЭЦ	10	7,27	ВВГнг-LS 3×2,5
Калорифер электрощитовой	10	9,57	ВВГнг-LS 3×2,5
Розетки электрощитовой	10	5,05	ВВГнг-LS 3×2,5
Розеточная группа №1	40	5,05	ВВГнг-LS 3×2,5
Розеточная группа №2	40	5,05	ВВГнг-LS 3×2,5
Розеточная группа №3	40	14,62	ВВГнг-LS 5×2,5
Розеточная группа №4	40	14,62	ВВГнг-LS 5×2,5
ЯТП	90	1,46	ВВГнг-LS 3×2,5
Тепловентиляторы (4 штуки)	4x36	52	ВВГнг-LS 3×4
Щит автоматики управления теплицей	30	5,05	ВВГнг-LS 3×2,5
Щит собственных нужд	100	20,7	ВВГнг-LS 4×6
Шкаф управления горелкой котла №1	35	82	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>
Шкаф управления горелкой котла №2	48	82	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>
Шкаф управления горелкой котла №3	59	82	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
Панель EP721	35	59	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>
Панель EP723	48	59	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>
Панель EP725	59	59	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>
Панель дозирования CO <sub>2</sub> №1	40	65	ВВГЭнг(А)-LS 4×16/10 мм <sup>2</sup>
Панель дозирования CO <sub>2</sub> №2	40	79	ВВГЭнг(А)-LS 4×16/10 мм <sup>2</sup>
Панель дозирования CO <sub>2</sub> №3	40	88	ВВГЭнг(А)-LS 4×16/10 мм <sup>2</sup>
Транспортные насосы блок 6	51	59	ВВГЭнг(А)-LS 3×16/10 мм <sup>2</sup>
Транспортные насосы блок 7	51	59	ВВГЭнг(А)-LS 3×16/10 мм <sup>2</sup>
Транспортные насосы блок 8	51	59	ВВГЭнг(А)-LS 3×16/10 мм <sup>2</sup>
Рабочее освещение помещения МЭЦ	140	11,29	ВВГнг-LS 3×4
Вентилятор системы вентиляции МЭЦ №1	10	0,8	ВВГнг-LS 3×1,5
Вентилятор системы вентиляции МЭЦ №2 и №3 – 2 штуки	2x20	1,06	ВВГнг-LS 3×1,5
Шкаф управления горелкой котла №2	41	82	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>
Шкаф управления горелкой котла №4	54	82	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>
Шкаф управления горелкой котла №6	68	82	ВВГЭнг(А)-LS 4×25/16 мм <sup>2</sup>
Панель EP722	41	59	ВВГЭнг(А)-LS 4×16/10 мм <sup>2</sup>
Панель EP724	54	59	ВВГЭнг(А)-LS 4×16/10 мм <sup>2</sup>
Панель EP726	68	59	ВВГЭнг(А)-LS 4×16/10 мм <sup>2</sup>
Панель EP720	47	30	ВВГЭнг(А)-LS 4×10/10 мм <sup>2</sup>
Азотная установка Vernit	50	17.21	ВВГнг-LS 5×4
Шкаф управления фильтрующего блока	30	8,0	ВВГнг-LS 5×2,5

## **2.7 Описание решений по обеспечению электроэнергией электроприемников в рабочем и аварийном режимах**

Низковольтные комплектные устройства (НКУ) приняты шкафного исполнения. Степень защиты НКУ не менее чем IP54 в электрощитовой.

«На НКУ для подключения шкафов управления, поставляемых комплектно с оборудованием, предусматриваются автоматические выключатели, для электродвигателей предусматриваются блоки с автоматическим выключателем и контактором. Аппаратура защиты и управления, устанавливаемая на щитах, устойчива к расчетным токам короткого замыкания.

Для всех электроприемников на распределительных щитах предусматривается сигнализация положения выключателей «включено», «выключено», сигнализация работы электродвигателя «включено», «авария».

Защита электрооборудования от токов короткого замыкания, от работы в неполнофазном режиме и от перегрузки осуществляется комбинированными расцепителями автоматических выключателей.

Для защиты электродвигателей от перегрузки предусматриваются также тепловые реле и частотные преобразователи [21].

Степень защиты оболочки электрооборудования соответствует среде помещений, в которых оно установлено.

Пуск электродвигателей осуществляется методом прямого пуска и через частотные преобразователи. Управление электроприемниками предусматривается по месту их установки и, частично, дистанционное из обслуживаемого помещения.

Предусматривается автоматическое отключение вентиляторов общеобменной вентиляции, отопительных агрегатов при возникновении пожара.

Отключение осуществляется путем воздействия контакта из схемы пожарной сигнализации на катушку магнитного пускателя» [19].

Тепловые реле и магнитные пускатели установлены в щитах управления котлами, щите управления насосами Manifold, щитах дозирования CO<sub>2</sub>, поставляемые "АгроТехДидам".

## 2.8 Спецификация щитов и панелей

Спецификация щитов и панелей представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Спецификация щитов и панелей

Позицион- ное обозначе- ние	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозна- чение документа	Код оборудо- вания, изделия, материала	Завод- изготови- тель	Едини- ца изме- рения	Коли- чество
1	2	3	4	5	6	7
EP720	Щит управления работой МЭЦ	BoilerRoom Panel	-	Crone	шт	1
Boiler1	Щит управления горелкой 1	BoilerPanel	-	Crone	шт	1
Boiler2	Щит управления горелкой 2	BoilerPanel	-	Crone	шт	1
Boiler3	Щит управления горелкой 3	BoilerPanel	-	Crone	шт	1
Boiler4	Щит управления горелкой 4	BoilerPanel	-	Crone	шт	1
Boiler5	Щит управления горелкой 5	BoilerPanel	-	Crone	шт	1
Boiler6	Щит управления горелкой 6	BoilerPanel	-	Crone	шт	1
EP721	Щит управления котлом 1	Crone CLW	-	Crone	шт	1
EP722	Щит управления котлом 2	Crone CLW	-	Crone	шт	1
EP723	Щит управления котлом 3	Crone CLW	-	Crone	шт	1
EP724	Щит управления котлом 4	Crone CLW	-	Crone	шт	1
EP725	Щит управления котлом 5	Crone CLW	-	Crone	шт	1
EP726	Щит управления котлом 6	Crone CLW	-	Crone	шт	1

## Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
Frequentie Regelaar 1	Частотный преобразователь 1	11KW FC-102P11KT4	-	Danfoss	шт	1
Frequentie Regelaar 2	Частотный преобразователь 2	15KW FC-102P15KT4	-	Danfoss	шт	3
Frequentie Regelaar 3	Частотный преобразователь 3	18,5KW FC-102P18KT4	-	Danfoss	шт	6
Frequentie Regelaar 4	Частотный преобразователь 4	30KW FC-102P30KT4	-	Danfoss	шт	4
EP90	Splitbox Freq. 2X29A	-	-	Crone	шт	4
CO2-1, CO2-2, CO2-3	Щит управления двигателями CO	-		Crone	шт	3
ВРУ	Щит ВРУ в сборе	-	-	ADL	шт	1
ЩСУ	Щит сигнализации и автоматики	-	-	ADL	шт	1
ЩУНДТ	Щит управления насосами ДТ	-	-	ADL	шт	1
ЩУТ	Щит управления температуры в помещении МЭЦ	-	-	ADL	шт	1
ЩУНП	Щит управления насосами подпитки	-	-	Grundfos	шт	1
Priva	Щит автоматики Priva	-	-	Priva	шт	1
ОПС	Щит охранно-пожарной сигнализации	-	-	Bolid	шт	1

### 2.9 Перечень мероприятий по экономии электроэнергии

Предусматриваются следующие мероприятия, обеспечивающие экономию электрической энергии:

- для освещения используются светильники с наиболее экономичными светодиодными лампами.
- установка устройств компенсации реактивной мощности.
- установлены частотные преобразователи управления двигателями насосов и горелок.

Компенсация реактивной мощности позволила сбалансировать соотношение активной и реактивной мощностей, повысить качество напряжения в распределительных сетях.

«Частотные преобразователи позволяют управлять насосами гораздо эффективнее и рациональнее. С их помощью можно изменять скорость вращения двигателя насоса, тем самым регулируя его мощность. Это позволяет затрачивать меньшее количество энергии на поддержание нужного давления в трубопроводе. Реальная экономия электроэнергии при этом достигает 60%, вследствие чего установка частотного преобразователя окупается в течение 1-2 лет. Кроме того, увеличивается ресурс самого насоса за счет плавного пуска и останова двигателя» [6]

## **2.10 Сведения о типе, классе проводов и осветительной арматуры**

От распределительных щитов (ВРУ) и щитов управления (ШСУ) предусматриваются кабели с медными жилами, с ПВХ изоляцией и оболочкой типа «нг-LS», не распространяющей горение, на напряжение 1.0 кВ.

К прокладке приняты следующие марки кабелей:

- силовые кабели - ВВГнг-LS, ВВГнг-FRLS, КГВЭВнг-LS, NYCWY, КСБнг-FRLS;

- контрольные кабели - КВВГнг, UTP.

Предусматриваемая кабельная продукция имеет сертификаты Российской Федерации в области пожарной безопасности.

В здании принята открытая прокладка кабелей по кабельным конструкциям.

«Кабели взаиморезервируемых электроприемников прокладываются на разных отметках. Кабели для всех электроприемников 0,4 кВ выбираются по допустимому току, проверяются по потере напряжения и обеспечению автоматического отключения аварийного участка при возникновении однофазного короткого замыкания.

Для освещения здания используются наиболее экономичные светодиодные лампы. Выбор световой арматуры выполнен в зависимости от

назначения помещения, характеристики среды, величины требуемой освещенности и высоты подвеса светильников. Светильники располагаются в местах, доступных для обслуживания» [15].

## **2.11 Описание системы рабочего и дежурного освещения**

Проектом предусматриваются следующие виды освещения:

- общее рабочее;
- дежурное освещение;
- ремонтное.

«Выбор величины освещенности, качественных показателей освещения, типов светильников выполнен в соответствии с требованиями СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение». Напряжение сетей рабочего и дежурного освещения - 380/220В. Источники света приняты на напряжение 220В. В качестве источников света предусматриваются, в основном, светодиодные лампы. Выбор типов светильников выполнен в зависимости от назначения помещений, характеристики среды и высоты подвеса светильников» [22].

Общее рабочее освещение предусматривается во всех помещениях.

Эвакуационное освещение предусматривается в местах, опасных для прохода людей, на лестницах, служащих для эвакуации людей из помещений.

У выходов из помещений предусматривается установка световых указателей «Выход» со встроенным блоком питания.

Рабочее освещение получает питание от щита ВРУ.

Для рабочего освещения выбраны следующие светодиодные светильники:

- ДСП 1403 IP65 (70Вт);
- ДСП 1303 IP65 (40Вт);
- EL18 (с блоком аварийного питания);

- НСР 01-100/IP54-03(04)-LED (100 Вт);
- LSSA0-1001-003-K03 (аварийный эвакуационный);
- НБП 1401 60Вт IP54.

Ремонтное освещение предусматривается в местах, где требуется дополнительное освещение для выполнения ремонтных работ.

Напряжение сети ремонтного освещения - 12 В.

«Понизительные трансформаторы и штепсельные разъемы для подключения светильников ремонтного освещения принимаются в исполнении, отвечающем требованиям окружающей среды (в основном, со степенью защиты IP44).

Групповые сети выполняются кабелем с медными жилами. Все кабели приняты с ПВХ изоляцией и оболочкой, не поддерживающей горение (с индексом «нг-LS»).

Минимальное сечение жил кабеля - 1,5 кв.мм.

Кабели, в основном, прокладываются открыто на лотках и кабельных конструкциях.

Управление электроосвещением предусматривается напрямую от щита ВРУ и местными выключателями, установленными у входов» [24].

Светильники располагаются в местах, доступных для обслуживания на отметке +4,000 от уровня чистого пола.

Работы по обслуживанию светильников выполнять согласно правил технической эксплуатации электроустановок потребителей, с помощью приставных лестниц и стремянок. Допускается выполнение работ при высоте подвеса светильников, не превышающей 5 м., не менее чем двумя лицами.

Выводы по второму разделу.

Подобранное энергетическое оборудование МЭЦ позволяет ему работать в автоматическом режиме, без постоянно присутствующего обслуживающего персонала. Созданная система электроснабжения полностью соответствует ПУЭ-2007 «Правилам устройства электроустановок». Для всех электроприемников на распределительных

щитах предусматривается сигнализация положения выключателей «включено», «выключено», сигнализация работы электродвигателя «включено», «авария». Большинство электроприёмников МЭЦ относится к приёмникам трёхфазного тока напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц (горелки, насосы). К однофазной относится освещение, розеточные блоки работающие на промышленной частоте 50 Гц. Защита электрооборудования от токов короткого замыкания, от работы в неполнофазном режиме и от перегрузки осуществляется комбинированными расцепителями автоматических выключателей. Основными потребителями электроэнергии являются, осветительная сеть, технологическая силовая сеть, электродвигатели насосов, вентсистем, технологических станков, и сантехнические вентиляторы. Для защиты электродвигателей от перегрузки предусматриваются тепловые реле и частотные преобразователи. Качество электроэнергии соответствует ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

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

#### **3.1 Перечень мероприятий по электробезопасности**

Мероприятия по электробезопасности в установках 0,4 кВ.

«Для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала проектом предусматривается защита от прямого и косвенного прикосновения. Защита от прямого прикосновения обеспечивается применением изолированных кабелей, защитных кожухов и оболочек оборудования, установкой электрооборудования в шкафах и ящиках со степенью защиты не менее IP31» [6].

Для защиты от косвенного прикосновения предусматривается:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- защитное зануление;
- двойная изоляция.

«Для связи электроустановки с заземленной нейтралью трансформатора питающей подстанции используются N и PE-жилы питающих кабелей.

В качестве зануляющих проводников используются специальные зануляющие жилы кабелей - PE-проводники. Автоматическое отключение питания предусматривается в соответствии с п.п.1.7.78-1.7.79 ПУЭ (изд.7) и осуществляется автоматическими выключателями на распределительных щитах.

При этом наибольшее расчетное время защитного автоматического отключения не превышает допустимых значений.

Розеточные группы включаются через устройства защитного отключения - УЗО.

Предусматривается основная и дополнительная системы уравнивания потенциалов, объединяющая открытые проводящие части электроустановок и сторонние проводящие части, согласно п.п. 1.7.82-83 ПУЭ (изд.7)» [12].

«Для уравнивания потенциалов все металлические коммуникации, вводимые в здание и прокладываемые в здании, металлические части каркаса здания, металлические части систем вентиляции и кондиционирования, заземляющие устройства системы молниезащиты объединяются между собой и присоединяются к главным заземляющим шинам. В качестве главных заземляющих шин предусматривается использование РЕ-шины вводно-распределительных устройств.

В качестве проводников уравнивания потенциалов используются открытые проводящие части электроустановок (стальные трубы электропроводок, металлические короба, лотки и т.п.), сторонние проводящие части (металлические строительные конструкции зданий и сооружений), а также специально проложенные проводники (стальная полоса 40х4, гибкие проводники)» [8].

Все металлические части металлокаркаса здания должны быть подключены к заземлителю и нейтраль источника питания должна быть заземлена в системе TN.

Защитные мероприятия выполняются в соответствии с требованиями гл. 1.7 ПУЭ-2002 (7 изд.), гл. 7.3, 7.4 ПУЭ (6 изд.) и ГОСТ Р 51330.13-99.

### **3.2 Расчет заземления**

Монтаж теплового оборудования, которое работает на природном газе, на сегодняшний день широко распространено в быту и промышленности. Чтобы газовое оборудование нормально функционировало и было безопасно для человека, необходимо выполнить заземление МЭЦ.

«Газовые котлы изготовлены из металла. Из-за этого на металлической поверхности образуются статические заряды, которые формируют

электрическое поле. Если не выполнить заземление, то поле будет негативно воздействовать на электронику агрегата. Это может не только привести к сбою в работе управления, но и окончательной поломке оборудования. Также статическое напряжение вызывает неприятные ощущения и даже боль на коже человека при контакте со статической поверхностью. Помимо этого, заряженное поле может спровоцировать самовозгорание котла, что уже чревато возникновением опасной для жизни и здоровья ситуации. Именно поэтому заземление газовых котельных — просто необходимая мера.

Заземляющая конструкция является своеобразным проводником между газовым котлом и линией электропередач. Земля способна поглощать электрический ток, поэтому правильно выбранное сечение проводки и сопротивление заземляющего контура позволит обеспечить безопасную работу агрегата и оградить оборудование от скачков напряжения» [9]/

Принимаем к расчету следующие исходные данные:

- длина вертикального заземлителя  $L=3$  м (см. рисунок 4);
- вертикальный заземлитель уголок  $63 \times 63 \times 6$  мм;
- заглубление вертикального заземлителя  $t=0,7$  м;
- толщина вертикального слоя грунта  $H=1,0$  м;
- ширина горизонтального заземлителя  $50 \times 4$  мм;
- сезонный климатический коэффициент - горизонтальный заземлитель

$C_v=1,6$ ;

- сезонный климатический коэффициент - вертикальный заземлитель

$C_g=1,6$ ;

- удельное сопротивление верхнего слоя грунта  $P_1=100$  Ом х м;
- удельное сопротивление нижнего слоя грунта  $P_2=100$  Ом х м;
- нормируемое значения заземления  $R_H=4$  Ом;
- коэффициент использования заземлителей  $n_1= 0,69$ .

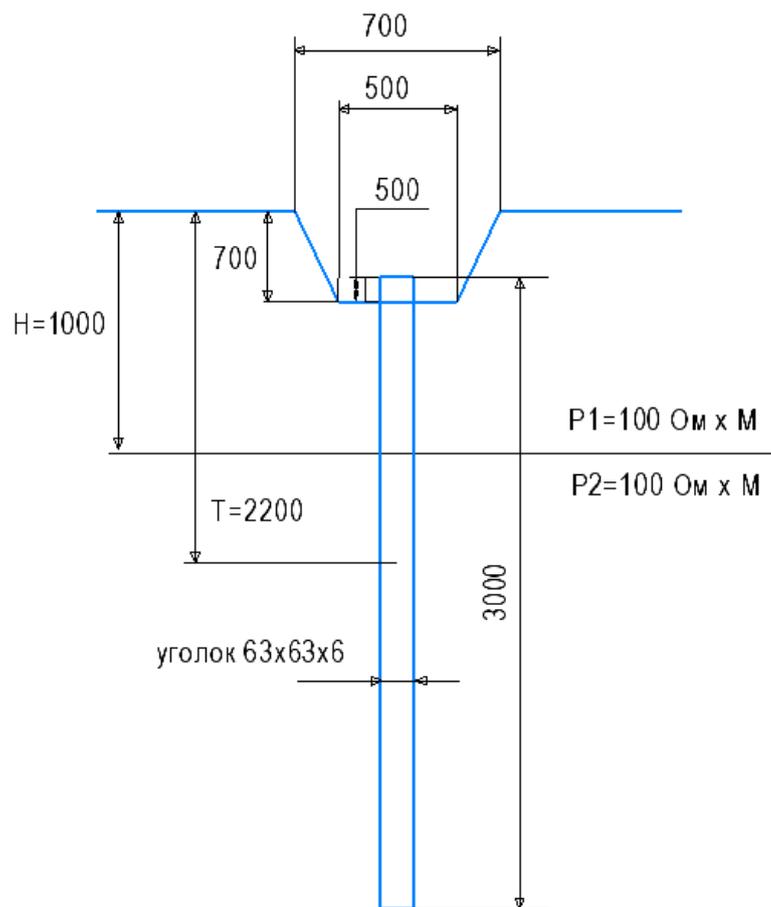


Рисунок 4 – Вертикальный заземлитель

Принимаем [3]:

- эквивалентное удельное сопротивление 103,9 Ом x м;
- сопротивление вертикального заземлителя 42 Ом;
- сопротивление контура 8,78 Ом;
- длина горизонтального заземлителя 18,0 м;
- сопротивление горизонтального заземлителя 28,31 Ом;
- расстояние между вертикальными заземлителями  $K=3-6$  м;
- расстояние от центра заземлителя до поверхности земли  $T=2,2$  м;
- количество вертикальных заземлителей = 10 шт.

Рассчитываем сопротивление  $R$ , Ом, вертикального заземлителя, выполненного из уголка, помещенного на глубине  $H$  от поверхности земли:

$$R = C_v \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \pi \cdot L \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot L}{0.95 \cdot b} + 0.5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot L + 7 \cdot h}{L + 7 \cdot h} \right) \right], \quad (27)$$

где L - длина уголка, м.

h - расстояние от поверхности земли до верхнего конца уголка, м.

$\rho$  - удельное сопротивление земли, Ом·м.

$C_v$  - коэффициент промерзания, учитывающий сезонные колебания температуры грунта

b - ширина стороны уголка, м.

$$R = 1,6 \cdot \frac{100}{2} \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,063} + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 3 + 7 \cdot 0,7}{3 + 7 \cdot 0,7} \right) \right] = 42,37 \text{ Ом.}$$

Сопротивление  $R_{\Gamma}$ , Ом, заземлителя в виде вытянутой металлической полосы, помещенной на глубине h:

$$R_{\Gamma} = C_v \cdot \frac{\rho}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{1,5 \cdot L}{(b \cdot h)^{0,5}}, \quad (28)$$

где L - длина заземлителя, м.

h - глубина прокладки полосы, м.

$$R_{\Gamma} = 1,6 \cdot \frac{100}{3,14 \cdot 3} \cdot \ln \frac{1,5 \cdot 3}{(0,063 \cdot 0,7)^{0,5}} = 28,31 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление нескольких вертикальных заземлителей одинакового сопротивления, соединённых параллельно с помощью горизонтальных заземлителей:

$$R_{об} = \frac{R_{\Gamma} \cdot R}{n_1 \cdot R_{\Gamma} + n_2 \cdot N \cdot R}, \quad (29)$$

где  $n_1$  - коэффициент использования протяжных заземлителей (полосы);

$n_2$  - коэффициент использования вертикальных заземлителей;

N - количество вертикальных заземлителей

$$R_{об} = \frac{28,31 \cdot 42,37}{0,69 \cdot 28,31 + 0,69 \cdot 10 \cdot 42,37} = 3,78 \text{ Ом}$$

Рассчитанное значение  $R_{об} = 3.78 \text{ Ом}$  меньше нормируемого значения заземления  $R_H = 4 \text{ Ом}$ . Значит конструкция системы заземления выбрана верно.

### 3.3 Молниезащита

МЭЦ требуют особо надёжной молниезащиты. Причина понятна – прямой удар молнии в объект может мгновенно привести к возгоранию и взрыву. Желательная надёжность системы не менее 0,95 (2-я категория молниезащиты). «Защита здания МЭЦ от разрядов молнии осуществляется с помощью молниеотводов. Молниеотвод представляет собой возвышающееся над защищаемым объектом устройство, через которое ток молнии, минуя защищаемый объект, отводится в землю. Оно состоит из молниеприёмника, непосредственно воспринимающего на себя разряд молнии, токоотвода и заземлителя» [11]. Принятая схема молниезащиты в двух проекциях показана на рисунках 5 и 6.

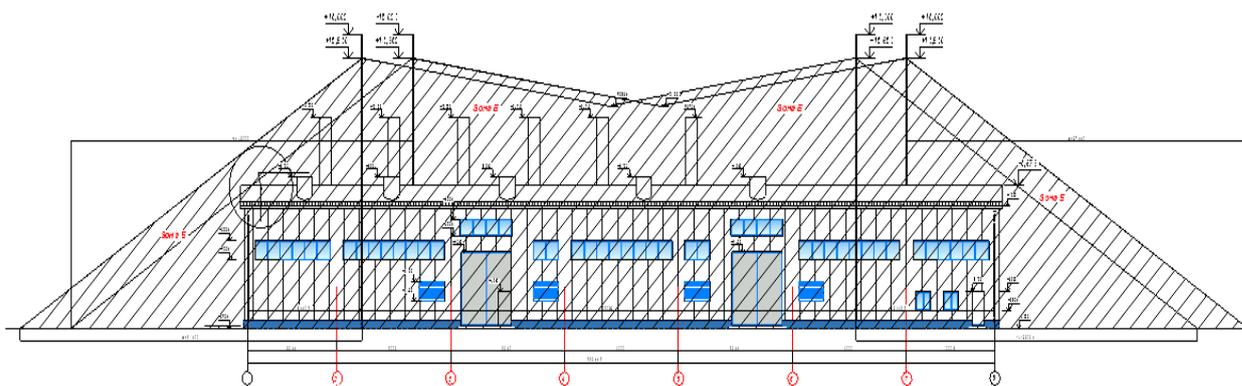


Рисунок 5 – Схема молниезащиты МЭЦ в первой проекции

Приняли схему двойного стержневого молниеотвода одинаковой высоты. Исходя из высоты здания задаемся высотой стержневого молниеотвода  $h = 18 \text{ м}$ . Выполним расчет основных размеров.

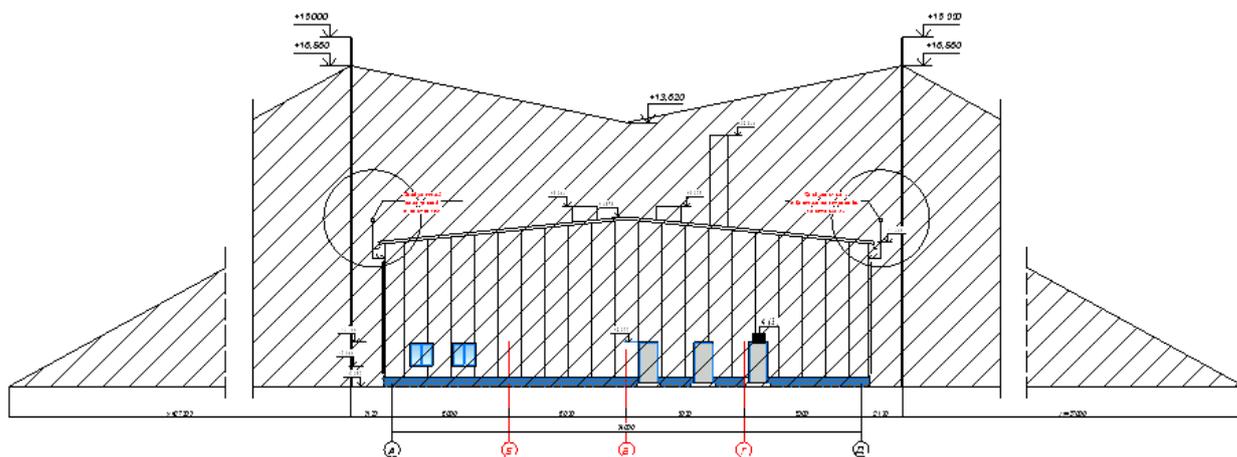


Рисунок 6 – Схема молниезащиты МЭЦ во второй проекции

Высота вершины конуса стержневого молниеотвода:

$$h_0 = 0,92 \cdot h, \quad (30)$$

$$h_0 = 0,92 \cdot 18 = 16,56 \text{ м}$$

Радиус защиты на уровне земли:

$$r_0 = 1,5 \cdot h, \quad (31)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ м}$$

В соответствии с габаритными размерами здания МЭЦ принимаем:

- расстояние между двумя стержневыми молниеотводами  $L=39$  м;
- высота защищаемого объекта  $h_x=8,575$  м.

При  $h < L < 6h$  высота средней части двойного стержневого молниеотвода определяется по формуле:

$$h_c = h_0 - 0,14 \cdot (L - h), \quad (32)$$

$$h_c = 16,56 - 0,14 \cdot (39 - 18) = 13,62 \text{ м.}$$

Радиус средней части двойного стержневого молниеотвода  $r_c = r_0 = 27$  м.

Радиус конуса стержневого:

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x) \cdot \left(\frac{1}{h_c}\right), \quad (32)$$
$$r_{cx} = 27 \cdot (13.62 - 8.575) \cdot \left(\frac{1}{13.62}\right) = 10 \text{ м.}$$

Особенности монтажа молниеотвода:

- верхний заземляющий выпуск стойки приварить к оголовку, нижний к заземляющему горизонтальному проводнику. Длина шва не менее 60 мм;
- оголовок соединить токоотводом с контуром заземления. Токоотвод приварить к оголовку и горизонтальному заземляющему проводнику (сталь 12 мм), длина шва не менее 60 мм;
- заземляющий выпуск в верхнем торце опоры загнуть для возможности одевания оголовка, остальные выпуски срезать по торцу стойки;
- все соединения в цепи заземления выполнить сваркой;
- молниеприемник приварить к контуру заземления двумя токоотводами: круглой сталью 6 мм по стойке СВ110 присоединив к нижнему заземляющему выпуску стойки СВ110;

3. Вместо стойки СВ110 возможно применение МОГК-14.

Выводы по третьему разделу.

Применение в МЭЦ таких мер по электробезопасности как защитное заземление, автоматическое отключение питания, уравнивание потенциалов, защитное зануление и двойная изоляция позволяет избежать поражения персонала электрическим током.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан проект системы электроснабжения агропромышленного комплекса "Тепличный комплекс «Агрокультура Групп».

Целью бакалаврской работы является повышение эффективности системы электроснабжения агропромышленного комплекса. Для этого был разработан проект многофункционального энергетического центра (МЭЦ), снабжающий тепличное хозяйство электроэнергией для системы досвечивания, горячей водой для отопления, теплой водой для полива и углекислым газом для создания благоприятной газовой среды для эффективного роста растений.

Подобранное энергетическое оборудование МЭЦ позволяет ему работать в автоматическом режиме, без постоянно присутствующего обслуживающего персонала. Созданная система электроснабжения полностью соответствует ПУЭ-2007 «Правилам устройства электроустановок». Для всех электроприемников на распределительных щитах предусматривается сигнализация положения выключателей «включено», «выключено», сигнализация работы электродвигателя «включено», «авария». Большинство электроприёмников МЭЦ относится к приёмникам трёхфазного тока напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц (горелки, насосы). К однофазной относится освещение, розеточные блоки работающие на промышленной частоте 50 Гц. Защита электрооборудования от токов короткого замыкания, от работы в неполнофазном режиме и от перегрузки осуществляется комбинированными расцепителями автоматических выключателей. Основными потребителями электроэнергии являются, осветительная сеть, технологическая силовая сеть, электродвигатели насосов, вентсистем, технологических стандов, и сантехнические вентиляторы. Для защиты электродвигателей от перегрузки предусматриваются тепловые реле и частотные преобразователи. Качество

электроэнергии соответствует ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

По результатам расчета определены:

- мощность системы досвечивания 6250 кВт;
- активная потребляемая мощность МЭЦ 855,8 кВт;
- реактивная потребляемая мощность МЭЦ 599,06 квар;
- полная мощность МЭЦ 1044 кВА;
- суммарная токовая нагрузка 1678,44 А;
- мощность силового трансформатора для обеспечения работы МЭЦ – 1000 кВА;
- мощность компенсации реактивной мощности 320 квар.

Также в работе составлена электрическая принципиальная схема ВРУ МЭЦ, определены марки и токи срабатывания автоматических выключателей, марки и сечения проводов и кабельных линий. Применены автоматические выключатели повышенной надежности марки MOELLER/EATON. Для электросети применили 3-х и 4-х жильные кабели типов ВБбШВ, ВВГЭнг(А)-LS, ВВГнг-LS различного сечения.

Для экономии электроэнергии предусмотрены следующие мероприятия, обеспечивающие экономию электрической энергии:

- для освещения используются светильники с наиболее экономичными светодиодными лампами.
- установка устройств компенсации реактивной мощности.
- установлены частотные преобразователи управления двигателями насосов и горелок.

Так как МЭЦ является объектом повышенной опасности, повышенное внимание в работе уделено электробезопасности на объекте, выполнены расчеты заземления и молниезащиты.

## 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-cexovyx-transformatornyx-podstancij.html> (дата обращения 28.01.2023)
2. Единая энергетическая система России [Электронный ресурс] : Официальный сайт Системного оператора единой энергетической системы URL: <https://so-ups.ru/index.php?id=ees> (дата обращения 01.03.2023)
3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии : руководство для практ. расчетов. - Москва : ЭНАС, 2018. - 456 с.
4. Жугарев Г.О. Проектирование системы освещения промышленного предприятия – Нижневартковск: 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 22.02.2023)
5. Конденсаторы для компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «ZPUE» URL: <https://zpue.com/ru/konteynernaya-transformatornaya-podstantsiya/podstantsiya-dlya-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti/primernoje-resheniye> (дата обращения 02.02.2023)
6. Конденсаторы типов ЭСВ, ЭСВП, ЭЭВ и ЭЭВП [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Машинформ.Ру». URL: <https://electro.mashinform.ru/kondensatory-dlya-ehlektrotermicheskikh-ustanovok/kondensatory-tipov-jesv-jesvp-jejev-i-jejevp-obj3148.html> (дата обращения 18.02.2023)
7. Красник В.В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств: произв.- практ. пособие. - 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: учеб. пособие. - 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 02.03.2023)

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

12. Пискунов В.М. Общая энергетика. 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 02.03.2023)

14. Маслакова Г.В. Потери энергии в электрических сетях и установках. - Липецк : Липец. гос. техн. ун-т : ЭБС АСВ, 2018. - 79 с.

15. Распределительные устройства и трансформаторные подстанции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Конструкция современного электротехнического оборудования» URL: <http://www.nasosinfo.ru/node/631> (дата обращения 02.03.2023)

16. Гуков П.О. Расчет режимов распределительных электрических сетей. - Воронеж : ВГАУ им. Петра I, 2018. - 105 с.

17. 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 10.02.2023)

18. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования [Электронный ресурс] / Офиц. изд. URL: <https://www.rts-tender.ru/poisk/rukovodjajwjj-dokument/153-34-0-20-527-98> (дата обращения 11.03.2023)

19. Сивков А.А. Основы электроснабжения: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 184 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SIVKOV/uchebnrab/Tab1/Power-supply-IDO.pdf> (дата обращения 06.02.2023).

20. Системы заземления – схемы, описание [Электронный ресурс]: Интернет-портал «Электромонтаж» URL: <https://electricvdome.ru/zazemlenie/sistema-zazemlenija-tn-c-s.html> (дата обращения 06.03.2023).

21. Соловьев А.Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ. - Санкт-Петербург : Политехника, 2018. - 175 с.

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.- Москва : Проспект, 2018. - 190 с.

24. Хорольский В.Я. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий : учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлению 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника". - Москва : Форум : [ИНФРА-М], 2018. - 142 с.

25. Пилюгин А.В. Экономика электроэнергетики : учеб. для студентов вузов, обуч. по направлению "Электротехника" .- 3-е изд., стер. - Старый Оскол : ТНТ, 2018. - 358 с.

26. 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 17.03.2023)

27. IEA Electricity Information 2018 [Electronic resource] / URL: <https://www.iea.org/Textbase/nptoc/elec2013toc.pdf> (дата обращения 06.02.2023)

28. LTB 145D1 / B switch gas-insulated core : Product information. Live Tank Circuit Breakers – Buyer’s Guide [Electronic resource] / URL: <https://library.e.abb.com/public/7079a21da16d711bc1257d04003d18e0/Buyers%20Guide%20HV%20Live%20Tank%20Circuit%20Breakers%20Ed%206en.pdf> (дата обращения 06.02.2023)

29. BF-80/1 Maschinenfabrik Reinhausen GmbH – MR : Design Submittal of 20 MVA Transformers [Electronic resource] / URL: <https://ru.scribd.com/document/23590321/4605-DS-002-B-Design-Submittal-of-20-MVA-Transformers> (дата обращения 06.03.2023)

30. GroE 300 classic: Exide Technologies Industrial Energy [Electronic resource] / URL: [http://acculine.hu/download/Classic\\_Groe.pdf](http://acculine.hu/download/Classic_Groe.pdf) (дата обращения 10.02.2023)

31. Osbert Joel C. High Rupturing Capacity (HRC) Fuses [Electronic resource] / URL: <https://owlcation.com/stem/High-Rupturing-Capacity-HRC-Fuses> (дата обращения 11.03.2023).