

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 Реконструкция системы электроснабжения электродвигательной
учреждения среднего образования г.Жигулевска

Студент

В.А. Ушаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова

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

Тольятти 2020

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проводится реконструкция системы электроснабжения электростанции среднего образовательного учреждения.

Объект исследования – ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска.

Цель работы – реконструкция системы электроснабжения электростанции с разработкой автоматизированной системы управления электрообогревом ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска, которая отвечает нормам надёжности, экономичности и безопасности.

Осуществлён анализ производственно-хозяйственной деятельности ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска и существующей схемы электроснабжения и оборудования электростанции ГБОУ «СОШ 10».

Проведена реконструкция системы электроснабжения электростанции ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска с применением соответствующих мероприятий по реконструкции электрической сети и оборудования электростанции. Осуществлена разработка автоматизированной системы управления электрообогревом ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска.

Осуществлена разработка мероприятий по охране труда и экологической безопасности.

Работа состоит из 70 страниц, 6 чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ объекта проектирования	6
1.1 Краткая характеристика школы.....	6
1.2 Характеристика помещений и оборудования котельной системы обогрева школы	8
1.3 Обоснование необходимости проведения реконструкции	12
2 Расчет и выбор оборудования для реконструкции системы электрообогрева котельной	14
2.1 Выбор технологического оборудования котельной	14
2.2 Выбор аппаратуры защиты и управления технологического оборудования котельной	24
2.3 Выбор и проверка сечений питающих проводников технологического оборудования котельной.....	28
2.4 Выбор и описание схемы электрической сети котельной	30
2.5 Расчёт силовых электрических нагрузок котельной	31
2.6 Выбор аппаратов защиты питающей силовой сети котельной.....	38
2.7 Выбор сечения кабелей питающей силовой сети котельной	39
2.8 Расчёт электрического освещения котельной.....	40
2.9 Разработка автоматизированной системы управления электрообогревом.....	51
3 Разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности	58
3.1 Разработка мероприятий по охране труда при выполнении работ в котельной	58
3.2 Мероприятия по электробезопасности на котельной	62
3.3 Мероприятия по пожарной безопасности на котельной.....	64
Заключение	68
Список используемых источников.....	69

Введение

Системы энергоснабжения в условиях современного производства – это сложный комплекс теплотехнического, электрического, газового, санитарного и специального оборудования. В свою очередь, эти элементы образуют более сложные подсистемы, которые объединены в систему и подчинены общей цели.

Важной является проблема обеспечения высоких энергетических показателей работы всех подсистем, в том числе систем теплоснабжения при минимальных затратах. Указанная проблема может быть решена методом оптимизации всех энергетических подсистем в процессе эксплуатации.

Большинство структурных элементов систем теплоснабжения, например, котельные установки, трубопроводы, газовое оборудование, являются объектами повышенной опасности, которые при процессе эксплуатации могут вызвать значительный материальный ущерб, а также повлечь иные тяжкие последствия. Поэтому важнейшей задачей является обеспечение безаварийной эксплуатации систем теплоснабжения и их оборудования.

Для учреждений образования требования к безотказному функционированию систем теплоснабжения являются очень высокими. Поэтому установленное оборудование котельных подвергается постоянным профилактическим мероприятиям и проверкам. При ревизии оборудования системы теплоснабжения средней образовательной школы № 10 («СОШ 10») г. Жигулевска выявлено, что котельной данного учреждения среднего образования используется устаревшее оборудование, включая устаревший твердотопливные котлы. Это оборудование исчерпало свой эксплуатационный ресурс.

Кроме того, твердотопливные котлы по сравнению с электрическими нагревательными установками имеют значительно худшие показатели.

Твердотопливные котлы целесообразно заменить современными электрическими котлами, имеющими ряд значительных преимуществ и позволяющими автоматизировать систему управления электрообогревом. Установка мощных электрических котлов в котельную школы потребует реконструкции всей системы электроснабжения.

При реконструкции системы электроснабжения электрокотельной следует предусмотреть разработку системы управления электрообогревом ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска, которая должна отвечать нормам надёжности, экономичности и безопасности.

Объект исследования – ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска.

Предмет исследования – система электрообогрева ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска.

Цель работы – разработка системы электрообогрева среднего образовательного учреждения г. Жигулевска за счет реконструкции системы электроснабжения электрокотельной.

1 Анализ объекта проектирования

1.1 Краткая характеристика школы

Муниципальное общеобразовательное учреждение «Жигулёвская средняя общеобразовательная школа №10» (далее - ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска), является образовательной организацией, и расположена по адресу: Российская Федерация, Самарская область, город Жигулёвск, микрорайон В-1, 29.

Учредителем ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска является Управление образования администрации Жигулёвского городского округа [4,5].

ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска является одной из самых крупных образовательных школ района и, по показателям успеваемости и трудоустройства выпускников, входит в десятку лучших школьных учреждений области [4,5].

На территории ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска есть двух и трёхэтажные корпуса для обучения, в которых располагаются учебные кабинеты и лаборатории, спортивные залы, мастерские (механическая и по обработке древесины), приёмные и учебно – методические кабинеты, подсобные и бытовые помещения [4,5].

Общая площадь помещений в ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска составляет 860 м².

ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска является некоммерческой организацией и не ставит извлечение прибыли основной целью своей деятельности [4,5].

По типу реализуемых основных образовательных программ ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска является общеобразовательным учреждением, организационно – правовая форма образовательной организации – муниципальное учреждение, статус – учреждение, тип – бюджетное

общеобразовательное учреждение, вид – средняя общеобразовательная школа [4,5].

Кроме того, ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска осуществляет иную деятельность, приносящую доход, а именно: содержание и присмотр за детьми школьного возраста; консультации педагогов; выполнение специальных работ по договорам, а также государственным и муниципальным контрактам; организация отдыха и развлечений; осуществление оздоровительной программы; организация питания в школьной столовой; оказание лечебно-оздоровительных услуг; аренда муниципального имущества; полиграфическая деятельность, услуги по изданию печатной продукции различного вида и назначения; оказание перечня услуг (информационных, консультационных, справочных, библиографических); услуги, связанные с организацией и проведением семинаров, конференций, ярмарок, конкурсов, выставок, презентаций и других аналогичных мероприятий; стажировка специалистов системы образования; прокат спортивного инвентаря, спортивной одежды и обуви; выполнение научно-исследовательских работ; создание и передача научной продукции, а также объектов интеллектуальной деятельности; оказание услуг по демонстрации видеофильмов для образовательных и научных целей; оказание арендаторам имущества, находящегося на балансе ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска, эксплуатационных, коммунальных и административно-хозяйственных услуг, а также услуг связи [34,35].

Источниками поступления финансовых средств ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска являются [4,5]:

- средства бюджета Жигулёвского городского округа;
- средства от приносящей доход деятельности (описаны выше);
- другие источники дохода в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Земельный участок, на котором расположена ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска, принадлежит ей на праве бессрочного пользования.

Для обеспечения помещений теплом и горячей водой в ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска предусмотрена котельная, реконструкция системы электроснабжения и оборудования которой является темой работы и проводится согласно утверждённому плану [4,5]. Организационная структура ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска представлена на рисунке 1.

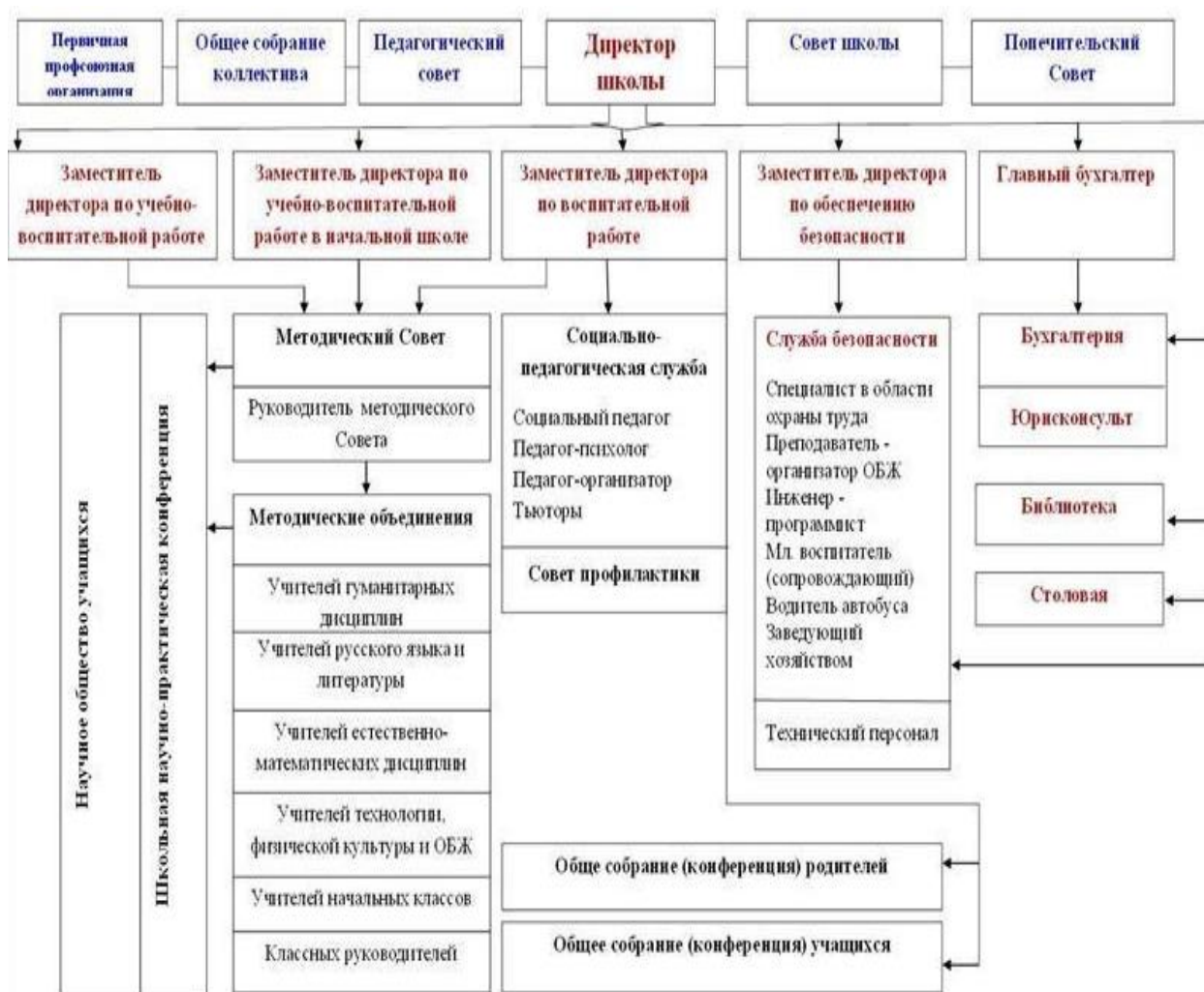


Рисунок 1 - Организационная структура ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска

1.2 Характеристика помещений и оборудования котельной системы обогрева школы

Производственные котельные установки предназначены для получения водяного пара и горячей воды на различные технологические нужды [6,7].

Котельной установкой называют конструктивно объединенный в единое целое комплекс котельного агрегата и вспомогательного оборудования.

Рабочий процесс в котельных установках состоит из следующих конечных стадий [6,7]:

- горения топлива;
- теплопередача от горячих газов к воде или пару;
- парообразования (нагрев воды до кипения и ее испарение) и перегрев насыщенного пара.

В отопительных котельных установках производят водяной пар низкого давления и нагревают воду для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Котельный агрегат представляет собой совокупность устройств, механизмов и элементов, соединенных между собой для производства водяного пара или теплой воды нужных параметров [6,7].

На сегодняшний день (до проведения реконструкции) на котельной было установлено устаревшее оборудование, включая устаревшие твердотопливные котлы, которые непрерывно функционируют более 50 лет и давно исчерпали свой технический ресурс и нуждаются в замене.

Основными элементами такого твердотопливного котла являются топка и теплообменные поверхности.

Взаимное расположение топки и газоходов, в которых находятся теплообменные поверхности нагрева, то есть компоновка котла, определяется свойствами топлива, паровой мощности и конечными параметрами пара [6,7].

Источником тепловой энергии в рассматриваемых котлах котельной школы является органическое топливо (уголь, дрова), которые подаются в топку в ручном режиме, что создаёт массу неудобств, а рабочим телом системы отопления является вода.

Эффективная работа котла возможна при условии непрерывной подачи воздуха в топку, необходимого для горения топлива и удаления в атмосферу продуктов сгорания после их охлаждения в теплообменных поверхностях котла.

Такие условия поддерживаются тягодутьевыми устройствами [6,7].

Газовоздушный тракт котельной установки включает в себя воздуховоды, вентиляторы, дымососы, дымовые трубы, запорные и регулирующие органы [6,7].

По способу организации движения воздуха и продуктов сгорания газовоздушный тракт рассматриваемой котельной относится к типу, выполняемому с с подачей воздуха вентилятором и удалением продуктов сгорания дымососом и трубой (рисунок 2). Такая система применяется для большинства современных котлов средней и большой мощности [6,7].

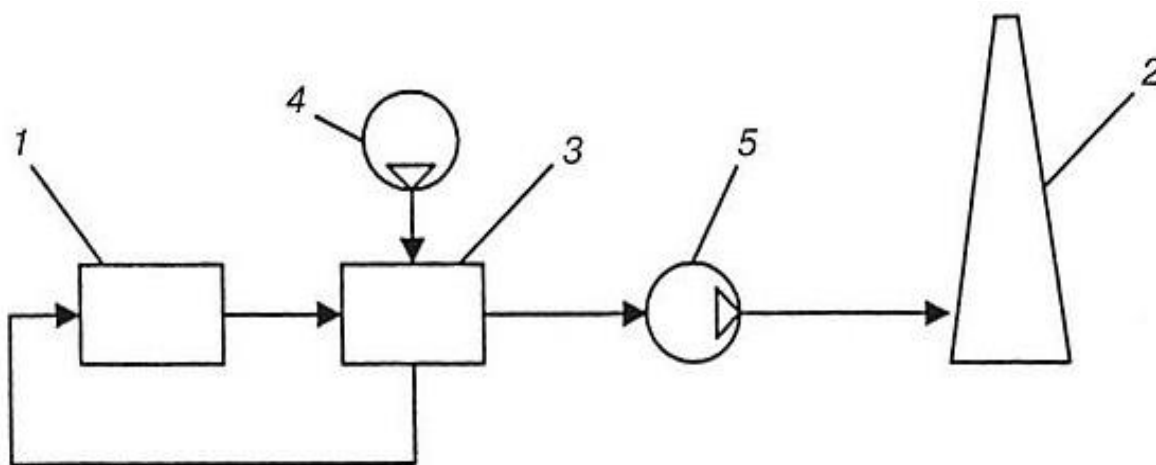


Рисунок 2 – Схема газовоздушного тракта котельной (система с подачей воздуха вентилятором и удалением продуктов сгорания дымососом и трубой): 1 - котел; 2 - дымовая труба; 3 - воздухоподогреватель; 4 - вентилятор; 5- дымосос

Аэродинамическое сопротивление газового тракта состоит из местных сопротивлений, зависящих от изменения сечения газоходов и их поворотов, и

из сопротивления, возникающего вследствие трения об ограничивающие поверхности.

К вспомогательному оборудованию относятся вентиляторы, дымососы, водоочистки, системы подготовки и подачи топлива и удаление шлаков, оборудование для очистки дымовых газов, дымовая труба и тому подобное [6,7].

В котельной имеются следующие помещения, выполняющие непосредственную роль в рабочем процессе [6,7]:

- помещение котельной, в котором установлено основное оборудование: котлы, насосы, экономайзеры и т.д. Так как в котельной установлено два мощных твердотопливных котла, оно также разделено на две секции.

В помещении котельной непосредственно осуществляется основной технологический процесс, заключающийся в подготовке и подаче в систему технической воды нужного качества;

- помещения технического обеспечения №1 и №2 – необходимы для обеспечения потребности собственных нужд котельной в технических коммуникациях: водоснабжении, водоотведении, горячей воде, технических приспособлениях для уборки и т.д.

В данных помещениях также хранится резервное ремонтное оборудование, приспособления и инструменты.

Помещения технического обеспечения непосредственно прилегают к помещению котельной, что связано с потребностями технологического процесса;

- диспетчерская – служат для обеспечения работы котельной, в диспетчерской размещён пульт управления оборудованием котельной, по которому диспетчер непосредственно следит за работой оборудования и контролирует его параметры;

- бытовое помещение – служит для обеспечения удобств обслуживающего и дежурного персонала котельной.

1.3 Обоснование необходимости проведения реконструкции

Как было указано ранее, сегодня на котельной установлено устаревшее оборудование, которое требует замены на современное, автоматизированное оборудование (включая устаревший твердотопливные котлы, которые непрерывно функционируют с 60-х годов 20 века).

Указанные котлы планируется заменить на современные электрические котлы, которые обладают рядом значительных преимуществ с последующей разработкой автоматизированной системы управления электрообогревом.

Кроме того, схема электроснабжения котельной не отвечает требованиям [1], т.к. относится ко II категории надёжности и требует двух независимых источников питания.

Также требуется модернизация электрооборудования котельной, а именно: кабельных линий и электрических аппаратов.

Учитывая инновационные разработки в сфере освещения, необходимо провести модернизацию электрического освещения котельной с заменой устаревших ламп накаливания на современные светодиодные источники освещения.

Кроме того, необходима разработка автоматизированной системы управления электрообогревом на электрокотельной, что не только автоматизирует технологический процесс, а и приведёт к значительной экономии денежных средств и ресурсов вследствие оптимизации технологического процесса.

Указанные задания решаются в работе далее.

Выводы по первому разделу.

Основными задачами работы являются:

- аналитический обзор системы электроснабжения, а также помещений и оборудования котельной ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска;

- проведение реконструкции системы электроснабжения и электрооборудования котельной ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска, которая предусматривает замену устаревших твердотопливных котлов на современные модели электрических котлов, а также выбор и проверку технологического оборудования, аппаратуры защиты и управления, сечений проводников технологического оборудования и питающей силовой сети котельной;

- выбор и описание схемы электрической сети котельной;

- расчёт силовых электрических нагрузок котельной;

- расчёт электрического освещения котельной;

- разработка автоматизированной системы управления электрообогревом;

- техника безопасности и охрана окружающей среды при выполнении работ на оборудовании котельной.

2 Расчет и выбор оборудования для реконструкции системы электроснабжения электростанции

2.1 Выбор технологического оборудования котельной

Как было указано ранее, сегодня на котельной установлено устаревшее оборудование, которое требует замены на современное, автоматизированное оборудование (включая два устаревших твердотопливных котла).

Указанные котлы планируется заменить на современные электрические котлы, которые обладают рядом значительных преимуществ с последующей разработкой автоматизированной системы управления электрообогревом.

Основные преимущества электрических котлов, следующие [6,7]:

- простота монтажа, обслуживания и эксплуатации;
- отсутствие дыма и газов, поэтому нет необходимости в создании системы дымо- и золоудаления, а также дополнительной системы вентиляции;
- компактность;
- возможность эксплуатации в отопительных системах открытого типа;
- безопасность в эксплуатации;
- бесшумность;
- надёжность.

Как было указано ранее, общая площадь обогрева помещений в ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска составляет 860 м².

Исходя из заданной площади, а также принимая во внимание потери в теплосети, рассчитывается площадь обогрева электрического котла [6,7]

$$S_k = k \frac{S}{n}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где S – общая площадь обогрева, м²;

n – количество электрических котлов, шт;

k – коэффициент запаса, учитывающий тепловые потери в системе отопления (зависит от структуры сети, теплоизоляции, протяжённости сети, средней температуры воздуха в случае прохождения теплотрассы по открытой местности и т.д.).

Принимается $k = 1,15$ [6,7].

По выражению (1)

$$S_k = 1,15 \frac{860}{2} = 494,5 \text{ м}^2.$$

Исходя из полученных результатов, выбираются для установки электрические котлы марки E-Tech P 57 (ACV), которые зарекомендовали себя на современном рынке благодаря значительным преимуществам и надёжности [8].

При этом максимальная площадь обогрева котла (таблица 1) соответствует рассчитанной площади по (1)

$$S_k = 494,5 \text{ м}^2 \approx P_{\text{макс}} = 500 \text{ м}^2.$$

Особенностью данного котла является тот факт, что он имеет три независимые ступени регулирования мощности (три ТЭНа по 18 кВт каждый), что значительно повышает надёжность электроснабжения (при исчезновении питания на одной ступени регулирования две другие остаются в работе).

Электрический котёл E-Tech P 57 (ACV) является одним из наиболее экологичных и современных электрических котлов, который применяется для отопления жилых и производственных помещений [8].

Он с лёгкостью подключается к любой системе отопления, включая

накопительные и смешанные системы, и может устанавливаться в закрытых системах отопления с твердотопливными котлами.

Электрические котлы ACV E-Tech P управляются электронной системой управления, которая адаптирует выходную мощность котла к потребностям за счёт 3-ступенчатой модуляции.

Система электронного управления котла имеет защиту на входе, состоящую из трёх силовых автоматических выключателей.

Данный котёл предназначен для напольного монтажа.

В качестве нагревателей использованы трубчатые электрические нагреватели (ТЭН).

Класс защиты котла – 1.

Основные технические характеристики выбранного типа электрического котла E-Tech P 57 (ACV) [8] представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики электрического котла марки E-Tech P 57 (ACV)

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Значение
1	Вес пустого котла	кг	110
2	Объём теплоносителя	л	60
3	Размеры котла	мм	
4	Максимальная площадь обогрева	м ²	До 500
5	Напряжение питания	В	380
6	Частота тока сети	Гц	50
7	Максимальный объём воды в системе отопления	л	300
8	Ступени мощности	кВт	3x18
9	КПД	%	98
10	Максимальное давление в системе	Бар	3
11	Регулирование отопительного контура	°С	0 – 90

Внешний вид выбранного типа электрического котла марки E-Tech P 57 (ACV) [8] показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Внешний вид выбранного типа электрического котла E-Tech P 57 (ACV)

Принимается для установки в помещении котельной технологическое оборудование согласно [6,7].

Кроме основного оборудования (котла), теплогенерирующая установка должна иметь вспомогательное оборудование, в состав которого непосредственно входят [6,7]:

- питательные насосы;
- сетевые насосы;
- устройства подготовки питательной воды;
- контрольно-измерительные приборы;
- средства регулирования и управления;
- устройства подачи воды.

Питательные насосы служат для подачи воды в систему теплоснабжения (тепловую сеть).

В котельной также устанавливают баки с питательной водой.

Питательный насос забирает воду из этих питательных баков и подает ее обратно в тепловую сеть [6,7].

Сетевые (циркуляционные) насосы устанавливают в водогрейных котельных.

В таких установках трубопровод обратной воды отопительной системы присоединяют к сетевому насосу, который прокачивает воду через котел и затем по нагнетательному трубопроводу подает ее в отопительную систему [6,7].

Устройства для подготовки питательной воды включают в себя следующие элементы:

- водозаборные устройства;
- установки химической водообработки;
- устройства деаэрации.

В установке химводообработки умягчают (удаление соли жесткости, вызывающие отложение накипи на тепловоспринимающих поверхностях котла) исходную сырую воду, а в деаэраторе удаляют коррозионно-активные газы из химически обработанной воды.

Деаэрированная вода подается на питание паровых котлов питательными насосами и подпитку тепловых сетей подпиточными насосами [6,7].

Для контроля и автоматического регулирования процессов, протекающих в котельной установке, служат приборы контроля и автоматики.

Для поддержания качественного состава воздуха в помещениях котельной необходимо их систематическое вентилирование [6,7].

Влияние воздушной среды на организм человека обусловлено следующими параметрами, которые относят к основным параметрам микроклимата:

- температурой,
- влажностью;
- скоростью движения воздуха;
- химическим составом воздуха;

- наличием в воздухе механических примесей;
- наличием в воздухе органических примесей.

Наибольшее влияние на физиологическое положение организма человека и его работоспособность оказывают температура и влажность воздуха [6,7].

Современное интенсивное производство требует интенсивного воздухообмена, обеспечение которого невозможно без применения электрических вентиляторов.

Специфика технологического процесса котельной требует регулировки микроклимата с целью создания оптимального параметра воздушной среды [6,7].

Неудовлетворительное значение температурно-влажностного режима и газового состава воздуха в помещении котельной приводит к снижению работоспособности дежурного и обслуживающего персонала в среднем на 10-15%, а также может повлечь за собой перегрев дорогостоящего оборудования вплоть до его поломки [6,7].

К основным параметрам вентиляторов относятся производительность и расчетный напор [6,7].

Производительность вентиляционной установки определяется, исходя из удаления избыточной влаги, теплоты и углекислоты.

При этом за расчетную производительность вентиляционной установки берется одно из наибольших значений, полученных в процессе расчета по конкретному помещению [6,7].

Для вентиляции помещений котельных в настоящее время широкое применение нашли вентиляционные установки вытяжного типа, которые предназначены для обеспечения необходимого воздухообмена [6,7].

Параллельно с установками электрообогрева (производственными калориферами), они создают необходимый уровень влажности и температурного режима.

Поддержание заданной температуры и воздухообмен выполняется

путем автоматического изменения частоты вращения двигателей вытяжных вентиляторов при отклонении температуры воздуха от установившегося значения, а также отключением производственных калориферов (при необходимости).

Обеспечение котельной водой (технической и питьевой) осуществляется из артезианской скважины, пробуренной на территории школы [6,7].

Вода поступает в помещение котельной по системе водоснабжения с водонапорной башни.

Внутренняя система водоснабжения проектируется с помощью водоснабжающих труб с разводом по стенам к технологическому оборудованию.

Для обеспечения технической водой котельной применяются насосы подачи воды, являющиеся глубинными насосами [6,7].

Для автоматического, местного и дистанционного управления ими используется комплектное устройство, работающее в режиме водоподъема и дренажа, а также обеспечивающее защиту электродвигателей от аварийных режимов, что способствует значительному увеличению продуктивности установки и минимизации затрат [6,7].

Подключается данное устройство к трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В [9].

Датчик уровня воды работает при температуре окружающей среды (от 1 до 40°C), рабочее положение датчика – вертикальное.

Устройство подачи воды выполняет функции автоматического автономного пуска, регулирования, защиты и возможных блокировок от неправильных включений [9].

Также в качестве резервного источника отопления для обогрева помещения котельной предусмотрен производственный калорифер.

Кроме того, в резервного отопления, используется мощный электрический водонагреватель типа ВЕТ-400, который используется для

предотвращения замерзания воды в системе отопления котельной в случае аварийного прекращения работы электрических котлов на рассматриваемой электрокотельной.

Кроме того, для обслуживания и ремонта системы отопления, а также её составляющих, в котельной предусмотрена установка компрессора и сушильных печей, которые используются только во время обслуживания и ремонта оборудования котельной.

Далее осуществляется выбор и проверка электрооборудования указанных механизмов.

Проводится выбор и проверка электродвигателя на примере вытяжного вентилятора (номер 1 по плану).

Выбор мощности двигателя согласно [10]

$$P_{\text{дв}} = \frac{Q \cdot P}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_a}, \text{кВт}, \quad (2)$$

где Q - производительность вентиляционной установки, м³/с;

η_n - КПД механической передачи;

η_a - КПД вентиляционной установки;

P - давление воздуха, Па.

По выражению (2)

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,7 \cdot 1850}{1000 \cdot 0,78 \cdot 0,95} = 4,24 \text{кВт}.$$

Расчётная мощность двигателя с учётом коэффициента запаса [13]

$$P_{\text{дв}}^{\prime} = P_{\text{дв}} \cdot K_3, \quad (3)$$

где K_3 – коэффициент запаса.

По выражению (3) определяется мощность двигателя с учётом коэффициента запаса

$$P_{дв}^{\prime} = 4,24 \cdot 1,2 \approx 5,1 \text{ кВт.}$$

Выбор электродвигателя вентилятора осуществляется согласно положений [10].

Результаты выбора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Выбор электродвигателя вентиляционной установки

Типоразмер двигателя	$P_{дв}$, кВт	$S_{дв}$, %	КПД, о.е.	$\cos \varphi$	$M_{max} / M_{ном}$	$M_n / M_{ном}$	$M_{мин} / M_{ном}$	$I_n / I_{ном}$
4А112М4УЗ	5,5	5	0,875	0,91	2,2	2	1,6	7,5

Синхронная частота вращения электродвигателя - 1500 об/мин.

Проверка двигателя по условиям перегрева [13]

$$M_{ном.дв} \geq M_c, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4)$$

где M_c - статический момент нагрузки, Нм;

$M_{ном}$ - номинальный момент, который развивает двигатель, Нм.

$$M_{ном.дв} = \frac{9,55 P_{ном.дв}}{n_{ном.дв}}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (5)$$

где $n_{ном.дв}$ - номинальная частота вращения электродвигателя, об/мин.

$$n_{ном.дв} = n_1 (1 - S_{ном.дв}), \text{ об} / \text{мин}, \quad (6)$$

где n_1 - синхронная частота вращения электродвигателя, об / мин.

По выражениям (4-6)

$$n_{ном.дв} = 1500(1 - 0,05) = 1425 \text{ об / мин.}$$

$$M_{ном.дв.р} = \frac{9,55 \cdot 4,24}{1425} = 28,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_c = 1,1 \cdot 28,4 = 31,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_{ном.дв} = \frac{9,55 \cdot 5,5}{1425} = 36,9 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Условие (4) выполняется

$$36,9 \geq 31,4, \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Условия проверки выбранного двигателя в условиях пуска и перегрева выполняются.

Остальное электрооборудование котельной выбираются аналогично по [6,7,10] и результаты выбора приведены в таблице 3.

План расположения выбранного оборудования представлен на графическом листе 1.

Таблица 3 – Выбор электрооборудования котельной

№ по плану	Наименование оборудования	Тип двигателя	Параметры двигателя			
			$P_{ном}$, кВт	η , %	$\cos\varphi$	$K_{пуск}$
1	Вентилятор вытяжной №1	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
2	Насос подачи воды №1	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
3	Насос подачи воды №2	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
4	Вентилятор вытяжной №2	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
5	Питательный насос	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
6	Насос химочистки и водоподготовки	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
7	Сетевой насос №1	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
8	Фекальный насос	4A112M2Y3	7,5	0,875	0,88	7,5
9	Сетевой насос №2	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
10	Производственный калорифер (резервная СО)	-	8	1	1	2,5

Продолжение таблицы 3

№ по плану	Наименование оборудования	Тип двигателя	Параметры двигателя			
			$P_{ном},$ кВт	$\eta, \%$	$cos\varphi$	$K_{пуск}$
11	Компрессор производственный	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
12	Электрический котёл №1 (одна ступень мощности)	-	18	1	1	2,5
13	Воздухоосушитель	4A80B2Y3	2,2	0,830	0,87	6,5
14	Электрический котёл №2 (одна ступень мощности)	-	18	1	1	2,5
15	Водонагреватель типа ВЕТ-400 (резервная СО)	-	11	1	1	2,5
16	Вентилятор вытяжной №3	4A90L2Y3	3	0,845	0,88	6,5
17	Сушильная печь	-	22	1	0,35	3
18	Вентилятор производственный	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5

2.2 Выбор аппаратуры защиты и управления технологического оборудования котельной

Защита от ненормальных режимов работы и коммутация электрооборудования электрокотельной выполняется автоматическими выключателями, которые монтируются непосредственно в силовых распределительных шкафах (СРШ). Для непосредственного управления электродвигателями (пуск, стоп, реверсирование) на котельной применяются магнитные пускатели серии ПМЛ.

Значение расчетного тока электродвигателя [10]:

$$I_p = \frac{P_{уст}}{\sqrt{3}U_c \cos\varphi_{ном} \eta_{ном}}, A, \quad (7)$$

где $P_{уст}$ – значение установленной мощности оборудования, кВт;

U_c – значение номинального напряжения сети, кВ;

$\cos\varphi_{ном}$ – номинальное (паспортное) значение коэффициента мощности электроприемника;

$\eta_{ном}$ – номинальное (паспортное) значение КПД электроприемника.

Значение пускового тока электродвигателя определяется таким образом [10]:

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_p, \quad (8)$$

где $K_{\text{пуск}}$ – значение пускового коэффициента.

Номинальные значения токов автоматического выключателя $I_{\text{нома}}$ и его расцепителя $I_{\text{номр}}$ выбираются согласно [11]:

$$I_{\text{нома}} \geq I_p, \quad (9)$$

$$I_{\text{номр}} \geq I_p. \quad (10)$$

Значение тока срабатывания электромагнитного расцепителя [10]:

$$I_{\text{ср.р}} \geq K_n \cdot I_{\text{пуск}}, \quad (11)$$

где K_n – значение коэффициента надежности.

Для защиты одиночных электродвигателей, выражения (9) – (11):

$$I_p = I_{\text{ном}};$$

$$I_n = I_{\text{пуск}}.$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя автомата [11]:

$$I_{\text{ср.р.}} = K_{\text{т.о.}} \cdot I_{\text{номр}}, \quad (12)$$

где $K_{\text{т.о.}}$ – кратность тока отсечки.

$$K_{\text{т.о.}} \geq \frac{K_n \cdot I_n}{I_{\text{номр}}}. \quad (13)$$

Для примера выбирается автомат для электроприёмника №1 по плану.

По условию (7)

$$I_p = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,880 \cdot 0,91} = 10,49 \text{ A.}$$

По условию (8)

$$I_{\text{пуск}} = 7,5 \cdot 10,49 = 78,71 \text{ A.}$$

Принимается автомат марки ВА 47-29/25С с характеристиками [12]:

$$I_{\text{на}} = 25 \text{ A}; I_{\text{нр}} = 12,5 \text{ A}; K_{\text{то}} = 10.$$

По условию (13)

$$10 > \frac{1,25 \cdot 78,71}{12,5} = 7,87.$$

Выбор магнитных пускателей осуществляется из соотношения [12]

$$I_{\text{нэ}} \geq I_n, \text{ A.} \quad (14)$$

где $I_{\text{нэ}}$ – номинальный ток нагревательного элемента теплового реле.

Для ЭП №1 $I_p = 10,49 \text{ A}$. Выбирается пускатель ПМЛ 2230 с $I_{\text{ном}} = 25 \text{ A}$.

Условие (14) выполняется:

$$25 \text{ A} > 10,49 \text{ A.}$$

Выбор остальных автоматических выключателей и магнитных пускателей аналогичен и сведён в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбор автоматических выключателей и магнитных пускателей оборудования котельной

№ по плану	Наименование оборудования	Параметры электроприемника						Параметры автомата				Параметры пускателя	
		$P_{дв}, кВт$	$\eta, \%$	$\cos \varphi$	$K_{п}$	$I_p, А$	$I_{п}, А$	Марка	$I_{на}, А$	$I_{пр}, А$	$K_{т.о}$	Марка	$I_{ном}, А$
1	Вентилятор вытяжной №1	5,5	0,875	0,91	7,5	10,49	78,71	ВА 47-29/25С	25	12,5	10	ПМЛ 2230	25
2	Насос подачи воды №1	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 47-29/25С	25	20	10	ПМЛ 2230	25
3	Насос подачи воды №2	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 47-29/25С	25	20	10	ПМЛ 2230	25
4	Вентилятор вытяжной №2	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 47-29/25С	25	20	10	ПМЛ 2230	25
5	Питательный насос	5,5	0,875	0,91	7,5	10,49	78,71	ВА 47-29/25С	25	12,5	10	ПМЛ 2230	25
6	Насос химочистки и водоподготовки	5,5	0,875	0,91	7,5	10,49	78,71	ВА 47-29/25С	25	12,5	10	ПМЛ 2230	25
7	Сетевой насос №1	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 47-29/25С	25	20	10	ПМЛ 2230	25
8	Фекальный насос	7,5	0,875	0,88	7,5	14,80	110,99	ВА 47-29/25С	25	16	10	ПМЛ 2230	25
9	Сетевой насос №2	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 47-29/25С	25	20	10	ПМЛ 2230	25
10	Производственный калорифер (резервная СО)	8	1	1	2,5	12,15	-	ВА 47-29/25С	25	12,5	10	-	-
11	Компрессор производственный	11	0,880	0,9	7,5	16,50	123,73	ВА 47-29/25С	25	20	10	ПМЛ 2230	25
12	Электрический котёл №1 (одна ступень мощности)	18	1	1	2,5	27,35	-	ВА 51-35 М1	100	31,5	10	-	-
13	Воздухоосушитель	2,2	0,830	0,87	6,5	4,63	30,09	ВА 47-29/25С	25	5	10	ПМЛ 2230	25
14	Электрический котёл №2 (одна ступень мощности)	18	1	1	2,5	27,35	-	ВА 51-35 М1	100	31,5	10	-	-
15	Водонагреватель типа ВЕТ-400 (резервная СО)	11	0,880	0,9	7,5	19,18	143,88	ВА 47-29/25С	25	20	10	ПМЛ 2230	25
16	Вентилятор вытяжной №3	3	0,845	0,88	6,5	6,13	39,84	ВА 47-29/25С	25	6,3	10	ПМЛ 2230	25
17	Сушильная печь	22	0,880	0,91	7	24,66	172,65	ВА 47-29/25С	25	25	10	ПМЛ 2230	25
18	Вентилятор производственный	11	1,000	0,35	3	95,50	-	ВА 51-35 М1	100	100	10	-	-

2.3 Выбор и проверка сечений питающих проводников технологического оборудования котельной

Проводники электрических сетей котельной выбираются и проверяются по допустимому нагреву [13,14]:

$$I_{\text{доп.}} \geq I_{\text{доп.}} / K_n; \quad (15)$$

$$I_{\text{доп.}} \geq K_3 I_3 / K_n; \quad (16)$$

где I_p – расчетный ток электроприемника, А;

K_n – коэффициент поправки, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей ($K_n=1$);

K_3 – кратность допустимого тока кабельной линии по отношению к току срабатывания защитного аппарата;

I_3 – номинальное значение тока аппарата защиты, А.

Для подключения электроприемников используются медные кабели ВВГнг-LS, проложенные в трубах [13]. Для ответвления к ЭП №1 $I_p = 10,49$ А, защищаемого автоматическим выключателем с $I_3 = 12,5$ А, прокладываются медные кабели ВВГнг-LS от СРШ в пластмассовой трубе.

По выражениям (15) и (16)

$$I_{\text{доп.}} \geq 10,49 / 1 = 10,49 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп.}} \geq 1 \cdot 12,5 = 12,5 \text{ А}.$$

Выбираются кабель марки ВВГнг-LS 5x1,5 с $I_{\text{доп.}} = 19$ А [13], предусматривается прокладка кабеля в бетонном полу в пластмассовой трубе диаметром 32 мм [13].

Для остальных электроприемников котельной выбор сводится в таблицу 5.

Таблица 5 - Выбор сечения проводников к технологическому оборудованию котельной

№ по плану	Наименование оборудования	I_p, A	I_3, A	K_n	K_3	$I_p/K_n, A$	$(I_3 \cdot K_3)/K_n, A$	Параметры проводника		Диаметр трубы
								Марка	$I_{дон}, A$	
1	Вентилятор вытяжной №1	10,49	12,5	1	1	10,49	12,5	ВВГнг-LS 5x1,5	19	32
2	Насос подачи воды №1	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
3	Насос подачи воды №2	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
4	Вентилятор вытяжной №2	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
5	Питательный насос	10,49	12,5	1	1	10,49	12,5	ВВГнг-LS 5x1,5	19	32
6	Насос химочистки и водоподготовки	10,49	12,5	1	1	10,49	12,5	ВВГнг-LS 5x1,5	19	32
7	Сетевой насос №1	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
8	Фекальный насос	14,80	16	1	1	14,80	16	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
9	Сетевой насос №2	18,42	20	1	1	18,42	20	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
10	Производственный калорифер (резервная СО)	12,15	12,5	1	1	12,15	12,5	ВВГнг-LS 5x1,5	19	32
11	Компрессор производственный	16,50	20	1	1	16,50	20	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
12	Электрический котёл №1 (одна ступень мощности)	27,35	31,5	1	1	27,35	31,5	ВВГнг-LS 5x4	32	32
13	Воздухоосушитель	4,63	5	1	1	4,63	5	ВВГнг-LS 5x1,5	19	32
14	Электрический котёл №2 (одна ступень мощности)	27,35	31,5	1	1	27,35	31,5	ВВГнг-LS 5x4	32	32
15	Водонагреватель типа ВЕТ-400 (резервная СО)	19,18	20	1	1	19,18	20	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
16	Вентилятор вытяжной №3	6,13	6,3	1	1	6,13	6,3	ВВГнг-LS 5x1,5	19	32
17	Сушильная печь	24,66	25	1	1	24,66	25	ВВГнг-LS 5x2,5	27	32
18	Вентилятор производственный	95,50	100	1	1	95,50	100	ВВГнг-LS 5x16	116	80

2.4 Выбор и описание схемы электрической сети котельной

Электроснабжение котельной осуществляется от шин распределительного устройства низшего напряжения (РУ НН) трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ двумя кабельными линиями, получающими питание от разных трансформаторов ТП-10/0,4 кВ.

По степени надежности электроснабжения, котельная относится ко II категории потребителей по надёжности электроснабжения, поэтому на ТП-10/0,4 кВ должны быть установлены 2 силовых трансформатора [1,15].

В схеме ТП-10/0,4 кВ на стороне НН необходимо использовать секционированную систему сборных шин [1,15].

При этом резервирование на ТП-10/0,4 кВ осуществляется на стороне НН с помощью секционного автомата [1,15].

Электрическая сеть 0,38/0,22 кВ выполнена радиально, что имеет ряд неоспаримых преимуществ по сравнению с другими типами схем [1,15].

Питание электроприемников котельной осуществляется от силовых распределительных шкафов (далее – СРШ) [1,15].

Силовые распределительные шкафы, в свою очередь, получают питание от шин 0,38/0,22 кВ ТП-10/0,4 кВ пятижильным кабелем АВВГ, проложенным в лотках, прикрепленных к стенам и конструкциям здания [1,15].

СРШ прикрепляются к колоннам строительного модуля [1,15].

В СРШ устанавливаются автоматические трехполюсные выключатели марки ВА 51 с номинальным током до 100А [16].

Электроприемники котельной питаются от СРШ медными кабелями марки ВВГнг-LS с пятью жилами [16].

Распределение электроприемников котельной по СРШ приведено в таблице 6.

Расположение выбранного производственного оборудования котельной показано на графическом листе №1.

Таблица 6 - Распределение электроприемников котельной по СРШ

№ СРШ	№ по плану	Наименование электроприемников	$P_{ном},$ кВт	Количество, шт
СРШ 1	2	Насос подачи воды №1	11	2
	16	Вентилятор вытяжной №3	3	1
	17	Сушильная печь	22	3
	18	Вентилятор производственный	11	2
СРШ 2	3	Насос подачи воды №2	11	1
	10	Производственный калорифер (резервная СО)	8	2
	11	Компрессор производственный	11	3
	13	Воздухоосушитель	2,2	1
	5	Питательный насос	5,5	1
СРШ 3	1	Вентилятор вытяжной	5,5	2
	6	Насос химочистки и водоподготовки	5,5	4
	8	Фекальный насос	7,5	2
СРШ 4	7	Сетевой насос №1	11	2
	15	Водонагреватель типа ВЕТ-400 (резервная СО)	11	2
	12	Электрический котёл №1 (одна ступень мощности)	18	3
СРШ 5	14	Электрический котёл №2 (одна ступень мощности)	11	3
	4	Вентилятор вытяжной №2	11	1
	9	Сетевой насос №2	11	2

2.5 Расчёт силовых электрических нагрузок котельной

Расчетные нагрузки котельной определяется методом упорядоченных диаграмм [14-16].

Активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену [14-16]:

$$P_{см} = P_{ном} \cdot k_u, кВт. \quad (17)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi, квар. \quad (18)$$

Определяется групповой коэффициент использования [14-16]:

$$k_u = \frac{P_{см}}{P_{ном}}. \quad (19)$$

Определяется эффективное количество электроприемников [14-16]

$$n_э = \frac{(\sum P_{ном})^2}{P_{ном}^2}. \quad (20)$$

Далее определяется коэффициент расчетной нагрузки K_p по [16].

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников [16]

$$P_p = P_{см} \cdot k_p, \text{ кВт}. \quad (21)$$

Средневзвешенный коэффициент активной нагрузки $\cos\varphi_{ср.взв}$ [16]:

$$\cos\varphi_{ср.взв} = \frac{\sum P_{ном} \cdot \cos\varphi}{\sum P_{ном}}. \quad (22)$$

Расчетная реактивная нагрузка определяется по формуле [16]:

$$Q_p = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi_{ср.взв} \cdot k_{pp}, \text{ квар}, \quad (23)$$

где K_{pp} – коэффициент расчетной реактивной нагрузки.

Определяется полная расчётная нагрузка [16]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}. \quad (24)$$

Расчетный ток группы электроприемников [16]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A. \quad (25)$$

Тогда пиковый ток [16]:

$$I_{пик} = I_{н.п.} + (I_{дл.} - k_u \cdot I_n), A. \quad (26)$$

где $I_{н.п.}$ – наибольший пусковой ток данного электроприемника;

k_u – коэффициент использования наиболее мощного электроприемника;

I_n – номинальный ток данного электроприемника.

В работе рассматривается расчет силовых электрических нагрузок на примере СРШ-1 по выражениям (17 –26).

Активная и реактивная нагрузки по (17) и (18):

$$P_{см} = 10 \cdot 2 \cdot 0,14 = 2,8 \text{ кВт.}$$

$$Q_{см} = 2,8 \cdot 1,73 = 4,85 \text{ квар.}$$

Групповой коэффициент использования по (19)

$$k_u = \frac{31,24}{122} = 0,26.$$

Определяется эффективное количество электроприемников по (20)

$$n_э = 7,33 \text{ шт.}$$

Далее определяется коэффициент расчетной нагрузки $K_p = 1,23$ согласно [16].

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников по (21)

$$P_p = 31,24 \cdot 1,23 = 38,43 \text{ кВт.}$$

Средневзвешенный коэффициент активной нагрузки по (22)

$$\cos \varphi_{\text{ср.взв}} = 0,5 \rightarrow \text{tg} \varphi_{\text{ср.взв}} = 1,75.$$

Расчетная реактивная нагрузка определяется по (23)

$$Q_p = 1,1 \cdot 31,24 \cdot 1,75 = 60,31 \text{ квар.}$$

Определяется полная расчётная нагрузка по (24)

$$S_p = \sqrt{38,43^2 + 60,31^2} = 71,51 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток группы электроприемников по (25)

$$I_p = \frac{71,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 108,65 \text{ А.}$$

Тогда пиковый ток по (26)

$$I_{\text{пик}} = 286,5 + (108,65 - 0,2 \cdot 95,5) = 376,05 \text{ А.}$$

Результаты расчета силовых электрических нагрузок для СРШ-1 приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Расчет нагрузок для СРШ-1

№ ЭП	Электроприемник.	$P_{\text{дов.}}$	Кол-во, шт.	k_u	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$
2	Насос подачи воды №1	11	2	0,14	0,8	0,75	2,80	4,85
16	Вентилятор вытяжной №3	3	1	0,14	0,75	0,88	0,42	0,73
17	Сушильная печь	22	3	0,2	0,8	0,75	13,20	30,24
18	Вентилятор производственный	11	2	0,65	0,8	0,75	13,00	9,75
Итого		113	8	-	-	-	31,24	48,72
Групповой к-т использования		K_u					0,26	
Эффективное кол-во ЭП		n_e	шт				7,33	
Коэффициент расчетной мощности		K_p					1,23	
Расч. активная нагрузка группы ЭП		P_p	кВт				38,43	
Средневзвешенный		$\cos\varphi$	о.е				0,50	
Средневзвешенный		$\text{tg}\varphi$	о.е				1,75	
Расчетная реактивная нагрузка		Q_p	квар.				60,31	
Полная максимальная нагрузка		S_p	кВА.				71,51	
Расч. максимальный ток группы ЭП		I_p	А				108,65	

Аналогично проводится расчёт нагрузок для остальных СРШ, а также на вводе в котельную (последняя строка таблицы 8), и результаты расчётов приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Расчет силовых нагрузок котельной

П Электроприёмник	Кол-во, шт	Установ- ленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_{Σ}	K_p	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном.}$	$P_{ном. общ}$				$P_{см.},$ кВт	$Q_{см.},$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А	$I_n,$ А
СРШ1															
Насос подачи воды №1	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
Вентилятор вытяжной №3	1	3	3	0,14	0,5	1,73	0,42	0,73							
Сушильная печь	3	22	66	0,2	0,4	2,29	13,20	30,24							
Вентилятор производств.	2	11	22	0,65	0,8	0,75	13,00	9,75							
Итого по СРШ1	8		113	0,26	0,50	1,75	31,24	48,72	7,33	1,23	38,43	60,31	71,51	108,7	376,1
СРШ2															
Насос подачи воды №2	1	11	11	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42							
Производственный калорифер	2	8	16	0,8	1	0	12,8	0							
Компрессор производственный	3	11	33	0,14	0,5	1,73	3,61	6,26							
Воздухоосушитель	1	2,2	2,2	0,14	0,5	1,73	0,31	0,53							
Питательный насос	1	5,5	5,5	0,1	0,5	1,73	0,35	0,61							
Итого по СРШ2	8		67,7	0,32	0,64	1,20	18,47	9,82	7,08	1,28	23,64	24,45	34,01	51,7	192,7
СРШ3															
Вентилятор вытяжной	2	5,5	11	0,14	0,5	1,73	1,54	2,67							
Насос химочистки и водоподготовки	4	5,5	22	0,14	0,5	1,73	3,08	5,33							
Фекальный насос	2	7,5	15	0,14	0,5	1,73	2,10	3,64							
Итого по СРШ3	8		48	0,14	0,50	1,73	6,72	11,64	7,84	1,78	11,96	12,80	17,52	26,6	135,5

Продолжение таблицы 8

Электроприёмник	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_s	K_p	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном.}$	$P_{ном. общ}$				$P_{см.},$ кВт	$Q_{см.},$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А	$I_n,$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
СРШ4															
Сетевой насос №1	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
Водонагреватель типа ВЕТ-400 (резервная СО)	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
Электрический котёл №1 (одна ступень мощности)	3	18	54	0,8	1	0,00	43,20	0,00							
Итого по СРШ4	7		98	0,52	0,79	0,78	48,80	9,70	6,44	1,13	55,14	42,05	69,35	105,4	246,5
СРШ5															
Электрический котёл №2 (одна ступень мощности)	3	18	54	0,8	1	0,00	43,20	0,00							
Вентилятор вытяжной №2	1	11	11	0,14	0,5	1,73	1,40	2,42							
Сетевой насос №2	2	11	22	0,8	1	0,00	12,80	0,00							
Итого по СРШ5	6		66	0,33	0,65	1,18	18,23	9,41	5,95	1,28	23,34	23,70	33,26	50,53	191,7
Всего по котельной											152,51	163,31	223,45	339,6	831,9

2.6 Выбор аппаратов защиты питающей силовой сети котельной

Выбор силовых распределительных шкафов осуществляется по [15]:

$$I_p \leq I_{ном}, А, \quad (27)$$

где $I_{расч}$ – расчетный ток группы электроприемников, А;
 $I_{ном}$ – номинальный ток шкафа распределительного, А.

$$n_{эн} \leq n_{шт}, шт, \quad (28)$$

где $n_{эн}$ – количество электроприемников группы, шт;
 $n_{шт}$ – количество присоединений в шкафу, шт.

$$I_{сз1} \approx I_{сз2}, А, \quad (29)$$

где $I_{сз1}$ – ток срабатывания защиты электрооборудования;
 $I_{сз2}$ – ток срабатывания защиты, установленной в шкафу.

Результаты выбора СРШ [33] приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Результаты выбора силовых распределительных шкафов

№ СРШ	Расчетный ток СРШ, А	Марка шкафа	Номинальный ток шкафа, А	Номинальный максимальный ток / количество выключателей
СРШ1	108,65	ПР85-Ин1-3-213-3У3	360	До 160/10
СРШ2	51,57	ПР85-Ин1-3-104-3У3	225	До 100/8
СРШ3	26,62	ПР85-Ин1-3-104-3У3	225	До 100/8
СРШ4	105,36	ПР85-Ин1-3-213-3У3	360	До 160/10
СРШ5	50,53	ПР85-Ин1-3-001-3У3	225	До 100/8

Для защиты линий, питающих СРШ, выбираются автоматические выключатели серии ВА.

При этом выбор автоматов для защиты СРШ производится аналогично выбранным автоматам, защищающим электроприёмники [15,16].

Результаты выбора автоматических выключателей защиты питающей силовой сети котельной сведены в таблицу 10.

Таблица 10 - Выбор автоматов питающей силовой сети

№ СРШ	I_n , А	I_n , А	Тип автомата	$I_{на}$, А	$I_{нр}$, А	$K_{т.о}$
СРШ1	108,65	376,05	ВА57-35	250	125	12
СРШ2	51,57	192,76	ВА57-35	250	80	12
СРШ3	26,62	135,54	ВА57-35	250	80	12
СРШ4	105,36	246,55	ВА57-35	250	125	12
СРШ5	50,53	191,73	ВА57-35	250	80	12

2.7 Выбор сечения кабелей питающей силовой сети котельной

Выбор сечения кабелей питающей силовой сети котельной аналогичен выбору проводников к отдельным электроприемникам.

Сечение кабелей питающей силовой сети котельной выбираются по допустимому нагреву длительным расчетным током I_p [15,16]:

$$I_{дон} \geq I_p / K_n, A, \quad (30)$$

$$I_{дон} \geq K_3 \cdot I_3 / K_n, A, \quad (31)$$

где I_p – расчетный ток группы электроприемников СРШ, А;

K_n – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки (при нормальных условиях прокладки $K_n=1$);

K_3 – кратность длительно допустимого тока кабеля по отношению к току срабатывания защитного аппарата;

I_3 – номинальный ток защитного аппарата, А.

В качестве примера выбирается сечение и марка кабеля для питания СРШ-1, при этом расчетный ток СРШ $I_p = 108,65$ А. Необходимо учесть, что данная сеть защищена автоматическим выключателем ВА 57-35 с $I_{np}=125$ А.

Предварительно выбирается небронированный кабель АВВГ 5х35, с $I_{доп} = 130$ А [15,16].

Условие (30) выполняется

$$130 > 108,65 / 1 = 108,65, А.$$

Условие (31) выполняется

$$130 > 1 \cdot 125 / 1 = 125, А.$$

Окончательно выбирается небронированный кабель АВВГ 5х35 с $I_{доп} = 130$ А [15,16].

Выбор сечения остальных кабелей питающей силовой сети котельной проведён аналогично и результаты сведены в таблицу 11.

Таблица 11 - Выбор сечения кабелей питающей силовой сети котельной

Наименование СРШ	I_p , А	K_n	K_3	I_p / K_n , А	I_3 , А	$(K_3 \cdot I_3) / K_n$, А	Марка кабеля	$I_{доп}$, А
СРШ1	108,65	1	1	108,65	125	125	АВВГ 5х35	130
СРШ2	51,57	1	1	51,57	80	80	АВВГ 5х25	105
СРШ3	26,62	1	1	26,62	80	80	АВВГ 5х25	105
СРШ4	105,36	1	1	105,36	125	125	АВВГ 5х35	130
СРШ5	50,53	1	1	50,53	80	80	АВВГ 5х25	105

2.8 Расчёт электрического освещения котельной

Расчёт электрического освещения котельной состоит из светотехнического и электротехнического расчётов [17,18].

При этом в работе выбираются и применяются инновационные

светодиодные лампы, которые заменили устаревшие и неэффективные лампы накаливания, использовавшиеся ранее [17,18].

Для освещения производственных помещений котельной принимаются следующие системы освещения [17,18]:

- рабочее освещение;
- дежурное освещение;
- аварийное освещение.

Расчёт проводится на примере первого отделения котельной.

Освещение выполняется с применением светодиодных источников света с использованием светильников со степенью защиты IP44, т.к. среда в помещении присутствует высокая влажность и испарения [17,18].

В связи с этим, выбирается светильник типа Philips 31817 LED 12W 6500K White IP65 потолочного типа монтажа с установкой одной светодиодной лампы (тип цоколя – E27) [17].

Для освещения помещения выбирается равномерное размещение светильников по вершинам прямоугольников как наиболее рациональное [17,18].

Оптимальное расстояние между светильниками определяется следующим образом [17]:

$$\lambda_c \cdot H_p \leq L \leq \lambda_3 \cdot H_p, \quad (32)$$

где H_p – расчётная высота подвеса светильника, м;

λ_c , λ_3 – относительные светотехнические и энергетические выгоднейшие расстояния между светильниками, м.

Расчётная высота подвеса светильника вычисляется [17]

$$H_p = H_o - h_{ce} - h_{pab}, \quad (33)$$

где H_o - высота помещения, м;

$h_{св} = 0,5$ м - высота свеса светильника;

$h_{раб}$ - высота освещаемой рабочей поверхности от пола, м.

По рассчитанному значению L , длине A и ширине B помещения определяют число светильников по длине помещения электрической котельной, шт. [17]:

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L} + 1. \quad (34)$$

Число светильников по ширине помещения, шт [17]:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L} + 1. \quad (35)$$

Общее число светильников, шт [11]:

$$N_{\Sigma} = N_A \cdot N_B. \quad (36)$$

Действительное расстояние между светильниками и рядами [17]

$$L_A = \frac{A}{N_A - a}. \quad (37)$$

$$L_B = \frac{B}{N_B - a}. \quad (38)$$

Проводится расчёт размещения светильников по выражениям (32 – 38) для помещения котельной №1:

расчётная высота подвеса светильника [17,18]

$$H_p = 3 - 0,5 - 1 = 2,5 \text{ м.}$$

оптимальное расстояние между светильниками [17,18]

$$1,5 \cdot 2,5 = 3,75 \leq L = 4 \leq 2 \cdot 2,5 = 5.$$

число светильников по длине помещения, шт, [17,18]:

$$N_A = \frac{24 - 2 \cdot 0,5}{4} + 1 \approx 8.$$

число светильников по ширине помещения, шт, [17,18]:

$$N_B = \frac{12 - 2 \cdot 0,5}{4} + 1 \approx 3.$$

общее число светильников [9,11]

$$N_{\Sigma} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ шт.}$$

действительное расстояние между светильниками [17,18]

$$L_A = \frac{24}{8} = 3 \text{ м.}$$

действительное расстояние между рядами [17,18]

$$L_B = \frac{12}{3} = 4 \text{ м.}$$

Расчёт освещения помещения диспетчерской проводится методом коэффициента использования светового потока [17,18]

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta_u}, \quad (39)$$

где E_n - заданная минимальная освещенность, лк;

K_3 - коэффициент запаса ($K_3=1,15$ для светодиодных ламп);

S - освещаемая площадь, м²;

Z - коэффициент неравномерности, равный 1,1 - 1,2;

N - общее количество светильников, шт.;

η_u - справочный коэффициент использования светового потока, о.е.

Для определения справочного коэффициента использования светового потока в относительных единицах, необходимо найти индекс помещения согласно [17,18]

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p(A + B)}. \quad (40)$$

Далее, пользуясь справочными материалами, выбирается стандартный тип лампы со световым потоком [17,18].

В работе для освещения помещений котельной применяются инновационные светодиодные лампы [17,18].

Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света рассчитывается [17,18]

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{uc} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%. \quad (41)$$

Индекс помещения [17,18]

$$i = \frac{66 \cdot 16}{4,5 \cdot (66 + 16)} = 2,86.$$

Для выбранного типа светильника Philips 31817 LED 12W 6500K White IP65 потолочного типа монтажа, при значении $i=2,86 \approx 3$ по [17,18] определяется справочный коэффициент использования светового потока в относительных единицах, который равен значению $\eta_{\text{и}} = 0,76$.

Световой поток светильника, который определён по выражению (41), равен

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1050 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,76} = 2184,6 \text{ лм.}$$

Выбирается светодиодная LED лампа типа PHILIPS LED Bulb A-150 со стандартным световым потоком $\Phi_{\text{ст}} = 2300$ лм [17].

Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света находится в допустимых пределах (-10÷20%) [17,18]

$$\Delta\Phi = \frac{2300 - 2184,5}{2184,5} \cdot 100 = 5,28\%.$$

Результаты светотехнического расчёта помещений котельной приведены в таблице 12.

При проведении расчёта в таблице 12 указано число светильников по длине и ширине помещений, а также общее число светильников в помещениях.

Таблица 12 - Результаты светотехнического расчёта помещений

Помещение	Тип лампы	Число светильников по длине, шт	Число светильников по ширине, шт	Общее число светильников, шт
ПТО №1	PHILIPS LED Bulb A-200	2	3	6
ПТО №2	PHILIPS LED Bulb A-200	2	3	6
Отделение котельной №1	PHILIPS LED Bulb A-150	8	3	24
Отделение котельной №2	PHILIPS LED Bulb A-150	8	3	24
Диспетчерская	PHILIPS LED Bulb A-200	2	3	6
Бытовое помещение	PHILIPS LED Bulb A-200	2	3	6

Ввод в помещение котельной осуществляется кабельной линией напряжением 380/220 В.

При этом для обеспечения необходимого резервирования производственных помещений принимается установка двух вводных щитов освещения, которые питаются от разных секций шин низкого напряжения двухтрансформаторной ТП-10/0,4 кВ [1].

От каждого вводного щитка освещения получают питания 3 магистральных щитка освещения (на каждое помещение), что значительно повышает надёжность и безопасность схемы [1,17].

В щитах устанавливается защитная и коммутирующая аппаратура (автоматические выключатели).

В качестве вводного щитка освещения используется щит с монтажной панелью, типа УОЩВ [17,18].

В качестве коммутационного аппарата на вводе в щиток освещения установлен трёхфазный автоматический выключатель.

В результате проведённого анализа литературных источников, выбирается следующая прокладка осветительной сети [17]:

- 1) питающая сеть (кабель 220/380 В) – кабель от щитка вводного щитка

освещения до магистральных щитков и далее до тросовой проводки (для питания групп светильников) - прокладывается по стене в кабель-канале размером 25x16 мм.

Кабель-канал крепится к конструкциям дюбель-гвоздями 8x60, под головку шурупа подкладывается шайба для надежной фиксации кабель-канала.

Применения данного способа прокладки обеспечивает удобство монтажа, доступ к проводке, экономию средств и минимальные трудозатраты на монтаж, обслуживание и ремонт;

2) распределительная сеть (изолированный провод 220 В) – трёхжильный кабель – прокладка по тросу (тросовая проводка), что значительно облегчает доступ к светильникам, упрощает их монтаж, обслуживание и ремонт.

Кабель прокладывается по тросу, крепление кабеля осуществляется пластиковыми монтажными хомутами через каждые 0,5 м.

Расчет сечения проводов по допустимой потере напряжения [17]:

$$S = \frac{\sum P_i \cdot l_i}{C \cdot \Delta U_i \cdot \cos \varphi}, \quad (42)$$

где $P_i \cdot l_i$ - электрический момент нагрузки i - го участка сети, кВт·м;

P_i - суммарная мощность нагрузки i - го участка сети, кВт;

l_i - длина i - го участка сети, м;

ΔU_i – нормируемая потеря напряжения на i - м участке сети, % ($\Delta U_i=2,5\%$);

C - коэффициент, значение которого зависит от напряжения сети, материала токоведущей жилы и числа проводов в группе данного участка [17];

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности нагрузки (принимается $\cos \varphi = 0,9$).

Сечения жил выбранных проводников на каждом участке

осветительной сети определяется током нагрузки (допустимым нагревом, а также допустимым значением потери напряжения, которое рассчитано на данном участке по выражению (42).

Для удобства исходные данные и результаты выбора сечения проводников осветительной сети сводятся в таблицу 13.

Таблица 13 - Результаты выбора сечения проводников осветительной сети котельной

№ п/п	Назначение	ΣP_i , кВт	l_i , м	Марка проводника	ΔU_{∂} , %
Вводной ЩО №1					
1	Кабель к вводному ЩО №1	6,0	288	ВВГнг-LS(5x10)	2,3
Помещения технического обеспечения №1					
2	Магистральный кабель	1,2	36	ВВГнг-LS(5x1,5)	1,4
3	Ответвления (линии освещения)	0,4	12	ВВГнг-LS(3x1,5)	0,5
Отделение котельной №1					
4	Магистральный кабель	3,6	180	ВВГнг-LS(5x4)	2,1
5	Ответвления (линии освещения)	1,2	60	ВВГнг-LS(3x1,5)	0,7
Помещения технического обеспечения №2					
6	Магистральный кабель	1,2	36	ВВГнг-LS(5x1,5)	1,4
7	Ответвления (линии освещения)	0,4	12	ВВГнг-LS(3x1,5)	0,5
Вводной ЩО №2					
8	Кабель к вводному ЩО №2	6,0	288	ВВГнг-LS(5x10)	2,3
Диспетчерская					
9	Магистральный кабель	1,2	36	ВВГнг-LS(5x1,5)	1,4
10	Ответвления (линии освещения)	0,4	12	ВВГнг-LS(3x1,5)	0,5
Отделение котельной №2					
11	Магистральный кабель	3,6	180	ВВГнг-LS(5x4)	2,1
12	Ответвления (линии освещения)	1,2	60	ВВГнг-LS(3x1,5)	0,7
Бытовое помещение					
13	Магистральный кабель	1,2	36	ВВГнг-LS(5x1,5)	1,4
14	Ответвления (линии освещения)	0,4	12	ВВГнг-LS(3x1,5)	0,5

Осветительные щиты выбираются в зависимости от количества групп, схемы соединения, аппаратов управления и защиты, а также по условиям среды, в которых они будут работать [17,18].

В качестве магистральных щитков освещения используются щитки типа ОЩВ.

В данном щитке используются автоматические выключатели (автоматы) серии ВА 47-29 (однофазные) [16].

Магистральные щитки освещения (МЩО) получают питание от вводного щитка освещения и размещаются на стенах.

От каждого вводного щита освещения получают питание 3 магистральных щитка освещения для питания линий освещения.

При этом от каждого магистрального щитка освещения питаются 3 отходящих линии (для их защиты установлено 3 автомата серии ВА 47-29) [16].

Далее производится выбор автоматических выключателей, находящихся во вводном щитке освещения (выключатели – трёхфазные) и магистральных щитках освещения (однофазные выключатели).

Ток уставки автоматического выключателя I_a определяется [16]

$$I_a \geq I_p, \quad (43)$$

где I_p – значение расчетного тока нагрузки участка линии, защищаемого данным автоматом, А.

Расчетный ток нагрузки участка линии определяется так [16]:

$$I_p = \frac{K_{одн} \cdot K_{ПРА} \cdot P}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (44)$$

где $K_{одн}$ – коэффициент одновременности (для осветительных сетей принимается $K_{одн}=1$);

P – значение расчетной активной нагрузки освещения участка

линии освещения, кВт;

U_{ϕ} – значение фазного напряжения сети, на котором работает электрическое освещение, В;

$K_{ПРА}$ – коэффициент пуска – регулирующего аппарата (ПРА), зависящей от вида нагрузки.

Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации проектируемой осветительной сети котельной сводятся в таблицу 14.

Таблица 14 - Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации осветительной сети котельной

№ п/п	Назначение	ΣP_i , кВт	I_p , А	Тип автомата	I_a , А
Вводной ЩО №1					
1	Вводной автомат	6,0	9,6	ВА 47-29/10С	10
Помещения технического обеспечения №1					
2	Магистральный автомат	1,2	1,9	ВА 47-29/6,3С	6,3
3	Ответвления (линии освещения)	0,4	2,0	ВА 47-29/6,3С	6,3
Отделение котельной №1					
4	Магистральный автомат	3,6	5,7	ВА 47-29/6,3С	6,3
5	Ответвления (линии освещения)	1,2	6,1	ВА 47-29/6,3С	6,3
Помещения технического обеспечения №2					
6	Магистральный автомат	1,2	1,9	ВА 47-29/6,3С	6,3
7	Ответвления (линии освещения)	0,4	2,0	ВА 47-29/6,3С	6,3
Вводной ЩО №2					
8	Вводной автомат	6,0	9,6	ВА 47-29/10С	10
Диспетчерская					
9	Магистральный автомат	1,2	1,9	ВА 47-29/6,3С	6,3
10	Ответвления (линии освещения)	0,4	2,0	ВА 47-29/6,3С	6,3
Отделение котельной №2					
11	Магистральный автомат	3,6	5,7	ВА 47-29/6,3С	6,3
12	Ответвления (линии освещения)	1,2	6,1	ВА 47-29/6,3С	6,3
Бытовые помещения					
13	Магистральный автомат	1,2	1,9	ВА 47-29/6,3С	6,3
14	Ответвления (линии освещения)	0,4	2,0	ВА 47-29/6,3С	6,3

2.9 Разработка автоматизированной системы управления электрообогревом

Проводится разработка автоматизированной системы управления электрообогревом ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска.

Ранее в работе были выбраны два электрических котла марки E-Tech P 57 (ACV), особенностью которых является то, что они имеют три независимые ступени регулирования мощности (три ТЭНа по 18 кВт каждый), что значительно повышает надёжность электроснабжения (при исчезновении питания на одной ступени регулирования две другие остаются в работе).

По мере производственной необходимости одновременно предусмотрена работа одного или двух электродвигателей с необходимыми степенями регулирования мощности, которые включаются по мере необходимости от датчика температуры, установленного в системе отопления.

При снижении температуры система автоматического управления (далее – САУ) включает очередную ступень мощности электрического котла, если температура не достигает установленного значения, включается следующая ступень мощности и так далее, до достижения требуемого значения установленной температуры.

К САУ электрообогревом школы предъявляются основные требования [19,20]:

- простота;
- возможность автоматического изменения параметров системы в зависимости от изменяющихся внешних факторов и условий;
- не должна предъявлять особых требований к конструкции;
- должна обеспечивать надёжную и устойчивую работу всех элементов системы.

Для разработки структурной схемы системы автоматического управления (САУ) и контроля электрообогрева котельной школы необходимо предусмотреть [19,20]:

- начальный запуск САУ;
- выбор необходимого типа и режима работы САУ;
- прием данных с датчиков и обработка этих данных в соответствии с алгоритмом;
- визуальный вывод на монитор текущих параметров;
- непосредственное формирование управляющих сигналов для запуска исполнительных устройств разрабатываемой САУ (электрические котлы №1 и №2).

Учитывая приведённые выше аспекты, разработана структурной схемы автоматического управления электрообогревом школы, включающая такие модули [19,20]:

- 1) датчик температуры;
- 2) схема согласования и управления;
- 3) устройство управления;
- 4) схемы согласования уровней напряжения;
- 5) ключевые элементы;
- 6) пульт управления и индикации, включающий: индикаторы температуры, ручное управление, управление режимами;
- 7) исполнительные элементы системы – электрические котлы №1 и №2.

Кроме того, включение исполнительных элементов автоматического управления электрообогревом школы (электродотлы) осуществляется избирательно (в зависимости от необходимости) и контролируется датчиком температуры, что также является значительной экономией затрат на оплату электроэнергии и уменьшения затрат на ремонт и обслуживание оборудования.

Структурная схема разрабатываемой САУ автоматического управления электрообогревом школы с описанными элементами представлена на графическом листе 5.

Далее проводится выбор элементов схемы автоматического управления электрообогревом школы.

В качестве целевой серии для построения САУ электрообогревом школы выбирается устройства компании Siemens, а именно универсальные логические модули LOGO.

Для построения САУ необходимы следующие модули [19,20]:

- блок питания LOGO! Power;
- программируемое реле Siemens LOGO! 24RC;
- модуль расширения LOGO! DM16 24R;
- модуль интерфейса связи LOGO! CM LON;
- преобразователь интерфейса LON / RS-232;
- прочая коммутационная и защитная электроаппаратура.

В качестве датчика температуры выбирается датчик DS1621 фирмы Dallas [21], обеспечивающий широкий диапазон измерений, высокую надежность и низкую стоимость.

В схеме управления для использования выбираются индикаторы BA56-12 фирмы KingBrigth [14] и LDD3051 фирмы LIGI [21].

В качестве ключевых элементов выбирается симистор, который предназначен для коммутации нагрузки на переменном токе.

При этом для «развязки» по напряжению используется специальная сборка - симисторный оптодрайвер типа MOC3041 [21], который, помимо всего прочего, также убирает помехи по питанию при включении и выключении симистора.

В качестве симистора взят симистор типа BT 139 [21].

Для обеспечения питанием программируемого реле и модулей используется блок питания LOGO! Power [21].

Для обеспечения связи с компьютером АРМ диспетчера используется модуль интерфейса связи LOGO! CM LON [21].

Для подключения к сети с интерфейсом LON персонального компьютера АРМ диспетчера используется преобразователь интерфейса LON/RS-232 [21].

Далее проводится разработка и описание принципиальной схемы автоматического управления электрообогревом школы.

Используя выбранные компоненты, разрабатывается принципиальная электрическая схема управления электрообогревом школы.

Для каждой их групп исполнительных элементов схемы (электрические котлы №1 и №2) предусмотрен отдельный защитный автоматический выключатель, индикатор работы на щите и отдельное силовое реле (пускатель) с контактами, рассчитанными на коммутацию нагрузки, соответствующей подключаемому потребителю [19,21].

Управление обмотками реле групп исполнительных элементов схемы будет производиться программируемым реле Siemens LOGO! 24RC, но, так как данное устройство способно коммутировать только четыре канала (групп), дополнительно к нему используется модуль расширения LOGO! DM16 24R, позволяющий коммутировать дополнительно 16 групп [21].

Этот аспект крайне важен при возможном расширении заданной САУ и позволяет подключать дополнительные элементы, а также способствует резервированию и повышению надёжности элементов САУ.

Работает система следующим образом.

Сигналы управления от датчика температуры поступают на входы основного реле А1.

В соответствии с заданием, активируется программа включения/переключения исполнительных элементов схемы (электродвигателей) [19,21].

Питание схемы входных сигналов осуществляется от блока питания.

Подключение сигналов группового управления показано на рисунке 4.

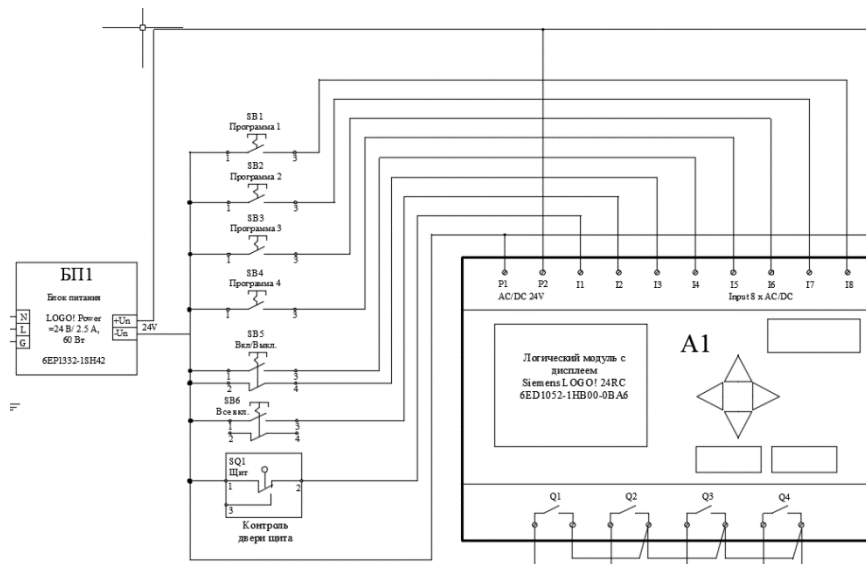


Рисунок 4 – Подключение сигналов группового управления

Реагируя на сигналы от управления, равно как и на сигналы, поступающие по сети от АРМ диспетчера и реализуя соответствующие программы, хранящиеся в памяти, программируемое реле выдает управляющие воздействия для управления реле (пускателями) групп исполнительных элементов схемы (электрических котлов) [19,21].

Подключение сигналов управления реле коммутации групп исполнительных элементов схемы показано на рисунке 5.

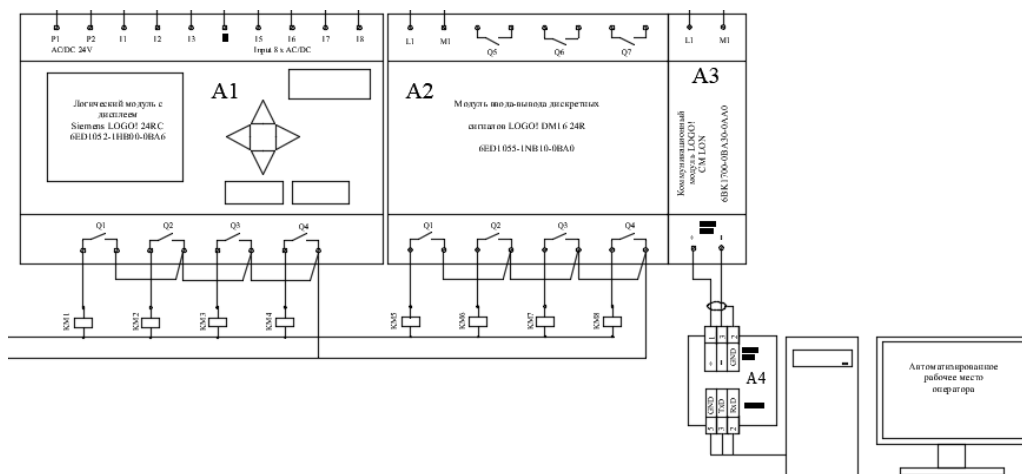


Рисунок 5 – Подключение сигналов управления реле коммутации групп исполнительных элементов схемы

Через выходные клеммы «Qn» реле и модуля расширения осуществляется коммутация обмоток силовых реле (контакторов) КМ, которые, в свою очередь, управляют группами исполнительных элементов схемы (электрокотлов).

Использование в качестве управляющего устройства программного реле позволяет реализовать коммутационные программы управления группами исполнительных элементов схемы (электрокотлов) практически любой сложности [19-21].

Для изменения программы управления достаточно внести изменения в программу управления (ручной режим), что значительно проще внесения изменений в электрическую схему системы управления (как требовалось в релейных системах) [19-21].

Расширение САУ электрообогревом школы также реализуется подключением дополнительных групп на резервные выходы Q модуля расширения и внесением соответствующих изменений в программу реле.

Таким образом, разработанная схема обладает гибкими возможностями и высокой универсальностью и может служить хорошей основой для построения САУ вентиляции котельной.

При необходимости данная схема может быть легко дополнена в связи с необходимостью подключением новых датчиков и/или оборудования.

Кроме того, данная САУ может быть использована как базовая при разработке аналогичных систем автоматического управления.

Принципиальная схема разработанной САУ электрообогревом школы представлена в графической части работы на листе № 6.

Выводы по второму разделу.

В результате выполнения второго раздела работы, осуществлена непосредственная модернизация электрооборудования и реконструкция схемы электроснабжения котельной ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска с

разработкой автоматизированной системы управления электрообогревом котельной.

Обоснована замена устаревших твердотопливных котлов на современные электрические котлы, которые обладают рядом значительных преимуществ с последующей разработкой автоматизированной системы управления электрообогревом.

Исходя из полученных результатов, выбраны для установки на котельной два электрических котла марки E-Tech P 57 (ACV), которые зарекомендовали себя на современном рынке благодаря значительным преимуществам и надёжности.

Произведён выбор схемы электрической сети котельной, а также расчёт силовых электрических нагрузок котельной, на основе которых осуществлён выбор новых аппаратов защиты (автоматы марки ВА) и проводников (кабелей марки ВВГнг-LS) силовой сети котельной, а также выполнен расчёт электрического освещения котельной с применением светодиодных ламп фирмы PHILIPS.

3 Разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности

3.1 Разработка мероприятий по охране труда при выполнении работ в котельной

В соответствии с [22-24] общее руководство и ответственность за организацию и проведение работы по охране труда возложены на руководителя хозяйства, а в подразделениях – непосредственно на руководителей этих подразделений.

К организационным мероприятиям по безопасности труда относятся [22-24] мероприятия, которые предполагают наличие медицинских и технических осмотров, повышения квалификации, предупреждение несчастных случаев, контроль за выполнением гарантий.

Организация несёт ответственность за расследование несчастных случаев, выявление причин профессиональных заболеваний. В организациях с численностью более 10 работников работодателями создаются комитеты (комиссии) по охране труда. В их состав на паритетной основе входят представители работодателей, профессиональных профсоюзов или иного уполномоченного работниками представительного органа [22-24].

Организация и координация деятельности, разработка отраслевых нормативно-правовых актов по улучшению условий и охране труда, осуществления контроля за их выполнением в каждой организации, с численностью более 50 работников создаётся служба охраны труда или вводится должность специалиста по охране труда, имеющего соответствующую подготовку или опыт работы в этой отрасли.

В организации численностью менее 50 работников решение о создании службы охраны труда или введении должности специалиста по охране труда принимается работодателем с учётом специфики деятельности организации, или возлагаются обязанности на главных специалистов приказом руководителя. При отсутствии в организации службы охраны труда

(специалиста по охране труда) работодатель заключает договор со специалистами или с организациями, оказывающими услуги в области охраны труда [22-24]. На работах с вредными или опасными условиями труда работникам выдаются сертифицированные средства индивидуальной защиты, смывающие средства в соответствии с нормами, утверждёнными в порядке, определённом Правительством Российской Федерации.

Приобретение, хранение, стирка, чистка, ремонт средств индивидуальной защиты работников осуществляется за счёт средств работодателя [22-24].

Все работники организации, в том числе и руководитель обязаны проходить обучение по охране труда и проверку знаний. Для всех поступающих на работу лиц, работодатель обязан проводить инструктаж по охране труда, организовать обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказания первой помощи пострадавшим.

Финансирование мероприятий по улучшению условий и охране труда в размере не менее 2% суммы затрат на производство продукции. Работник не несёт расходов на финансирование мероприятий по улучшению условий и охране труда.

Оператор котельной (кочегар) в процессе работы [22-24]:

- не имеет права использовать оборудование, которое не предусмотрено типовыми перечнями;
- несёт полную и непосредственную ответственность за обеспечение безопасного проведения рабочего процесса и за сохранение жизни и здоровья людей при выполнении своих обязанностей;
- обязан сообщать вышестоящему руководству предприятия о каждом несчастном случае;
- обязан организовывать оказания первой медицинской (доврачебной) помощи пострадавшему, а в случае необходимости - оказание специализированной медицинской помощи;

- обязан помогать организовать эвакуацию людей из помещения в случае пожара, стихийного бедствия и других аварийных ситуаций.

Оператор котельной (кочегар) один раз в три года проходит обязательное обучение по охране труда и безопасности жизнедеятельности [22-24]. При оформлении на работу оператор котельной (кочегар) проходит первичный медицинский профилактический, а в дальнейшем 1 раз в год повторные медицинские профилактические осмотры, с отметкой в санитарной книжке и (при необходимости) в удостоверении по электробезопасности о допуске к работе [22-24].

После подписания приказа о зачислении на работу оператор котельной (кочегар) обязан получить вступительный (в службе охраны труда) и первичный инструктажи (на рабочем месте) и в дальнейшем 1 раз в три месяца проходить обучение в виде повторных инструктажей.

Оператор котельной (кочегар) котельной один раз в год подтверждает подлинность удостоверения на работу в котельной.

Оператор котельной (кочегар) [22-24]:

- использует помещение котельной, где работает по назначению и не допускает к нему посторонних;

- изучает инструкции по охране труда, противопожарной безопасности и паспорт котла, а также постоянно совершенствует свои знания;

- обеспечивает соблюдение требований безопасности и гигиены в помещении котельной.

Оператор котельной (кочегар) до начала работы должен [22-24]:

а) проверять исправность оборудования, манометров давления воды в котле, работоспособность вентиляции и системы электрического питания, убедиться в наличии топлива и просмотреть журнал дежурства на случай записей об устранении неисправностей. В случае обнаружения повреждений, которые несут опасность – не начинать работу до устранения выявленных недостатков;

б) убедиться в наличии средств оказания первой медицинской (доврачебной) помощи – аптечки и противопожарного инвентаря;

в) четко определить порядок и безопасные правила проведения работы согласно утверждённых инструкций и положений нормативных документов;

г) не приступать к работе при условии, что:

- не обеспечено свободный выход из помещения котельной в коридор или наружу;

- проходы к двери между рядами оборудования захлаплены и составляют менее 0,8 м;

- электропроводка в помещении не стационарная, а также не выполнена в соответствии с требованиями техники безопасности и промышленной санитарии;

- при использовании электрических удлинителей;

д) обо всех неисправностях, возникших в процессе работы, делать запись в журнал дежурства. При передаче смены обратить на это внимание оператора котельной (кочегара), принимающий смену.

е) при обнаружении неисправностей, которые могут привести к аварийным ситуациям или травмам – немедленно прекратить работу, выключить котлы, и сообщить об этом вышестоящее руководство предприятия.

Оператор котельной (кочегар) обеспечивает [22-24]:

- отключение электроприборов;

- проветривание помещения котельной;

- закрытие помещения котельной.

При обнаружении признаков горения необходимо немедленно сообщить об этом администрации учреждения и вызвать пожарную охрану по телефону - 101. В случае обнаружении угарного газа немедленно включить вентиляцию и вызвать спасательную службу. Во всех нестандартных ситуациях докладывать об этом вышестоящему руководству предприятия [22-24].

По прибытии аварийных служб, обеспечить свободный доступ на территорию котельной. При возможности оператор котельной (кочегар) участвует в помощи по устранению аварийных ситуаций, предоставляет консультации о конструктивных и технологических особенностях объекта, организует привлечение к принятию необходимых мер, связанных с ликвидацией аварии и предупреждением ее развития [22-24].

3.2 Мероприятия по электробезопасности на котельной

Согласно требованиям [22-24], перед началом любого вида работ на электрооборудовании, электроустановках и в электрических сетях котельной, необходимо провести организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

К организационным мероприятиям относятся [22-24]:

- выдача нарядов и распоряжений для проведения работ в электроустановках;
- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- непосредственное проведение инструктажей (вводного, на рабочем месте, плановых, внеплановых);
- допуск рабочей бригады к работе;
- надзор во время выполнения работ бригадой;
- оформление перерывов в работе;
- перевод на другое рабочее место (при необходимости);
- окончание работ в электроустановках.

К техническим мероприятиям относятся [15-19]:

- производство необходимых коммутационных переключений;
- принятие мер, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных аппаратов путём применения их блокировок, а также

расшиновке цепи, отсоединения кабельных и воздушных вводов, снятием отдельных коммутационных аппаратов и (или) их приводов (ключей) и т.д.;

- вывесить запрещающие плакаты на приводах коммутационных аппаратов и ключах управления;

- убедиться в отсутствии напряжения на токоведущих частях путём использования технических средств (указателей напряжения и т.д.);

- наложить переносное заземление там, где это необходимо (на токоведущих частях электроустановок). В случае, если на электрооборудовании установлены заземляющие ножи, необходимо их включить. В этом случае переносное заземление разрешается не устанавливать;

- оградить рабочее место, а также токоведущие части, оставшиеся под напряжением;

- вывесить плакаты по технике безопасности (предписывающие и предупреждающие).

Необходимо помнить, что в электроустановках всех типов и классов напряжения, согласно требований [22-24], должен быть обеспечен видимый разрыв. Не исключением являются электрические сети и электрооборудование котельной.

В электроустановках до 1 кВ упомянутый видимый разрыв обеспечивают рубильники (при их отключении) и предохранители (при их снятии), а в сетях выше 1 кВ – разъединители (при их отключении) и предохранители (при их снятии).

Кроме всего прочего, при выполнении работ в электроустановках необходимо пользоваться специальными защитными средствами:

- специальной одеждой и обувью (выдаётся работодателем);

- специальными техническими инструментами и приспособлениями (обязательно должны быть поверены);

- специальными устройствами и приспособлениями индивидуальной защиты (диэлектрические коврики, подставки, перчатки, каски и др.).

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [22-24]. При этом всем прошедшим обучение присваивается соответствующая группа допуска по электробезопасности. Всего существует пять групп по электробезопасности. Каждая последующая группа включает в себя знание предыдущей, а также новые знания и навыки, присущие данной группе. При назначении ответственных за безопасное проведение работ обязательно должна учитываться группа по электробезопасности (не ниже установленной). Также при работе в электроустановках необходимыми являются навыки оказания первой медицинской помощи до приезда врача. Каждый член бригады должен владеть навыками выполнения искусственного дыхания, непрямого массажа сердца, освобождения пострадавшего от электрического напряжения и т.д.

Все данные аспекты являются строго обязательными к выполнению при работе в электроустановках и электрических сетях котельной.

3.3 Мероприятия по пожарной безопасности на котельной

Перед началом отопительного сезона котельная должна быть тщательно проверена и отремонтирована, а обслуживающий персонал должен пройти специальное обучение и противопожарный инструктаж [22].

Неисправное оборудование котельной к эксплуатации не допускаются.

В помещении котельной запрещается [22-24]:

- выполнять работы, не связанные с эксплуатацией котельных установок;
- допускать к работе в котельной посторонних лиц, а также лиц, не прошедших специальной подготовки или находящихся в нетрезвом состоянии;
- допускать протекание системы отопления (водяной рубашки) или утечки газа в местах соединения трубопроводов и форсунок;

- подавать топливо при потухших форсунках или газовых горелках;
- работать с неисправными приборами контроля и автоматики;
- разжигать котельные установки без предварительной их продувки воздухом;

- сушить любые материалы, которые могут гореть, на котлах и трубопроводах;

- закрывать горючими материалами жалюзи воздушного отопления;

- оставлять без присмотра котлы, находящиеся в работе;

- хранить легковоспламеняющиеся и горючие жидкости и материалы.

Котлы центрального отопления должны размещаться в обособленных негорючих помещениях, имеющих отдельный выход.

Использование вентиляционных каналов для совместного отвода продуктов сгорания от печей и газовых приборов не допускается.

Помещения, здания и сооружения котельной необходимо обеспечивать первичными средствами пожаротушения. Первичные средства пожаротушения должны содержаться в соответствии с паспортными данными на них и с учетом положений. Не допускается использование средств пожаротушения, не имеющих соответствующих сертификатов. При определении видов и количества первичных средств пожаротушения следует учитывать физико-химические и пожароопасные свойства горючих веществ, их отношение к огнетушащим веществам, а также площадь производственных помещений, открытых площадок и установок [22-24].

Комплектование технологического оборудования огнетушителями осуществляется согласно требованиям технических условий (паспортов) на это оборудование или соответствующим правилам пожарной безопасности. Комплектование импортного оборудования огнетушителями производится согласно условиям договора на его поставку [22].

Выбор типа и расчет необходимого количества огнетушителей в защищаемом помещении или на объекте следует производить в зависимости от их огнетушащей способности, предельной площади, а также класса

пожара горючих веществ и материалов. Каждый огнетушитель, установленный на объекте, должен иметь порядковый номер, нанесённый на корпус белой краской. На него заводят паспорт по установленной форме.

Асбестовое полотно, войлок рекомендуется хранить в металлических футлярах с крышками, периодически (не реже 1 раза в три месяца) просушивать и очищать от пыли [22].

Помещение котельной должно быть оборудовано внутренним противопожарным водопроводом не менее чем с двумя пожарными кранами с расходом воды 2,5 л/с. Каждый пожарный кран снабжен пожарным рукавом одинакового с ним диаметра длиной 10,15 или 20 м и пожарным стволом.

При эксплуатации электроустановок нужно следить за состоянием изоляции, нельзя допускать провисания проводов. Нужно следить за состоянием контактов аппаратуры, не допускать нагара и оплавлений на них, что приводит к увеличению переходного сопротивления контактов, и, как результат, к оплавлению изоляции и пожару [22-24]. При плохом соединении контакты могут перегреваться, что может повлечь за собой возгорание. Следует также следить за тем, чтобы контакты не искрили. Запрещается применение вставок предохранителей на неизвестный, или завышенный ток.

При прокладке проводов, способ их прокладки должен удовлетворять условиям окружающей среды, безопасности людей и животных, надежности, удобство в эксплуатации, а также обеспечивать защиту от механических повреждений. Котельные установки являются участком повышенной пожарной опасности, поэтому при их обслуживании, ремонте и эксплуатации должны строго соблюдаться действующие правила, нормы и инструкции по обеспечению пожарной безопасности.

На оборудовании котлов вывешиваются плакаты с основными требованиями и правилами технической и пожарной безопасности. Производственные помещения котельной обеспечиваются углекислотными огнетушителями, песком, лопатами, баграми, пожарными кранами со

шлангами. Ответственным за пожарную безопасность котельной является ее начальник, или лицо, его замещающее [22-24].

В случае возникновения возгорания в помещении котельной следует принять меры для его немедленной ликвидации. В случае возникновения пожара необходимо:

- немедленно сообщить об этом в пожарную охрану (тел. 101), при этом следует четко назвать адрес котельной, указать количество этажей здания, место возникновения пожара, наличие людей в здании, а также свою должность и фамилию;

- известить о пожаре руководителя или работника, его замещающего;

- начать эвакуацию людей с помещения котельной;

- выключить электросеть;

- приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения.

Существенным для уменьшения загрязнения атмосферы является создание безотходных технологий, которые уменьшают использование ископаемых (включая и топливо), следовательно, и их выбросы в атмосферу.

Во всех отраслях производства необходимо улучшать использование природных ресурсов [22].

Выводы по третьему разделу

В результате выполнения третьего раздела осуществлена разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности, включающая разработку мероприятий по безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в котельной, а также мероприятия по пожарной безопасности на котельной.

Заключение

В результате выполнения работы осуществлена модернизация электрооборудования и реконструкция схемы электроснабжения котельной с разработкой автоматизированной системы управления электрообогревом средней образовательной школы №10 города Жигулевска при соблюдении заданных требований к надежности, экономичности и безопасности электроснабжения, а также качеству электроэнергии согласно основным требованиям [1-3]. В соответствии с поставленной целью в работе выполнены задачи исследования:

- приведена краткая характеристика ГБОУ «СОШ 10» города Жигулевска, а также характеристика помещений и оборудования котельной;
- осуществлён выбор технологического оборудования котельной, аппаратуры защиты и управления, сечений проводников технологического оборудования;
- произведён выбор схемы электрической сети котельной;
- произведён расчёт силовых электрических нагрузок котельной;
- осуществлён выбор аппаратов защиты и сечения кабелей питающей силовой сети котельной;
- выполнен расчёт электрического освещения котельной;
- проведена разработка автоматизированной системы управления электрообогревом;
- описаны мероприятия по обеспечению охраны труда, электробезопасности и пожарной безопасности при выполнении работ на оборудовании котельной.

В результате выполнения работы разработан комплекс мероприятий и технических решений, позволяющий осуществить реконструкцию системы электроснабжения и провести модернизацию оборудования котельной при неукоснительном соблюдении современных требований надёжности, экономичности и безопасности.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. М.: Альвис, 2018. 624 с.
2. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // РД РАО «ЕЭС России». М.: Министерство энергетики, 2013.
4. Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение Самарской области средняя общеобразовательная школа № 10. Режим доступа: <http://school10.cuso-edu.ru/>. Дата обращения 29.02.2020.
5. ГБОУ СОШ №10, Жигулевск. Режим доступа: <https://sevem.pro/company/gbou-sosh-10-73nl>. Дата обращения 03.03.2020.
6. Сидельковский Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий. Учебник для вузов/ Л.Н. Сидельковский, В.Н. Юренев – М.: БАСТЕТ, 2009. 380 с.
7. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация. / Б.А.Соколов, – М.: Энергия, 2009. 380 с.
8. Электрические котлы E-Tech P 57 (ACV). Режим доступа: <https://www.aquapoint.ru/kotly-otopleniya/elektricheskie-kotly/acv-e-tech-p/57/>. Дата обращения 03.03.2020.
9. Схиртладзе А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие/А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. - Ст. Оскол: ТНТ, 2013. 524 с.
10. Кабдин Н. Е. Основы электропривода: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Н. Е. Кабдин; Московский гос. агроинженерный ун-т им. В. П. Горячкина. - Москва: МГАУ, 2007. 218 с.

11. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
12. Кудрин Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2018. 352 с.
13. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин.- Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
14. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС.,2018. 312 с.
16. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.
17. Баранов Л.А. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров -М.: Колос, 2018. 343с.
18. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2003. 268 с.
19. Пантелеев В.Н. Основы автоматизации производства: Учебник для учреждений начального профессионального образования / В.Н. Пантелеев, В.М. Прошин. - М.: ИЦ Академия, 2013. 208 с.
20. Кадомская К.П. Электрооборудование систем автоматического управления нового поколения / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
21. Кангин В.В. Промышленные контроллеры в системах автоматизации технологических процессов: Учебное пособие / В.В. Кангин. - Ст. Оскол: ТНТ, 2013. 408 с.
22. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
23. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.
24. Хорольский В. Я. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Дрофа, 2015. 288 с.