



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ	10
1.1 Характеристика предприятия	10
1.2 Характеристика электроснабжение предприятия	11
2 ОБОСНОВАНИЕ ТЕМЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ	12
3 ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	20
3.1 Расчет освещения	20
3.2 Электротехнический расчет	23
3.3 Расчёт силовой сети	29
4 МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕТЕВОГО НАСОСА	32
4.1 Выбор электродвигателя	32
4.2 Расчёт механической характеристики электропривода	34
4.3 Построение механической характеристики рабочей машины	35
4.4 Регулирование производительности сетевого насоса	38
4.5 Выбор пускозащитной аппаратуры и средств автоматики	41
4.6 Выбор проводов и кабелей	44
4.7 Схема управления	45
5 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ	48
5.1 Определение расчетных нагрузок	48
5.2 Выбор мощности трансформатора	51
5.3 Расчет и выбор сечения кабелей	52
5.4 Проверка выбранного сечения по допустимой потере напряжения	53
5.5 Расчет токов короткого замыкания	54
5.6 Выбор защитной аппаратуры	56
6 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	58
6.1 Организация технической эксплуатации электрооборудования	58

6.2	Расчёт числа электромонтеров и объёма работ	58
6.3	Расчет трудоемкости ТО, ТР, ОО электрооборудования на год	60
6.4	Эксплуатация центробежных насосов	62
7	ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ	64
7.1	Расчет индивидуальных средств защиты	64
7.2	Молниезащита объекта	65
7.3	Расчёт заземляющего устройства трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ	66
7.4	Техника безопасности и охрана труда при производстве электромонтажных работ	70
7.5	Действие электротехнического персонала при возникновении чрезвычайных ситуаций	71
8	ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	72
8.1	Определение капитальных вложений	72
8.2	Определение эксплуатационных затрат	73
8.3	Определение экономической эффективности внедрения частотного регулирования	74
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	77

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день актуальным вопросом является энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве. Данную проблему решают применением электроприводов, разработанных для энергосбережения, которые позволяют при сохранении требований осуществления технологического процесса обеспечивать сокращение потребления электроэнергии при стремлении коэффициента полезного действия электропривода к номинальному значению.

Создание энергосберегающих электроприводов с использованием преобразователей частоты является перспективным направлением для сокращения потребления электрической энергии с улучшением энергетических характеристик самого электропривода.

Энергосбережение с каждым годом становится все более актуальной проблемой. Ограниченность энергетических ресурсов, высокая стоимость энергии, негативное влияние на окружающую среду связанные с производством электроэнергии, - все эти факты говорят о том, что разумно снижать потребление энергии, чем постоянно увеличивать её производство.

Целью данной выпускной квалификационной работы является комплексная электрификация котельной с модернизацией, расчетом и выбором водяного (центробежного) насоса. Для выполнения данной цели сформулированы задачи работы:

- произвести расчеты привода центробежного насоса;
- разработать схему управления насосом с применением частотного регулирования;
- произвести выбор соответствующего оборудования;
- произвести технико-экономический расчет модернизации.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## 1.1 Характеристика предприятия

Организация ООО "ЭНЕРГО СЕТЬ ПРОЕКТ", г. Благовещенск, Амурской области. Полное наименование – общество с ограниченной ответственностью "ЭНЕРГО СЕТЬ ПРОЕКТ". Юридический адрес компании – Амурская область, г. Благовещенск, ул. Текстильная, д. 49, офис 516.

ООО "ЭНЕРГО СЕТЬ ПРОЕКТ" ведет деятельность по направлениям:

- торговля розничная прочими бытовыми изделиями в специализированных магазинах;
- операции с недвижимым имуществом за вознаграждение или на договорной основе;
- деятельность транспортная вспомогательная;
- строительство жилых и нежилых зданий;
- работы строительные отделочные;
- производство, передача и распределение электроэнергии;
- производство электромонтажных, санитарно-технических и прочих строительно-монтажных работ;
- производство котельного оборудования, изготовление ремонтных комплектов и прочего оборудования, необходимого для эксплуатации объектов жилищно-коммунального хозяйства;
- эксплуатация и обслуживание тепловых сетей, объединенных котельных и систем водоснабжения;
- ремонт энергетического оборудования
- проектирование производственных помещений, включая размещение машин и оборудования;

-проектирование, связанное со строительством инженерных сооружений, включая гидротехнические сооружения.

Пусконаладочные работы:

- автоматизированных систем управления и информатизации, в т. ч. вычислительных (информационно-вычислительных) центров, локально-вычислительных сетей;

- систем автоматизации технологических процессов и инженерного оборудования;

-оборудования предприятий магистральных трубопроводов.

Деятельность компании относится к электротехническому оборудованию, электромонтажным работам в Благовещенске.

## 1.2 Характеристика электроснабжение предприятия

Источником электроснабжения проектируемого объекта является закрытая трансформаторная подстанция с силовым трансформатором марки ТМ 160/ 10. Защита трансформатора осуществляется предохранителями, на стороне 10 кВ имеются разрядники для защиты от атмосферных перенапряжений. Передача электроэнергии от подстанции к потребителям осуществляется кабельными линиями электропередач. Обслуживание электроустановок осуществляется электромонтерами с группой допуска IV. Возглавляет энергетическую службу хозяйства главный энергетик предприятия.

## 2 ОБОСНОВАНИЕ ТЕМЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности следует рассматривать как один из основных источников будущего экономического роста. Их приоритетные направления изложены в Государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р.

Энергоэффективность - эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов, достижение экономически оправданной эффективности использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды. Энергосбережение (экономия энергии) - реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) ТЭР и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников (ГОСТ Р. 51387-99).

Интерпретируя эти понятия, энергосбережение следует понимать как комплекс мер, действий, которые предпринимаются для обеспечения более эффективного использования энергетических ресурсов. А энергоэффективность - это отношение фактического значения показателя использования энергетических ресурсов к теоретически достижимому. Поэтому следует, что энергоэффективность - это измеряемая величина, позволяющая оценить результат процесса, а энергосбережение - это деятельность по достижению энергоэффективности.

Особо высокая энергоемкость в России характерна жилищно-коммунальному хозяйству. По оценке специалистов Минэнерго РФ, потенциал энергосбережения и повышения энергоэффективности в ЖКХ составляет 25% всего соответствующего потенциала в РФ. Если в ЖКХ эффективно проводить программу повышения энергоэффективности и энергосбережения, то можно получить снижения затрат на услуги от 15% до 40%. В ЖКХ потенциал энергосбережения составляет 95 - 110 млн. тонн условного топлива. Ключевая проблема ЖКХ - повышение надежности и экономичности теплоснабжения, поскольку 20% всех тепловых источников находится в этом секторе экономики, и 20 - 30% (а порой и более) расходной части бюджетов муниципальных образований используется на нужды теплоснабжения.

Поэтому объектом проектирования данной выпускной квалификационной работы выбрана котельная ООО «ЭнергоСетьПроект» г. Благовещенска.

Конечные цели энергоресурсосберегающей политики в жилищно-коммунальном хозяйстве — это снижение издержек производства и себестоимости услуг предприятий жилищно-коммунального хозяйства и, соответственно, смягчение для населения процесса реформирования системы оплаты жилья и коммунальных услуг при переходе отрасли на режим безубыточного функционирования.

Активная реализация энергосберегающих технологий возможна только при наличии комплекса подготовительных мероприятий, который включает в себя законодательно-нормативные документы, механизм экономического стимулирования, методологические и научные разработки, промышленное производство энергоэффективного оборудования.

Достижение целей и решение задач энергосбережения так же предполагает применение совокупности организационных и технических мер. Приведем несколько путей повышения энергосбережения и энергоэффективности для предприятий сферы ЖКХ.

Организационные меры: совершенствование тарифной политики в сфере теплоснабжения, повышение качества теплоснабжения, введение показателей качества тепловой энергии, совершенствование режимов теплоснабжения, условий осуществления контроля, повышение качества нормирования и контроля технологических потерь в тепловых сетях.

Технические меры: применение рекуперативных и регенеративных горелок (позволяют подогревать подаваемый в камеру горения воздух за счет утилизации тепла отводимых газов), автоматизация режимов горения (поддержание оптимального соотношения топливо-воздух). Внедрение процессов когенерации на котельных, замена двигателей в системах водоснабжения и водоотведения на энергоэффективные, внедрение частотно-регулируемого привода или других устройств, обеспечивающих повышение КПД при эксплуатации электродвигателей.

Сетевые (центробежные) насосы перекачивают теплоноситель от сетевых подогревателей до потребителей тепла. В течение отопительного периода тепловая нагрузка изменяется в зависимости от температуры окружающей среды. Для поддержания давления в тепловой сети на нужном уровне применяется регулирование потока теплоносителя. Для регулирования в течение года отпуска теплоносителя в тепловую сеть можно использовать несколько способов.

1. Регулирование потока горячей воды при помощи ручных и электромеханических задвижек. Такое регулирование является наиболее распространенным в настоящее время. При таком регулировании количество отпускаемого в тепловую сеть теплоносителя изменяется путем варьирования угла открытия задвижки.

2. Регулирование потока теплоносителя с применением частотно-регулируемого электропривода. При применении частотно-регулируемого привода (ЧРП) количество отпускаемого в тепловую сеть теплоносителя изменяется путем изменения частоты вращения ротора электродвигателя сетевого (центробежные) насоса.

Применение ЧРП гораздо более выгодно, по сравнению с применением задвижек, т. к. помимо регулирования потока теплоносителя достигается также экономия электроэнергии, подводимой к электродвигателю. Еще одним преимуществом перед большинством задвижек является автоматическое регулирование частоты вращения электродвигателя преобразователем частоты. Насосы работают на сеть с противодействием, причем статический напор в сети составляет, обычно не менее 20 % полного напора.

Применение ЧРП на электродвигателях сетевых насосов сказывается положительно, этому содействуют факторы такие как: возможность плавной регулировки отдачи теплоносителя в тепловую сеть, зависимость мощности электродвигателя от производительности насоса, что, в конечном счете, приводит к экономии электроэнергии, повышению энергоэффективности систем теплоснабжения.

Центробежные насосы являются массовыми и энергоемкими механизмами. На привод этих механизмов расходуется колоссальное количество энергии, составляющее около 20 % всей электроэнергии, вырабатываемой в стране. Мощность промышленных насосов лежит в пределах от единиц до нескольких десятков тысяч киловатт.

Регулирование подачи насосов, как правило, применяют в следующих случаях.

1. При необходимости регулирования количества жидкости, подаваемой насосом, в связи с требованиями технологического процесса или в связи со случайным изменением потребности в жидкости. Например, подачу жидкости циркуляционным насосом системы нужно регулировать в

зависимости от количества теплоты, подлежащей отводу; подача насоса водоснабжения должна изменяться соответственно режиму водопотребления.

2. Если даже не требуется регулирование подачи насоса во время работы, то обеспечение требуемого расхода связано с него первоначальной подрегулировкой. Если насос работает при неизменной частоте вращения, то простейшим и повсеместно применяемым способом регулирования его подачи является дросселирование, т.е. неполное открытие задвижки на напорном трубопроводе насоса. Это способствует увеличению вредного сопротивления сети.

Этот способ регулирования подачи весьма прост, однако он крайне невыгоден с энергетической точки зрения, поскольку ведет к снижению КПД агрегата. Это происходит по двум причинам: из-за дополнительной потери мощности в задвижке; вследствие ухудшения КПД самого насосного агрегата. Насосные агрегаты обычно объединяются в насосные станции, при этом несколько насосов работают параллельно на одну сеть.

Основным недостатком асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором является постоянная частота вращения ротора электродвигателя, практически не зависящая от нагрузки. Однако подавляющее большинство технологических систем, элементами которых являются приводимые электродвигателем механизмы, работают в режимах с переменной нагрузкой. Для регулирования их производительности существуют различные способы, но наиболее распространенным (и наиболее расточительным) в настоящее время методом регулирования производительности насосов и вентиляторов является уничтожение избыточной мощности при дросселировании расхода посредством клапанов и заслонок. Метод этот остался от тех времен, когда других решений просто не было, он до сих пор закладывается в некоторые проекты.

С развитием силовой полупроводниковой и микропроцессорной техники стало возможным создание устройства частотного регулирования электроприводом, которое позволяет управлять скоростью и моментом электродвигателя по заданным параметрам в точном соответствии с характером нагрузки.

Это, в свою очередь, позволяет осуществлять точное регулирование практически любого процесса в наиболее экономичном режиме, без тяжелых переходных процессов в технологических системах и электрических сетях.

Современный частотно-регулируемый электропривод состоит из асинхронного или синхронного электрического двигателя и преобразователя частоты. Электрический двигатель преобразует электрическую энергию в механическую энергию и приводит в движение исполнительный орган технологического механизма, какого либо процесса. Преобразователь частоты управляет электрическим двигателем и представляет собой электронное статическое устройство. На выходе преобразователя формируется электрическое напряжение с переменными амплитудой и частотой. Название «частотно- регулируемый электропривод» обусловлено тем, что регулирование скорости вращения двигателя осуществляется изменением частоты напряжения питания, подаваемого на двигатель от этого преобразователя частоты. На протяжении последних 20 – 25 лет в мире наблюдается широкое и успешное внедрение частотно регулируемого электропривода для решения различных технологических задач во многих отраслях, в том числе и в ЖКХ. Это объясняется в первую очередь разработкой и созданием преобразователей частоты на принципиально новой элементной базе, главным образом на биполярных транзисторах с изолированным затвором IGBT.

Объектом проектирования данной работы является привод сетевого (центробежного) насоса котельной. Эти насосы являются массовыми и энергоемкими механизмами. На привод данных механизмов расходуется

колоссальное количество энергии, составляющее около 20 % всей электроэнергии.

В настоящее время разработан ряд эффективных алгоритмов управления котлоагрегатами, аппаратная реализация которых, ввиду их высокой сложности, возможна только на базе современных микропроцессорных устройств.

Модернизация привода насосов котельных установкой частотных преобразователей успешно решает проблемы снижения неоправданных потерь энергии. Частотно-регулируемый привод также позволяет автоматизировать технологические процессы производства и подачи тепловой энергии.

Частотное регулирование электродвигателя эффективно используют на промышленных предприятиях, в области энергетики, коммунальном хозяйстве и других сферах. Это связано с тем, что частотное регулирование позволяет автоматизировать производственные процессы, экономично расходовать электроэнергию и другие задействованные в производстве ресурсы, повышать качество выпускаемой продукции, а также увеличивать надежность работы всей системы в целом.

Преобразователи частоты, в отличие от других устройств регулирования скорости двигателя, таких как гидравлическая муфта, система генератор-двигатель, механический вариатор, позволяют избегать различных недостатков в работе системы.

Современные преобразователи частоты для котельных – многофункциональные устройства. Они выполняют такие функции как:

- ограничение пусковых токов при старте двигателей;
- плавное регулирование напора и давления в системе;
- автоматическое управление производительностью насосов в зависимости от реальных потребностей потребителей тепла;
- отключение агрегатов при авариях и ненормальных режимах работы;
- автоматизация работы котлов по заданной программе или событиям.

Частотные преобразователи также поддерживают базовые протоколы обмена данными, с их помощью можно осуществлять удаленный контроль и управление насосами котельных. Устройства также имеют встроенную память для хранения данных о включениях, отключениях, ошибках и других событиях.

Целью данной работы является разработка электропривода сетевого (центробежного) насоса котельной, построенного на базе современного частотного преобразователя с векторным управлением.

Сетевые насосы предназначены для обеспечения циркуляции теплоносителя от котла к потребителям и обратно. Использование частотно-регулируемого привода для сетевого насоса:

- позволяет автоматически поддерживать давление в сети в соответствии с заданной программой;
- обеспечивает переменную работу насосных агрегатов по наработанным часам;
- автоматически подключают резервные насосы при недостаточной производительности или авариях основных;
- осуществляет плавный пуск и остановку, без риска гидроударов.
- позволяет осуществлять удаленный контроль и управление, корректировку текущих характеристик.

Частотные преобразователи также защищают двигатели от перегрузок, перепадов напряжения, несимметричной нагрузки, аварийных режимов и передают информацию на пункт диспетчеризации.

Применение преобразователей частоты позволяет значительно экономить электроэнергию за счет работы насосов в соответствии с текущей нагрузкой системы.

В зависимости от объёма решаемых в проекте задач выделяют три степени автоматизации котельных: полная – оборудование управляется полностью без участия человека; комплексная – наличие постоянного

обслуживающего персонала и автоматическое управление основным оборудованием; и частичная – автоматизация только некоторых видов оборудования.

### 3 ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

#### 3.1 Расчет освещения

Электрическое освещение - это один из важных факторов, от которого зависит комфортность пребывания и работы людей в помещении.

Основные требования к освещению:

- обеспечение нормальных и безопасных условий труда людей;
- экономичность осветительной установки.

В производственном корпусе предусматривается система общего освещения со светильниками с люминесцентными лампами.

Выбор типа светового прибора производится по трем параметрам: конструктивному исполнению (исполнению защиты от воздействия окружающей среды), светотехническим характеристикам (кривой силы света) и экономическим показателям.

В качестве источников света применяем люминесцентные лампы. Эти лампы, по сравнению с лампами накаливания, имеют более мягкий спектр излучения, в 4-5 раз большую световую отдачу, более длительный срок службы и значительно меньшую яркость.

Светильники располагаем рядами. Расчёт освещения в помещении производится по методу коэффициента использования светового потока.

В помещении машинного зала с размерами: длина  $A = 24,5$  метра, ширина  $B = 12$  метров, высота  $H = 6,1$  метра, необходимо создать

освещенность  $E_n = 200$  лк люминесцентными лампами типа ЛБ в светильниках ЛСП.

Расчет освещения производится по методу коэффициента использования светового потока.

Определяется расчетная высота  $H_p$ , м подвеса светильника

$$H_p = H - (h + h_p), \quad (3.1)$$

где  $H$  – высота помещения, м;  $H = 6,1$  м;

$h$  – высота свеса светильника, м;  $h = 0,6$  м;

$h_p$  – высота рабочей поверхности, м;  $h_p = 0,8$  м.

$$H_p = 6,1 - (0,6 + 0,8) = 4,7 \text{ м.}$$

Определяется расстояние между рядами светильников  $L$ , м

$$L = H_p \cdot \lambda, \quad (3.2)$$

где  $H_p$  – расчетная высота, м;

$\lambda$  – относительное расстояние между светильниками;  $\lambda = 1,6$ . [3, 32]

Выбранный светильник имеет в поперечной плоскости кривую светораспределения типа Д, то есть косинусное распределение. В этом случае  $\lambda = 1,6$  метра.

$$L = 4,7 \cdot 1,6 = 7,52 \text{ м.}$$

Определяется число рядов светильников  $N_B$ , шт.

$$N_B = \frac{B}{L}, \quad (3.3)$$

где  $B$  – ширина помещения, м;

$L$  – расстояние между рядами светильников, м.

$$N_B = \frac{12}{7,52} = 1,6 \text{ шт.}$$

Принимается  $N_B = 2$  ряда.

Определяется индекс помещения  $i$

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (3.4)$$

где  $H_p$  – расчетная высота, м;

$A$  – длина помещения, м;

$B$  – ширина помещения, м.

$$i = \frac{24,5 \cdot 12}{4,7 \cdot (24,5 + 12)} = 2,63$$

По этому значению интерполированием находится коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,53$  [3]. Принимается коэффициент минимальной освещенности  $z = 1,15$  [32].

Определяется потребный световой поток ламп светильников  $F$ , лм

$$F = \frac{E_n \cdot K \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (3.5)$$

где  $E_n$  – нормированная освещенность, лк;  $E_n = 200$  лк; [11]

$K$  – коэффициент запаса;  $K = 1,5$ ; [32]

$S$  – площадь помещения,  $m^2$ ;

$z$  – коэффициент минимальной освещенности [32];

$N$  – количество рядов, шт.;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

$$F = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 294 \cdot 1,15}{2 \cdot 0,53} = 95688 \text{ лм.}$$

Промышленность выпускает светильники типа ЛСП22 с лампами мощностью 40 и 65 Вт, предназначенные для общего освещения производственных и иных помещений с повышенным содержанием пыли и влаги.

Принимаем светильники ЛСП22-2x65-002 PVLM [34] с двумя лампами по 65 Вт, световым потоком 5220 лм [3]. Тогда число светильников в ряду  $n$ , шт. определится

$$n = \frac{F}{F_{св}}, \quad (3.6)$$

где  $F$  – потребный световой поток, лм;

$F_{св}$  – световой поток светильника, лм.

$$n = \frac{95688}{10440} = 9,23 \text{ шт.}$$

Принимается 10 шт.

Общая мощность ламп осветительной установки  $P_{общ.}$ , Вт

$$P_{общ.} = \sum_{i=1}^n P_{л} + \sum_{i=1}^n P_{пра}, \quad (3.7)$$

где  $\sum_{i=1}^n P_{л}$  - суммарная мощность всех ламп, Вт;

$\sum_{i=1}^n P_{пра}$  - суммарная мощность пускорегулирующей аппаратуры, Вт.

$$\sum_{i=1}^n P_{л} = N \cdot n \cdot 2 \cdot P_{л}, \quad (3.8)$$

где  $N$  – количество рядов светильников, шт.;

$n$  – количество светильников в ряду, шт.;

$P_{л}$  – мощность одной лампы, Вт.

$$\sum_{i=1}^n P_{л} = 2 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 65 = 2600 \text{ Вт.}$$

$$\sum_{i=1}^n P_{пра} = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^n P_{л}, \quad (3.9)$$

$$P_{общ} = 2600 + 650 = 3250 \text{ Вт.}$$

Расчет электрического освещения других помещений производится аналогичным образом. Результаты расчета вносятся в таблицу 3.1.

### 3.2 Электротехнический расчет

Производится расчет внутренних электропроводок по допустимому нагреву и допустимой потере напряжения. Нагрузку разбиваем на группы. Установленная мощность освещения определяется как сумма мощностей светильников с учетом потерь в пускозащитной аппаратуре. Вся нагрузка разбивается на четыре группы. В каждой группе определяется электрический момент. Расчет начинается с составления расчетной схемы.

Определяется момент нагрузки  $M_o$ , кВт·м на вводе

$$M_o = \sum_{i=1}^n P \cdot \ell_o, \quad (3.10)$$

Таблица 3.1 - Светотехническая ведомость

Наименование помещения	S, м <sup>2</sup>	Условия среды	Коэффициент отражения, %			E <sub>н</sub> , лк	Светильники			Источник света				P <sub>общ</sub> , кВт
			пот.	стены	пол.		Тип	P, Вт	Кол-во,	Тип	P, Вт	Кол-во,	марка	
Комната персонала	16,5	Норм.	50	30	10	200	ЛСП	40	3	ЛЛ	40	3	ЛБ-40	0,12
Душевая	4,8	Сыр.	30	20	10	50	ЛСП	40	2	ЛЛ	40	3	ЛБ-40	0,08
Склад инвентаря	22,4	Норм.	50	30	10	100	ЛСП	40	3	ЛЛ	40	3	ЛБ-40	0,12
Машинное отделение	294	Пыльн.	30	20	10	200	ЛСП22	2x65	20	ЛЛ	65	40	ЛБ-65	3,25
Комната мастера	16,5	Норм.	50	30	10	200	ЛСП	40	3	ЛЛ	40	3	ЛБ-40	0,12
Щитовая	16,8	Норм.	50	30	10	200	ЛСП	40	3	ЛЛ	40	3	ЛБ-40	0,12

где  $\sum_{i=1}^n P$  - суммарная мощность ламп, кВт;

$\ell_o$  - длина вводного участка, м.

$$M_o = 3,8 \cdot 9 = 34,2 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

Определяются моменты нагрузок  $m$ , кВт·м на ответвлениях

$$m = \ell_{np} \cdot P, \quad (3.11)$$

где  $\ell_{np}$  - приведенная длина группы, м;

$P$  – мощность группы, кВт.

$$\ell_{np} = \ell^1 + \frac{\ell}{2}, \quad (3.12)$$

где  $\ell^1$ -расстояние от осветительного щитка до первого светильника, м;

$\ell$  – расстояние от крайнего первого до последнего светильника, м.

$$\ell_{np1} = 3,5 + \frac{36}{2} = 21,5 \text{ м,}$$

$$m_1 = 21,5 \cdot 1,6 = 39,6 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

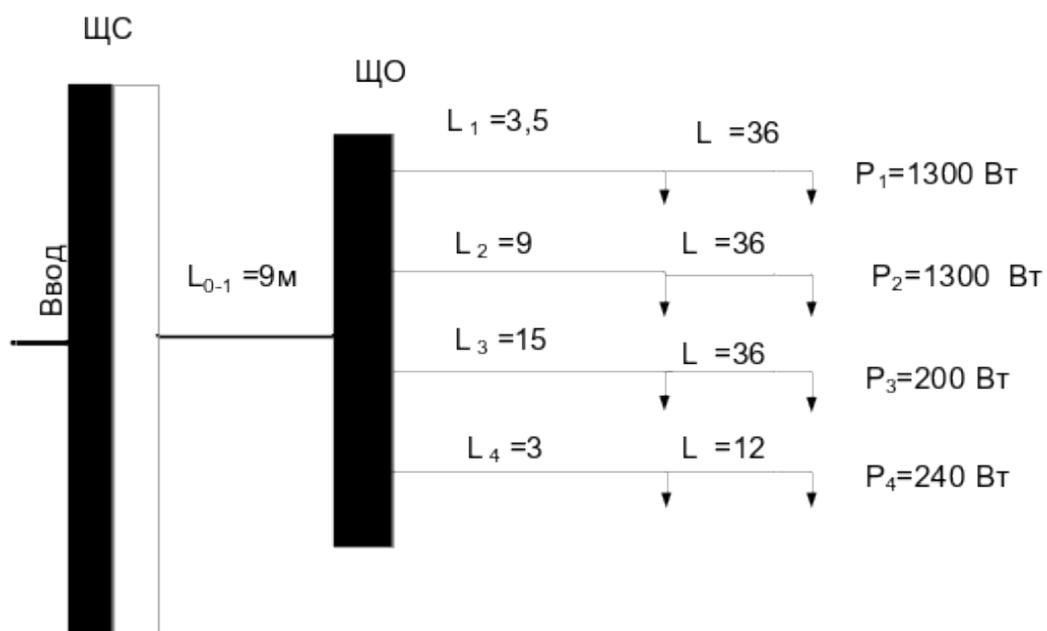


Рисунок 3.1-Расчетная схема осветительной сети котельной

$$\ell_{np2} = 9 + \frac{36}{2} = 27 \text{ м};$$

$$m_2 = 27 \cdot 1,6 = 49,7 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$\ell_{np3} = 15 + \frac{36}{2} = 33 \text{ м};$$

$$m_3 = 33 \cdot 0,2 = 6,6 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$\ell_{np4} = 3 + \frac{12}{2} = 9 \text{ м};$$

$$m_4 = 9 \cdot 0,24 = 2,16 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Расчет площади поперечного сечения  $S$ ,  $\text{мм}^2$  и выбор марки кабеля на вводе

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n M + \sum_{i=1}^n m \cdot \alpha_{np}}{c \cdot \Delta U_{\partial\partial}}, \quad (3.13)$$

где  $\sum_{i=1}^n M$  - сумма больших электрических моментов, кВт·м;

$\sum_{i=1}^n m$  - сумма малых электрических моментов, кВт·м;

$\alpha_{np}$  - коэффициент приведения малых моментов к большим;

$\alpha = 1,85$  [11];

$\Delta U_{\partial\partial}$  - допустимая потеря напряжения,  $\Delta U_{\partial\partial} = 2,5\%$ ;

$c$  – коэффициент, зависящий от материала провода;  $c = 72$  [11].

$$S = \frac{259,2 + 211,2 \cdot 1,85}{72 \cdot 2,5} = 3,6 \text{ мм}^2.$$

Принимается кабель медный марки ВВГ с сечением жилы  $S = 4 \text{ мм}^2$ . Это сечение проверяется на нагрев по длительно допустимому току из условия  $I_{\text{дд}} \geq I_p$ . Для сечения  $4 \text{ мм}^2$   $I_{\text{дд}} = 30 \text{ А}$  [10].

Рабочий ток осветительной установки  $I_p$ , А определяется

$$I_p = \frac{\sum_{i=1}^n P}{3U_{\phi} \cdot \cos\varphi}, \quad (3.14)$$

где  $\sum_{i=1}^n P$  - суммарная мощность, Вт;

$U_{\phi}$  – фазное напряжение, В;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности.

$$I_p = \frac{3250}{3 \cdot 220 \cdot 0,87} = 6,4 \text{ А.}$$

Условие  $I_{\text{дд}} > I$  соблюдается.

Фактические потери напряжения  $\Delta U_{\text{ист}}$ , % на вводе определяется по формуле

$$\Delta U_{\text{ист}} = \frac{M}{C \cdot S}, \quad (3.15)$$

где  $M$  – момент нагрузки на вводе, кВт·м;

$C$  – характеристический коэффициент линии на вводе;

$S$  – сечение кабеля на вводе, мм<sup>2</sup>.

$$\Delta U_{\text{ист}} = \frac{259,2}{72 \cdot 4} = 0,85 \text{ \%}.$$

Определяются допустимые потери для оставшейся сети  $\Delta U_{\text{отв}}$ , %

$$\Delta U_{\text{отв}} = \Delta U - \Delta U_{\text{ист}}, \quad (3.16)$$

$$\Delta U_{\text{отв}} = 2,5 - 0,85 = 1,65 \text{ \%}.$$

Определяется сечение провода  $S_{\text{гр}}$ , мм<sup>2</sup> для первой группы

$$S_{\text{гр}} = \frac{m_{\text{гр}}}{C_{\text{гр}} \cdot \Delta U_{\text{отв}}}, \quad (3.17)$$

где  $m_{\text{гр}}$  – момент группы, кВт·м;

$C_{\text{гр}}$  – характеристический коэффициент линии группы;

$\Delta U_{\text{отв}}$  – допустимые потери напряжения на ответвлениях, %.

$$S_{\text{гр1}} = \frac{39,6}{14 \cdot 1,65} = 1,7 \text{ мм}^2.$$

Выбирается медный провод марки ВВГ и сечением  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ .  
 Проверяется на нагрев по длительно допустимому току

$$I_p = \frac{\sum_{i=1}^n P}{U \cdot \cos\varphi}, \quad (3.18)$$

где  $\sum_{i=1}^n P$  - суммарная мощность группы, Вт;

$U$  – фазное напряжение, В;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности;

$$I_p = \frac{1300}{220 \cdot 0,87} = 9,6 \text{ А.}$$

Длительно допустимый ток провода  $I_{\text{дд}}$  равен 25 А. Условие  $I_{\text{дд}} > I$  соблюдается.

Определяется сечение провода  $S_{\text{гр.2}}$ ,  $\text{мм}^2$  для второй группы

$$S_{\text{гр.2}} = \frac{49,7}{14 \cdot 1,65} = 2,2 \text{ мм}^2.$$

Выбирается провод ВВГ сечением  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ . Длительно допустимый ток провода  $I_{\text{дд}}$  равен 25 А. Условие  $I_{\text{дд}} > I$  соблюдается.

Определяется сечение провода  $S_{\text{гр.3}}$ ,  $\text{мм}^2$  третьей группы

$$S_{\text{гр.3}} = \frac{60,7}{14 \cdot 1,6} = 1,9 \text{ мм}^2.$$

Выбирается провод ВВГ сечением  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ . Длительно допустимый ток провода  $I_{\text{дд}}$  равен 25 А. Условие  $I_{\text{дд}} > I$  соблюдается.

Определяется сечение провода  $S_{\text{гр.4}}$ ,  $\text{мм}^2$  четвертой группы

$$S_{\text{гр.4}} = \frac{60,7}{14 \cdot 1,65} = 2,48 \text{ мм}^2.$$

Выбирается провод ВВГ сечением  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ . Длительно допустимый ток  $I_{\text{дд}}$  равен 25 А. Условие  $I_{\text{дд}} > I$  соблюдается.

Результаты расчета сводятся в таблицу 3.2

Таблица 3.2-Электротехническая ведомость

Группа	Ввод	1	2	3	4
Марка кабеля, провода	ВВГ	ВВГ	ВВГ	ВВГ	ВВГ
$I_{\text{дд}} > I, \text{ А}$	$30 > 18,1$	$30 > 9,6$	$30 > 9,6$	$30 > 0,9$	$30 > 1,1$
Сечение жилы, $\text{мм}^2$	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Прокладка кабеля и проводов осуществляется на тросах и скобах. Выбирается осветительный групповой щит ОП-6. Щит освещения навесной на 6 модулей без вводного пакетного выключателя на номинальный ток до 100А. Степень защиты IP31. Предназначен для приема и распределения электроэнергии в жилых и производственных помещениях, а также для защиты линий при перегрузках и коротких замыканиях в сетях переменного тока напряжением 230/400 В. Внутри корпуса устанавливаются вводные, трехполюсные и групповые, однополюсные автоматические выключатели, а также шины N и PE.

Выбор автоматических выключателей определяется соответствием рабочего тока сети номинальному току расцепителя. На группах устанавливаются автоматические выключатели типа ВА 14 с номинальным током 20 А. На вводе ВА 51 с номинальным током 63 А и током расцепителя 20 А, с электромагнитным расцепителем.

### 3.3 Расчет силовой сети

Аппараты защиты используют для отключения электрических цепей при возникновении в них ненормальных режимов (короткие замыкания, значительные перегрузки, резкие понижения напряжения, неполнофазные режимы работы и др.). В качестве защитных аппаратов представляется выбрать автоматический выключатель для защиты от короткого замыкания и перегрузок. Аппараты управления и защиты выбирают по номинальному напряжению и току. Рабочий ток сети  $I, \text{ А}$  определяется по формуле

$$I_p = \frac{\sum_{i=1}^n P}{3 U_\phi \cdot \cos \varphi}, \quad (3.19)$$

где  $\sum_{i=1}^n P$  - сумма мощностей на участке, Вт;

$U_\phi$  – фазное напряжение сети, В;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

Питающий кабель должен соответствовать условию

$$I_{\text{дл}} > I_p, \quad (3.20)$$

где  $I_{\text{дл}}$  – длительно допустимый ток, А.

Выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель выбирают по следующим условиям

$$U_{\text{н.а.}} \geq U_{\text{н.уст.}}, \quad (3.21)$$

$$I_{\text{н.а.}} \geq I_{\text{н.уст.}}, \quad (3.22)$$

где  $U_{\text{н.а.}}$  и  $I_{\text{н.а.}}$  – соответственно номинальные значения напряжения, В и тока, А автоматического выключателя;

$U_{\text{н.уст.}}$  и  $I_{\text{н.уст.}}$  – соответственно номинальное значение напряжения, В и тока, А электроустановки.

Выбор магнитного пускателя

Магнитные пускатели выбирают в зависимости от условий окружающей среды и схемы управления по номинальному напряжению и току

$$U_{\text{н.п.}} \geq U_{\text{н.уст.}}, \quad (3.23)$$

$$I_{\text{н.п.}} \geq I_{\text{н.уст.}}, \quad (3.24)$$

где  $U_{\text{н.п.}}$  и  $I_{\text{н.п.}}$  – соответственно номинальное значение напряжения, В и тока, А пускателя;

$U_{\text{н.уст.}}$  и  $I_{\text{н.уст.}}$  – соответственно номинальное значение напряжения, В и тока, А электроустановки.

Пример расчета проведем для вентилятора мощностью 7,5 кВт

$$I_p = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,87} = 15,4 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА47-29

$$U_{н.а.} = 400 \text{ В} \geq U_{н.уст.} = 380 \text{ В},$$

$$I_{н.а.} = 16 \text{ А} \geq I_{н.уст.} = 15,4 \text{ А},$$

Выбираем магнитный пускатель типа КМИ -11810

$$U_{н.п.} = 400 \text{ В} \geq U_{н.уст.} = 380 \text{ В},$$

$$I_{н.п.} = 25 \text{ А} \geq I_{н.уст.} = 15,4 \text{ А},$$

Условия выполняются

Провод и кабель выбираем по длительно допустимому току. Выбирается провод ВВГ сечением  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ . Длительно допустимый ток провода  $I_{дд}$  равен 21 А. Условие  $I_{дд} > I$  соблюдается.

Для остального оборудования выбираем аналогично. Расчетная схема силовой сети показана на листе графической части №3.

Таблица 3.3 - Расчет внутренней силовой сети

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Марка кабеля, сечение, мм <sup>2</sup>	Ток, А		Мощность установки, кВт
			Ном.	Кабеля	
Вентилятор	1	ВВГ 4x2,5	15,4	21	7,5
Насос центробежный сетевой	4	ВВГ 4x4	23,8	35	11
Дымосос	2	ВВГ 4x16	58,9	75	30
Дутьевой вентилятор	2	ВВГ 4x2,5	9,2	21	4,0

## 4 МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

### 4.1 Выбор электродвигателя

В котельных системах водопровода принято устанавливать сразу несколько устройств, имеющих одинаковые характеристики. Насосы соединяют параллельно, при этом один из них является основным, а второй является резервным и запускается по мере необходимости, когда выходит из строя первый. Однако возможна и работа сразу двух аппаратов. В таком случае, давление воды в трубах остается таким же, как и при работе одной установки, но зато увеличивается подача воды, уровень которой становится равным сумме подачи каждого из устройств.

Электропривод сетевых насосов в основном выполняется при помощи асинхронных двигателей. Это обусловлено простотой конструкции, высокой надёжностью, низкой по сравнению с другими двигателями ценой, простотой обслуживания. Нормированная подача в сеть  $Q_{\text{норм}}$  определяется по формуле

$$Q_{\text{норм}} = \frac{Q_{\text{час}} \cdot 24}{20}, \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{норм}} = \frac{80 \cdot 24}{20} = 96 \text{ м}^3$$

Исходя из полученных данных для нормальной работы котельной и обеспечения номинального давления в тепловой сети необходима установка насоса с номинальной подачей в сеть  $Q_{\text{н}} = 100 \text{ м}^3/\text{час}$  с напором  $H_{\text{н}} = 30 \text{ м}$ .

Принимаем к установке насос К100-80-160 (К90/35) имеющий следующие технические данные:

- объемная подача насоса  $Q_n = 100$  м<sup>3</sup>/час;

- частота вращения  $n=3000$  об/мин;

-напор, создаваемый насосом  $H_n = 32$  м;

-высота всасывания  $H_{вс} = 5$  м;

-кпд  $\eta = 73$  %.

Необходимая мощность электродвигателя для привода насоса определяется по следующей формуле

$$P = k_3 \cdot k_p \cdot \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta}, \quad (4.2)$$

где  $P$  - необходимая мощность двигателя насоса, кВт;

$k_3$  - коэффициент запаса двигателя по мощности, учитывающий неточности расчёта ( при  $Q > 100$  м<sup>3</sup>/ч ,  $k_3 = 1,15$ );

$k_p$  - коэффициент, учитывающий мощность двигателей в регулируемых приводах, (для регулируемого привода  $k_p = 1$ );

$Q_n$  - объемная подача или производительность данного насоса, м<sup>3</sup>/час;

$H$  - напор, создаваемый данным насосом, м;

$g$ - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup> ( $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>);

$\eta$ - общий КПД насоса;

$\rho$  - плотность перекачиваемой жидкости.

$$P = 1,15 \cdot 1 \cdot \frac{100 \cdot 32 \cdot 1000 \cdot 9,81}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,73} = 10,2 \text{ кВт}$$

Принимаем ближайший по мощности электродвигатель 4А132М4 мощностью 11 кВт.

Таблица 4.1-Паспортные данные электродвигателя

Тип	P, кВт	n <sub>0</sub> , об/мин	η, %	cos φ	S <sub>ном</sub> ,	S <sub>кр</sub> ,	m <sub>п</sub>	m <sub>max</sub>	m <sub>min</sub>	i <sub>n</sub>	J <sub>дв</sub> , кг·м <sup>2</sup>
4А 132 М4	11	1500	87,5	0,86	0,054	0,34	2	2,2	1,6	7,5	0,0032

## 4.2 Расчёт механической характеристики электропривода

Асинхронные двигатели (АД) получили в промышленности и сельском хозяйстве весьма широкое применение благодаря ряду существенных преимуществ по сравнению с другими типами двигателей. Асинхронный двигатель прост и надежен в эксплуатации, так как не имеет коллектора, асинхронные двигатели дешевле и значительно легче двигателей постоянного тока. Механическая характеристика представляет зависимость вращающего момента двигателя от его частоты вращения при неизменных напряжениях, частоте питающей сети и внешних сопротивлениях в цепях обмоток двигателя.

По паспортным данным электродвигателя определяется номинальный ток  $I_{ном}$ , А и номинальный момент двигателя  $M_{ном}$ , Н·м

$$I_{ном} = \frac{P_n}{3 \cdot U_\phi \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \quad (4.3)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность, кВт;

$U_\phi$  – фазное напряжение, В;

$\eta$  – КПД двигателя, %.

$$I_{ном} = \frac{11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,86} = 22,3 \text{ А.}$$

где  $P_n$  – номинальная мощность, кВт;

$\omega_{ном}$  – номинальная угловая скорость, с<sup>-1</sup>;

$n_{ном}$  – номинальная частота вращения, об/мин.

Построение естественной механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором производится по пяти характерным точкам

1. Точка идеального холостого хода:  $s = 0$ ;  $M = 0$ .

$$\omega = \omega_0 (1 - s); \quad (4.4)$$

$$\omega = 157 \cdot (1 - 0) = 157 \text{ с}^{-1}$$

2. Номинальная точка:  $s = s_{\text{ном}} = 0,054$ ;

$$\omega_{\text{ном}} = 157 (1 - 0,054) = 148,5$$

$$M = M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (4.5)$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{11 \cdot 10^3}{148,5} = 74 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

3. Максимальная точка (критическая):  $s = s_{\text{к}} = 0,34$ ;

$$\omega_{\text{к}} = 157 (1 - 0,34) = 103,6 \text{ с}^{-1};$$

$$M_{\text{max}} = \mu_{\text{max}} \cdot M_{\text{ном}} \quad (4.6)$$

$$M_{\text{max}} = 2,2 \cdot 74 = 163 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

4. Минимальная точка:  $s = s_{\text{min}} = 0,85$ ;

$$\omega_{\text{min}} = 157 (1 - 0,85) = 23,6 \text{ с}^{-1};$$

$$M_{\text{min}} = \mu_{\text{min}} \cdot M_{\text{ном}} \quad (4.7)$$

$$M_{\text{min}} = 1,6 \cdot 74 = 118 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

5. Точка пуска:  $s = 1$ ;  $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$ ;

$$M_{\text{пуск}} = \mu_{\text{пуск}} \cdot M_{\text{ном}} \quad (4.8)$$

$$M_{\text{пуск}} = 2 \cdot 74 = 148 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

#### 4.3 Построение механической характеристики рабочей машины

В общем случае приведенный момент рабочей машины к валу двигателя определяется

$$M_{\text{спр}} = \frac{M_{\text{Co}} + (M_{\text{Ch}} - M_{\text{Co}}) \cdot \left( \frac{\omega_{\text{C}}}{\omega_{\text{Ch}}} \right)^{\alpha}}{i \cdot \eta_n}, \quad (4.9)$$

где  $i$  – передаточное отношение кинематической цепи между валом двигателя и исполнительным органом рабочей машины;

$\eta_n$  – КПД передачи;

$M_{\text{Ch}}$  – момент сопротивления механизма при нормальной скорости вращения, Н·м;

$M_{\text{Co}}$  – начальный момент сопротивления механизма, Н·м;

$\omega_{\text{C}}$  – угловая скорость вращения приводного механизма, с<sup>-1</sup>;

$\omega_{\text{Ch}}$  – номинальная угловая скорость вращения приводного механизма, с<sup>-1</sup>;

$\alpha$  – коэффициент, характеризующий изменение момента сопротивления при изменении скорости вращения. Для вентиляционной установки  $\alpha = 2$ .

Механическая характеристика рабочей машины нелинейно возрастающая. Построение механической характеристики рабочей машины производится по двум точкам

Момент сопротивления механизма при нормальной скорости вращения

$$M_{\text{Ch}} = \frac{P_{\text{н.р.м.}}}{\omega_{\text{н.р.м.}}}, \quad (4.10)$$

$$M_{\text{Ch}} = \frac{10200}{148,5} = 67 \text{ Н·м.}$$

Начальный момент сопротивления механизма

$$M_{\text{Co}} = 0,15 \cdot M_{\text{Ch}}, \quad (4.11)$$

$$M_{Co} = 0,15 \cdot 67 = 10 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

По расчетным данным для построения механической характеристики рабочей машины составляется сводная таблица 4.2 для построения механической характеристики рабочей машины  $\omega = f(M_{Cпр})$ .

Таблица 4.2 – Значение момента статистической нагрузки

$\omega, \text{с}^{-1}$	0	20	40	60	80	100	120	140	148,5
$M_{Cпр}, \text{Н}\cdot\text{м}$	10	11	14	19	27	36	47	61	67

Функциональную зависимость  $M_{дин} = f(s)$ , называемую динамической характеристикой, легко получить графически, производя по координатное вычитание из значений  $M$  соответствующее значение  $M_{Cпр}$ .

$$M_{дин} = M - M_{Cпр} = J_{пр} \frac{d\omega}{dt}, \quad (4.12)$$

где  $M_{Cпр}$  – приведенный к валу двигателя момент сопротивления рабочей машины, Н·м;

$M_{дин}$  – динамический или избыточный момент системы двигатель–приводной механизм, Н·м;

$J_{пр}$  – приведенный к валу двигателя момент инерции системы, кг·м;

$d\omega/dt$  – ускорение вала двигателя при вращательном движении,  $\text{с}^{-2}$ .

Приведенный к валу двигателя момент инерции системы  $J_{пр}$ , кг·м, определяется по формуле

$$J_{пр} = J_{дв} + J_n + \frac{J_{р.м.}}{i^2}, \text{ без передачи } J_{пр} = J_{дв} + J_n + J_{р.м.}, \quad (4.13)$$

где  $J_{дв}$  – момент инерции ротора двигателя,  $J_{дв} = 0,0032 \text{ кг}\cdot\text{м}$ ;

$J_n$  – момент инерции передачи,  $J_n = 0,2 \cdot J_{дв} = 0,00064 \text{ кг}\cdot\text{м}$ ;

$J_{р.м.}$  – момент инерции рабочей машины,  $J_{р.м.} = 0,5 \cdot J_{дв} = 0,0016 \text{ кг}\cdot\text{м}$ .

$$J_{пр} = J_{дв} + J_n + J_{р.м.} = 0,0032 + 0,00064 + 0,0016 = 0,00544 \text{ кг}\cdot\text{м}.$$

Значения динамического момента системы двигатель–приводной механизм, необходимые для построения динамической характеристики системы сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Значение динамического момента системы

$\omega, \text{с}^{-1}$	0	20	40	60	80	100	120	140	148,5
$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	148	118	119	126	146	163	154	107	67
$M_{\text{спр}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	10	11	14	19	27	36	47	61	67
$M_{\text{дин}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	138	107	105	107	119	127	107	46	0

Пусковая характеристика  $\omega = f(t)$  строится во втором квадранте. Время разгона на участке  $\Delta t_i, \text{с}$ , определяется по формуле

$$\Delta t_i = J_{\text{пр}} \cdot \omega_0 \cdot \frac{(s_1 - s_2)}{M_{\text{дин}_i}} \quad (4.14)$$

Полное время разгона

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t_i \quad (4.15)$$

Таблица 4.4 – Построение пусковой характеристики

Величины	1	2	3	4
$\Delta s$	0,15	0,30	0,30	0,20
$M_{\text{дин}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	113,5	107,5	121,5	67,5
$\Delta t_i, \text{с}$	0,011	0,024	0,021	0,025
$t_i, \text{с}$	0,011	0,035	0,056	0,081

По полученным результатам строим механические характеристики электропривода и выносим на лист графической части №4.

#### 4.4 Регулирование производительности сетевого насоса

При прерывистом регулировании изменение расхода обеспечивается коммутацией в гидросистему различного числа насосов. Например, если один насос не обеспечивает необходимый расход, в параллель ему включается второй, третий и т. д. Включение и выключение насосов

приводит к постоянным гидроударам в системе, что исключительно вредно влияет на сохранность оборудования, а пусковые токи двигателей насосов вызывают 5 - 7 кратные, относительно номинала, броски тока в сети, что также вредно сказывается на ресурсе электрооборудования.

Наиболее современным способом регулирования производительности насосов является регулирование с помощью преобразователей частоты.

Преобразователь частоты реализует функцию поддержания заданного давления в системе водоснабжения независимо от расхода.

Наибольшую эффективность такая схема дает там, где до этого применялись системы без регулирования расхода. При снижении расхода (суточном или сезонном), нерегулируемый насос продолжает вращаться на номинальной скорости и впустую расходует энергию на создание избыточного давления в гидросистеме. Давление при этом становится в несколько раз выше номинального. Вследствие избыточного давления снижается ресурс оборудования.

В случае применения преобразователя частоты, осуществляется поддержание давления в гидросистеме независимо от расхода за счет регулирования частоты вращения электродвигателя насоса. Таким образом, при малых расходах насос вращается на малой скорости необходимой только для поддержания номинального давления и не тратит лишней энергии. Экономится электроэнергия, а так же ресурс оборудования.

Для реализации способа частотного регулирования короткозамкнутый асинхронный двигатель включается в питающую сеть посредством преобразователя частоты. В качестве преобразователей частоты в настоящее время используются, в основном, полупроводниковые преобразователи.

Выбор преобразователя для привода сетевого насоса.

При подборе преобразователя в первую очередь нужно ориентироваться на ток и напряжение питания электродвигателя из условия

$$I_{\text{нпч}} > I_{\text{ном}}; \quad (4.16)$$

$$U_{\text{нпч}} > U_{\text{ном}}, \quad (4.17)$$

где  $I_{\text{нпч}}$ ,  $U_{\text{нпч}}$  – номинальный ток и напряжение преобразователя частоты.

Ток электродвигателя рассчитанный по формуле (4.3) составил  $I_{\text{ном}} = 22,3 \text{ А}$

Напряжение питания  $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$ .

Выбираем преобразователь ПЧ серии E4-8400 фирмы «ВЕСПЕР»

Преобразователи данной марки предназначены для плавного изменения частоты вращения электродвигателей переменного тока, входящих в состав общепромышленных и специальных машин и механизмов.

Достоинства выбранного типа преобразователя:

1. Частотно-регулируемые электроприводы с электромагнитным торможением и рассеянием энергии на резисторе.
2. Частотно-регулируемые электроприводы с электромагнитным торможением и рекуперацией энергии в сеть, содержащие активный входной выпрямитель, который обеспечивает:
3. Практическое отсутствие эмиссии высших гармоник в сеть; двунаправленный поток энергии, т.е. позволяет работать в четырёх квадрантах;
4. Частотно-регулируемые электроприводы для механизмов, имеющих «вентиляторную нагрузку» (насосы, вентиляторы, центрифуги, дымососы и т.д.). Мощность от 3 до 22 кВт.

При необходимости частотно-регулируемые электроприводы могут быть укомплектованы RLC- или RC-фильтрами для защиты от перенапряжений на обмотке электродвигателя. Параметры фильтра определяются длиной кабеля от электродвигателя до преобразователя и мощностью электродвигателя. RLC-фильтр устанавливается рядом с преобразователем, RC-фильтр- рядом с электродвигателем.

Преобразователь обеспечивает плавный пуск механизма, позволяет регулировать частоту вращения короткозамкнутых асинхронных двигателей

вниз и вверх от номинальной. Возможно как ручное управление приводом, так и автоматическое с поддержанием какого-либо технологического параметра (напора, расхода, уровня жидкости).

Преобразователи снабжены средствами защиты:

-от недопустимых перегрузок по току (в том числе при работе приводного двигателя на двух фазах);

-от токов внутреннего и внешнего КЗ;

-от перенапряжения;

-при исчезновении одной из фаз.

Преобразователи обеспечивают: ручное регулирование выходной частоты со встроенного или дистанционного пульта управления; плавный разгон электродвигателя с заданным темпом; разгон по предельным (заданным) значениям тока фаз электродвигателя; плавное торможение электродвигателя; торможение электродвигателя по предельному значению напряжения в звене постоянного тока инвертора; самозапуск преобразователя после перебоев питания; автоматическое поддержание значения технологического параметра (давления, температуры, уровня и т.д.); компенсацию колебаний скольжения при работе электродвигателя на механизм с большим моментом инерции; автоматическое управление параметром в соответствии с заданной зависимостью изменения параметра от времени суток (дискретность 1 мин); групповое обслуживание электродвигателей.

#### 4.5 Выбор пускозащитной аппаратуры и средств автоматики

Аппаратура управления предназначена для включения, отключения и переключения электрических цепей и электроприемников, регулирования частоты вращения и реверсирования электродвигателей, изменения параметров различных электроустановок.

Аппараты защиты используют для отключения электрических цепей при возникновении в них ненормальных режимов (короткие замыкания, значительные перегрузки, резкие понижения напряжения, неполнофазные режимы работы и др.).

Аппараты управления и защиты выбирают по ряду параметров, основные из которых - номинальное напряжение и ток. Кроме того, аппараты выбирают по климатическому исполнению, категории размещения, степени защиты от воздействия окружающей среды и другим параметрам в зависимости от назначения аппарата (предельный отключаемый ток короткого замыкания, электродинамическая и термическая устойчивость, время срабатывания, разрывная мощность и износостойкость контактов и др.).

В качестве защитных аппаратов в схеме представляется выбрать автоматический выключатель для защиты от короткого замыкания. В качестве пусковой аппаратуры необходимо выбрать магнитный пускатель.

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям [1, 21]

$$U_{н.а.} \geq U_{н.уст.}, \quad (4.18)$$

$$I_{н.а.} \geq I_{н.уст.}, \quad (4.19)$$

$$I_{н.т.} \geq K_{н.т.} I_{н.макс.}, \quad (4.20)$$

$$I_{н.эл.} \geq K_{н.эл.} I_{макс.}, \quad (4.21)$$

где  $U_{н.а.}$ ,  $I_{н.а.}$  - соответственно номинальные значения напряжения, В, и ток, А, автоматического выключателя;

$I_{н.т.}$  - номинальный ток теплового расцепителя, А;

$I_{н.макс.}$  - максимальный ток теплового расцепителя, А;

$I_{макс.}$  - максимальный ток электродвигателя, А;

$U_{н.уст.}$ ,  $I_{н.уст.}$  - соответственно номинальное напряжение, В, и ток, А, электроустановки;

$K_{н.т.}$  - коэффициент надежности, учитывающий разброс по току срабатывания теплового расцепителя, принимается в пределах от 1,1...1,3;

$I_{н.эл.}$  - ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя, А;

$K_{н.эл}$  - коэффициент надежности, учитывающий разброс по току электромагнитного расцепителя и пускового тока электродвигателя, принимается в пределах 1,5...2,2.

Для защиты двигателя мощностью 11 кВт, и током нагрузки  $I_{ном} = 22,3$  А принимаем автомат типа ВА 47-29 [1] с характеристиками ,  $I_{н.а} = 25$ А,  $I_{н.эл} = 175$ А,  $I_{н.т} = 40$ А,  $U_{н.а} = 400$ В.

$$U_{н.а} = 400\text{В} \geq U_{н.уст.} = 380\text{В}$$

$$I_{н.а} = 25\text{А} \geq I_{н.уст.} = 23\text{А}$$

$$I_{н.т.} = 40 \geq K_{н.т} \cdot I_{н.макс.} = 30\text{А}$$

$$I_{н.эл} = 175 \geq K_{н.эл} \cdot I_{макс.} = 55\text{А}$$

Все условия выполняются.

Для дистанционного пуска, а также защиты минимального напряжения (нулевая защита) - для электродвигателей, самопуск которых после исчезновения и последующего восстановления напряжения недопустим по технологическим причинам и представляет опасность для обслуживающего персонала, выбираем магнитный пускатель.

Магнитные пускатели выбираем по номинальному напряжению, номинальному току, току нагревательного элемента, теплового реле и напряжению втягивающей катушки

$$U_{н.п.} \geq U_{н.уст.} , \tag{4.22}$$

$$I_{н.п.} \geq I_{рас.} , \tag{4.23}$$

$$I_{н.т.р.} \geq I_{н.дв.} , \tag{4.24}$$

где  $U_{н.п.}$  - номинальное напряжение пускателя, В;

$I_{н.п.}$  и  $I_{рас.}$  - соответственно номинальный ток пускателя и расчетный ток управляемой цепи, А;

$I_{н.т.р.}$  - номинальный ток теплового реле, А.

Для двигателя мощностью 11кВт выбираем пускатель КМИ 22510 с тепловыми реле РТИ 1322[1]

$$U_{н.п.} = 400В. \geq U_{н.уст.} = 380В$$

$$I_{н.п.} = 30А. \geq I_{рас.} = 23А$$

$$I_{н.т.р.} = 25А. \geq I_{н.дв.} = 23А$$

Все условия выполняются.

Питание схемы управления осуществляется напряжением 220В поэтому напряжение катушек всех пускателей принимаем  $U_{н.к.} = 220В$ .

Для дистанционного управления магнитными пускателями используем кнопки управления. Принимаем кнопочный пост серии ПКЕ 622.

Для регулирования работы сетевого насоса от давления выбираем преобразователь давления типа ОВЕН ПД 100И. Преобразователи давления измерительные ОВЕН ПД100И предназначены для непрерывного измерения давления (абсолютного, избыточного, дифференциального, разрежения) и преобразования измеренных значений в унифицированный выходной сигнал.

Реле времени ВС-33. Реле времени ВС-33-1, ВС-33-2 предназначены для передачи команд из одной электрической цепи в другую с предварительно устанавливаемыми выдержками времени. Применяются в схемах управления и автоматики с напряжением переменного тока до 240В частоты 50 и 60 Гц. Реле имеют по два контакта с выдержкой времени (размыкающий и замыкающий).

#### 4.6 Выбор проводов и кабелей

Провода и кабели должны быть выбраны таким образом, чтобы температура проводов и кабелей при длительном протекании рабочего тока нагрузки не была больше предельно допустимой. Совокупность кабелей и проводов с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями и деталями, которые размещаются внутри помещений, называется внутренней электропроводкой.

Согласно ПУЭ, провода и кабели внутренних электропроводок любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно

допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но отличных от нормальных режимов работы.

При выборе проводов и кабелей надо учитывать условия внешней среды в месте их прокладки, напряжение и ток нагрузки. Выбор производим по длительно допустимому току из условия

$$I_n < I_{\text{доп}} \quad (4.25)$$

Провода и кабели выбираются по известному току нагрузки  $I_n$  по таблицам длительно допустимого тока нагрузки.

Для двигателя:

$I_n = 22,3\text{А}$ , принимаем кабель марки ВВГ 4х4,  $I_{\text{доп}} = 41\text{А}$  [13]

$I_n < I_{\text{доп}}$ , условие выполняется.

#### 4.7 Схема управления

Схема электрическая принципиальная представлена на листе графической части №5. В схеме предусмотрен как ручной режим, так и автоматический, который выбирается с помощью переключателя SA. Автоматический режим делится на два принципа работы. Когда выбирается один из насосов как резервный или как основной, выбирается с помощью переключателя SA (режим 2 – насос 1 основной, насос 2 резервный, режим 3 – наоборот). При включении любого автоматического режима подключается реле времени KV1, которое своим контактом включает регулятор давления. Через регулятор давления происходит регулирование скорости вращения привода насоса посредством частотного преобразователя UP.

Контроль давления в системе осуществляется датчиком давления ВР, который воздействует своим контактом (при снижении ниже нормы) на реле времени КТ и через заданное время включается резервный насос. В ручном (наладочном режиме) режиме (SA в положении 1) управление осуществляется с помощью кнопок SB1-SB4.

Защита от аварийных режимов осуществляется с помощью автоматического выключателя QF и от перегрузки электродвигателя тепловое реле КК1 и КК2.

Для контроля фаз в сети предусмотрено реле контроля типа ФУЗ, на схеме обозначен как KV4.

Для защиты двигателей от неполнофазных и несимметричных режимов используют специальные фазочувствительные защиты. К таким защитами можно отнести токовую универсальную фазочувствительную защиту ФУЗ-М. Это устройство предназначено для защиты трехфазных электродвигателей от любых перегрузок с выдержкой времени, зависящей от перегрузки неполнофазных режимов. ФУЗ-М моментально срабатывает при обрыве фазы, а при симметричных перегрузках — с выдержкой времени, зависящей от размера перегрузки: 30...50с при 50%-ной перегрузке и 8...12с при заторможенном роторе двигателя.

В устройстве применен фазовый принцип выявления аварийных режимов работы электродвигателя, чем обеспечивается устойчивая работа устройства в условиях несимметричных трехфазных электросетей.

Фазочувствительность устройства защиты ФУЗ-М состоит из двух фазовращающих трансформаторов тока ТА1 и ТА2, фазового кольцевого детектора (УД1... УД4 и R1...R4), с косинусной характеристикой, реле защиты KV1 и схемы контроля перегрузки. Каждый фазовращающий трансформатор имеет две первичные обмотки с разным числом витков, включенные встречно в разные фазы питания электродвигателя.

Это обеспечивает определенный заданный угол фазового сдвига между вторичными, измеряемыми э.д.с. При работе двигателя в симметричном режиме угол фазового сдвига между этими э.д.с. равен  $90^\circ$ , что обеспечивается соотношением числа витков токовых обмоток 3:1. При этом на выходе кольцевого детектора (в катушке реле KV1) тока нет. Чем более несимметрична нагрузка двигателя тем больше будет фазовый сдвиг между

ними (э.д.с.), достигая 0 и 180° при обрыве фазы (крайний случай несимметрии) в зависимости от того в какой фазе произошел обрыв. При этом на выходе фазового детектора появится напряжение и реле KV1 сработает. Аналогично ФУЗ-М срабатывает при к.з. в электрических сетях.

Защита двигателя от перегрузки осуществляется контролем величины одного из измеряемых э.д.с. (ТА2), пропорционального токам двух фаз. При номинальной нагрузке эта э.д.с. недостаточна для открытия тиристора VS1 и напряжение на конденсаторе С1 отсутствует. При определенной перегрузке этот тиристор открывается и начинается зарядка конденсатора с постоянной времени  $T=R9 \cdot C1$ .

Чем больше э.д.с. тем меньше угол зажигания тиристора и, тем больше период его открытого состояния. При длительной нагрузке, когда конденсатор С1 до напряжения стабилизации VD5 заряжается, последний пропускает импульс, открывающий тиристор VS2, шунтирующий сопротивление R4 фазового кольцевого детектора. Детектор резко разбалансируется и ток разбаланса включает реле защиты KV1. Если перегрузка была кратковременной, то конденсатор разряжается через разрядное сопротивление R10 и защита не срабатывает.

Если двигатель не пускается (заклинивает), то через трансформаторы тока ТА1 и ТА2 протекают большие пусковые токи двигателя. Э.д.с. при этом достигает большого значения и конденсатор С1 быстро заряжается и защита срабатывает с небольшой выдержкой времени. Переменный резистор R7 служит для регулировки уставки устройства защиты соответственно номинальному току защищаемого электродвигателя,

Шкала переменного резистора R7 (установки номинального рабочего режима) градуирована от -0,35 до +0,35. Каждому делению шкалы соответствует определенный рабочий ток двигателя, соответственно которому выбирается определенный типоразмер защиты и положение шкалы переменного резистора.

## 5 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 5.1 Определение расчетных нагрузок

Расчет электрических нагрузок занимает важное место при проектировании электроснабжения промышленного предприятия. Так как их определение является одним из первых этапов проектирования, значение электрических нагрузок существенно влияют на выбор всех элементов системы электроснабжения.

Указания по проектированию электроснабжения промышленных предприятий рекомендуют для определения нагрузок при расчете цеховых цепей метод упорядоченных диаграмм.

Таблица 5.1 - Расчётные нагрузки на вводе

Наименование оборудования	Кол-во	$P_{уст.}$ , кВт	$P_{уст. max.}$ , кВт
Вентилятор	1	7,5	7,5
Насос центробежный сетевой	4	11	44
Дымосос	2	30	60
Дутьевой вентилятор	2	4	8
Осветительные установки	44	0,065	2,86
	14	0,04	0,56
	$\Sigma$		122,92

В соответствии с назначением электроприемников выбираем коэффициент мощности и коэффициент использования, полученные данные сводим в таблицу 5.2

Определяем потребляемую оборудованием активную мощность за смену

$$P_{см1} = K_{и1} \cdot P_{н.1}, \quad (5.1)$$

где  $P_{н.1}$ -номинальная активная групповая мощность одинаковых электроприемников,

Таблица 5.2 - Сводная ведомость нагрузок по объекту

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену						Нагрузка максимальная			
	$P_n$ , кВт	$n$	$P_n \Sigma$ , кВт	$K_n$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$m$	$P_{cm}$ , кВт	$Q_{cm}$ , квар	$S_{cm}$ , кВА	$n_{\sigma}$	$K_M$	$K'_M$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВА	$I_M$ , А
Насосы сетевые 1-го и 2-го контура	11	4	44	0,7	0,8	0,75	-	30,8	23,1	38	-	-	1,1	-	-	-	-
Дутьевой вентилятор	4	2	8	0,9	0,9	0,48	-	7,2	3,5	6,8	-	-		-	-	-	-
Вентилятор	7,5	1	7,5	0,7	0,9	0,33	-	5,25	1,7	5,3	-	-		-	-	-	-
Дымосос	30	2	60	0,7	0,75	0,67	-	42	28,4	52,9				-	-	-	-
Итого		17	119,5	0,73	0,88	-	24,5	85,2	94	102,9	3	1,21	1,1	124,5	67,1	142,3	216

$K_{н1}$  – коэффициент использования электроприемников.

$$P_{см1} = 0,7 \cdot 11 = 7,7 \text{ кВт}$$

Определяем реактивную мощность, потребляемую электроприемниками:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.2)$$

$$Q_{см} = 7,7 \cdot 0,33 = 2,54 \text{ кВА}$$

Для определения эффективного числа электроприемников необходимо

знать показатель силовой сборки в группе электроприёмников. Показатель

силовой сборки,  $m$  в группе равен

$$m = \frac{P_{н.\max}}{P_{н.\min}}, \quad (5.3)$$

где  $P_{н.\max}$ ,  $P_{н.\min}$  – номинальные активные мощности электроприёмников

наибольшего и наименьшего в группе, кВт.

$$m_1 = \frac{30}{4} = 7,5 \geq 3$$

Для определения эффективного числа электроприемников

применяются относительные единицы

$$n_s = \frac{\left( \sum_1^n P_n \right)^2}{\sum_1^n P_n^2} \quad (5.4)$$

Средний коэффициент использования группы электроприемников  $K_{н.ср}$  определяется по формуле

$$K_{н.ср} = \frac{P_{см} \Sigma}{P_n \Sigma}, \quad (5.5)$$

где  $P_{\Sigma \square}$  - сумма активных мощностей за смену в группе электроприемников, кВт;

$P_n \Sigma \square$  - сумма номинальных мощностей в группе, кВт.

$$K_{н.ср.} = \frac{85,2}{119,5} = 0,71$$

Далее находится максимальная активная нагрузка  $Q_m$ , квар

$$Q_m = K'_m \cdot Q_{\Sigma \square}, \quad (5.6)$$

где  $K'_m$  - коэффициент максимума реактивной нагрузки.

$$Q_{m1} = 1,1 \cdot 41,47 = 45,6 \text{ квар};$$

Максимальная полная нагрузка  $S_m$ , кВА определяется по формуле

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}, \quad (5.7)$$

Максимальный расчетный ток  $I_n$ , А, находится по формуле

$$I_n = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}, \quad (5.8)$$

где  $U_{л}$  - линейное напряжение питающей сети, В.

$$U_{л} = 0,38 \text{ кВ.}$$

$$I_n = \frac{142,3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 211 \text{ А}$$

## 5.2 Выбор мощности трансформатора

Выбор мощности трансформаторов производится по экономическим интервалам мощности, исходя их условия

$$S_{\text{эк. min}} \leq \frac{S_{\max}}{n} \leq S_{\text{эк. max}}, \quad (5.9)$$

$$126 \leq \frac{142,3}{1} \leq 245$$

Для питания электрической энергией объекта проектирования выбирается трансформаторная подстанция типа ТП-160 с трансформатором мощностью 160 кВА.

Технические характеристики трансформатора приведены в таблице 5.3

Таблица 5.3 - Технические характеристики трансформатора ТМ 160/10/0,4

Показатели	Единицы измерения	Значения
Номинальная мощность, $S_H$	кВА	160
Потери холостого хода, $\Delta P_{XX}$	кВт	0,46
Потери короткого замыкания, $\Delta P_K$	кВт	2,65
Напряжение короткого замыкания, $U_K$	%	4,5

Проверяют трансформаторы на следующие параметры:

Коэффициент допустимых систематических перегрузок  $K_{CH}$

$$K_{CH} \geq \frac{S_{max}}{n \cdot S_H}, \quad (5.10)$$

где  $S_{max}$  – расчетная максимальная мощность, кВА;

$S_H$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$n$  – число трансформаторов;

$K_{CH}$  – коэффициент, зависящий от вида нагрузки и максимальной мощности;  $K_{CH} = 1,6$ . [8]

$$\frac{193,9}{160} = 1,21;$$

$$1,6 \geq 1,21.$$

Условие выполняется, трансформатор выбран, верно.

### 5.3 Расчет и выбор сечения кабелей

Сечение кабелей выбирается с учетом следующих требований:

1) кабели не должны нагреваться сверх допустимой температуры при

протекании по ним расчетного тока нагрузки;

2) отклонение напряжения на зажимах электроприемников не должны превышать (-2,5...+5%) для осветительной нагрузки и 5% для силовой;

3) кабели должны обладать достаточной для данного вида сети механической прочностью;

4) аппараты защиты должны обеспечивать защиту всех участков сети от коротких замыканий;

Расчетная максимальная токовая нагрузка определяется по формуле

$$I_{max} = \frac{P_{max} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{ил} \cdot \cos \varphi}, \quad (5.11)$$

где  $P_{max}$  - расчетная максимальная нагрузка, кВт;

$U_{ил}$  - номинальное линейное напряжение, В;

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности нагрузки.

Производится расчет нагрузки кабеля

$$I_n = \frac{124500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 210,5 \text{ А.}$$

Определяется сечение кабеля на вводе по длительно допустимому току нагрева

$$I_{дл. доп} \geq I_n, \quad (5.12)$$

где  $I_{дл. доп}$  - длительно допустимый ток выбранного кабеля, А [14].

Выбирается кабель с медной жилой типа ВРБ 4х95 с длительно допустим ток 330 А.

$$330 \text{ А} > 210 \text{ А} - \text{условие выполняется.}$$

#### 5.4 Проверка выбранного сечения по допустимой потере напряжения

Расчет потерь напряжения для линий напряжением менее 1000 В

выполняется по формуле

$$\Delta U\% = \frac{10^5 \cdot P \cdot l}{U_{\text{нл}}^2 \cdot \gamma \cdot S}, \quad (5.13)$$

где  $P$  - мощность приемника, присоединенного к сети, кВт;

$l$  - длина участка сети, м;

$S$  - сечение жил кабеля, мм<sup>2</sup>;

$\gamma$  - удельная проводимость, Ом м;

$U_{\text{нл}}$  - линейное номинальное напряжение, В.

Для участка сети

$$\Delta U\% = \frac{10^5 \cdot 124,5 \cdot 200}{380^2 \cdot 95 \cdot 95} = 2,86$$

### 5.5 Расчет токов короткого замыкания

Трехфазное короткое замыкание в точке К1 определяется для выбора оборудования стороны 10кВ, а в точках К2 для выбора защитной аппаратуры по отходящей кабельной линии.

Определяется активная составляющая напряжения короткого замыкания  $U_a\%$

$$U_a\% = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{S_n} \cdot 100\%,$$

где  $\Delta P_{\text{кз}}$  - потери короткого замыкания трансформатора, кВт

$S_n$  - номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$U_a\% = \frac{2,65}{160} \cdot 100 = 1,65\%$$

Реактивная составляющая  $U_p\%$  находится

$$U_p\% = \sqrt{(U_k\%)^2 - (U_a\%)^2} \quad U_p\% = \sqrt{(4,5\%)^2 - (1,65\%)^2} \quad (5.14)$$

где  $U_k\%$  - напряжение короткого замыкания трансформатора, кВт

$$U_p\% = \sqrt{(4,5)^2 - (1,65)^2} = 4,18\%$$

Активное  $R_{mp}$ , кОм и индуктивное  $X_{mp}$ , кОм определяются по формулам

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U^2}{S_H^2}, \quad (5.15)$$

$$X_{mp} = \frac{U_p \% \cdot U^2}{100 \cdot S_H} \quad (5.16)$$

$$R_{TP} = \frac{2,65 \cdot 0,38^2}{160^2} = 0,000015$$

$$X_{TP} = \frac{4,18 \cdot 0,38^2}{100 \cdot 160} = 0,000037$$

Определяется полное сопротивление трансформатора,  $Z_{mp}$ , кОм

$$Z_{mp} = \sqrt{R_{mp}^2 + X_{mp}^2}, \quad (5.17)$$

$$Z_{TP} = \sqrt{0,000015^2 + 0,000037^2} = 0,000039$$

В точке К1 ток трехфазного короткого замыкания  $I_{K \text{ К1}}^{(3)}$ , кА, определяется

$$I_{K \text{ К1}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot \sum Z}, \quad (5.18)$$

где  $Z_{\Sigma}$  - суммарное сопротивление до точки короткого замыкания, кОм

$$\sum Z = Z_{TP} + Z_K, \quad (5.19)$$

где  $Z_K$ - сопротивление переходных контактов,  $Z_K = 0,015 Z_{mp} = 0,015$

$$\sum Z = 0,000039 + 0,015 = 0,01503$$

$$I_{K \text{ К1}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,01503} = 15,3 \text{ кА},$$

В точке К2 ток трехфазного короткого замыкания рассчитывается

$$I_{K \text{ К2}}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot (Z_{TP} + Z_L + Z_K)}, \quad (5.20)$$

$$I_{K \text{ К2}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot (0,000039 + 0,024 + 0,015)} = 5,9 \text{ кА},$$

$$Z_L = Z_K + \sqrt{R_{Л1}^2 + X_{Л1}^2}, \quad (5.21)$$

где  $R_{Л1}$ ,  $X_{Л1}$  – активное и реактивное сопротивление линии, Ом.

$$R_{Л1} = l_1 \cdot R_0, \quad (5.22)$$

где  $l_1$  – длина линии Л-1, км;

$R_0$  – активное сопротивление 1км линии, Ом/км,  $R_0 = 0,19$  Ом/км). [ ]

$$\begin{aligned} R_{Л1} &= 0,2 \cdot 0,19 = 0,038 \text{ Ом}; \\ X_{Л1} &= l_1 \cdot X_0, \end{aligned} \quad (5.23)$$

где  $X_0$  – реактивное сопротивление 1км линии,  $X_0 = 0,06$  Ом/км. [ 21]

$$\begin{aligned} X_{Л1} &= 0,2 \cdot 0,06 = 0,012 \text{ Ом}; \\ Z_{Л1} &= 0,015 + \sqrt{0,038^2 + 0,012^2} = 0,0016 \text{ Ом}; \\ I_{к2}^{(3)} &= \frac{1,05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot (0,0016 + 0,000039 + 0,015)} = 13103 \text{ А} \end{aligned}$$

Для проверки рассчитываем ток однофазного кз  $I_{К К2}^{(1)}$ , кА

$$I_{К К2}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{Л1} + \frac{Z_{ТП}^{(1)}}{3}}, \quad (5.24)$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение,  $U_{\phi} = 220$  В;

$Z_{Л1}$  – сопротивление петли «фаза-ноль», мОм.

$$Z_{Л1} = 2 \cdot Z_{Л}, \quad (5.25)$$

$$Z_{Л1} = 2 \cdot 0,024 = 0,048 \text{ Ом};$$

где  $Z_n$  - полное сопротивление петли «фаза – нулевой провод», Ом

$$\frac{Z_{ТП}^{(1)}}{3}$$

- треть сопротивление силового трансформатора при однофазном

замыкании на корпус,  $\frac{Z_{ТП}^{(1)}}{3} = 0,000013$   $\frac{Z_{мп}^{(1)}}{3} = 0,014$  Ом

$U_{\phi}$  - фазное напряжение сети, В

$$I_{К К2}^{(1)} = \frac{220}{0,048 + 0,000013} = 4,58 \text{ кА},$$

## 5.6 Выбор защитной аппаратуры

В качестве устройств защиты отходящих линий 0,4 кВ используются плавкие вставки предохранителя типа ПН-2, ППН.

Плавкие вставки предохранителей выбираются по следующим параметрам:

- номинальное напряжение предохранителя -  $U_{пр}$ , В;
- ток плавкой вставки предохранителя -  $I_{пл.вст.}$ , А;
  
- ток отключения -  $I_{откл.}$ , А,
- коэффициент чувствительности защиты -  $K_{чувств.}$ .

По напряжению

$$U_{пр} \geq U_{уст.} \quad (5.26)$$

Для линии выбирается предохранитель ППН с номинальным напряжением  $U_{н.пред.} = 380$  В. Выбор плавкой вставки.

$$I_{р. max} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (5.27)$$

$$I_{пл. вст} \geq 1,1 \cdot I_{р. max}, \quad (5.28)$$

$$I_{р. max} = \frac{142300}{\sqrt{3} \cdot 380} = 211 \text{ А}$$

Принимается ток плавкой вставки предохранителя  $I_{пл. вст} = 250$  А.

Условие чувствительности определяется коэффициентом чувствительности защиты

$$K_{чувств} = \frac{I_{КЗ}^{(1)}}{I_{пл. вст}} \geq 3, \quad (5.29)$$

$$K_{чувств} = \frac{4580}{250} = 18,3 > 3$$

Выбранный предохранитель для линии удовлетворяет предъявленным условиям, обеспечивают своевременную и достаточно надежную защиту.

## 6 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

### 6.1 Организация технической эксплуатации электрооборудования

Важнейшей составляющей частью проблемы повышения надежности и экономичности эксплуатации сельских электроустановок является система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий (ППРЭСх).

Система технического обслуживания представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта, а также исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту схему.

Для технического обслуживания электрооборудования создается электротехническая служба, основной обязанностью которой является поддержание электрооборудования в работоспособном состоянии путём своевременного проведения текущих ремонтов и технического обслуживания.

### 6.2 Расчёт числа электромонтеров и объёма работ

Условной единицей электрооборудования (у. е. э.) называется отношение усредненных годовых трудоёмкостей технического обслуживания и ремонта различных видов электрооборудования к годовой трудоёмкости

технического обслуживания и ремонта базовой электроустановки, принятой за эталон.

Перевод электротехнического оборудования, приведённого в карте учёта электрооборудования, в условные единицы,  $Q$ , выполняется по нормам, приведённым в приложении [19], по коэффициентам перевода,  $K_{п}$ .

Также для расчёта условных единиц оборудования принимается во внимание коэффициент сменности,  $K_{см}$ , и коэффициент сезонности,  $K_{сз}$ . Используя эти данные, по формуле (6.1), рассчитываем число условных единиц.

$$Q = A \cdot K_{п} \cdot K_{см} \cdot K_{сз} , \quad (6.1)$$

где  $A$  - число физических единиц;

$K_{см}$  – коэффициент сменности. При смене менее 6 часов в сутки  $K_{см} = 0,85$ , при смене более 10 часов в сутки  $K_{см} = 1,2$ , в остальных случаях  $K_{см} = 1$ ; [19]

$K_{сз}$  – коэффициент сезонности. При сезонности менее 4-х месяцев в год  $K_{сз} = 0,7$ , в остальных случаях  $K_{сз} = 1$ ; [19]

Исходные данные и результаты расчётов сводятся в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Карта учета и расчет объема электрооборудования

Электрооборудование	Кол-во	Ед.изм	Мощность, кВт	$K_{п}$	$Q_{уд.ед.}$
Вентилятор	1	шт.	7,5	1,2	7,2
Насос центробежный сетевой	4	шт.	11	0,36	1,44
Дымосос	2	шт.	30	5,6	11,2
Дутьевой вентилятор	2	шт.	30	1,08	2,16
Щит силовой и осветительный	10	присоед.		1,5	15
Сеть кабельных линий до 1 кВ	0,23	км		1,29	0,30
Сеть осветительная	0,36	км		1,29	0,46
Светильники	36	шт.		0,86	30,96
					$\Sigma = 59,68$

Примерное число электромонтёров  $n$  определяется по формуле

$$n = \frac{\sum Q}{a}, \quad (6.2)$$

где  $\sum Q$  – сумма условных единиц по всему хозяйству;

$a$  - число у. е. э. на одного электромонтёра. При рассредоточении объектов обслуживания на большой площади  $a = 70$  у.е.э.; при сосредоточении электрооборудования в одном месте  $a = 100$  у.е.э.

$$n = \frac{59,7}{70} = 0,98$$

Принимаем для обслуживания электроустановок одного электромонтера.

### 6.3 Расчет трудоемкости ТО, ТР, ОО электрооборудования на год

Годовая трудоемкость на проведения ТР  $Q_{тр}$ , чел/час определяется по формуле

$$Q_{тр} = A \cdot g_{тр} \cdot m_{тр}, \quad (6.3)$$

где  $A$  – количество электрооборудования, шт.;

$g_{тр}$  – норма трудоемкости ТР, чел/час;

$m_{тр}$  – число ТР в год, шт.;

$$m_{тр} = \frac{12}{t_{тр}}, \quad (6.4)$$

где 12 – число месяцев в году;

$t_{тр}$  – периодичность ТР и ТО, мес.

Годовая трудоемкость ТО  $Q_{то}$ , чел/час определяется по формуле

$$Q_{то} = A \cdot g_{то} \cdot m_{то}, \quad (6.5)$$

где  $g_{то}$  – норма трудоемкости ТО, чел/час;

$m_{то}$  – число ТО в год, шт.

$$m_{то} = \frac{t_u}{t_{то}} - m_{тр}, \quad (6.6)$$

где  $t_{и}$  – период использования электрооборудования, мес.;  $t_{и} = 12$  мес.;

$t_{то}$  – периодичность ТО, мес.

Годовая трудоемкость ОО,  $Q_{oo}$ , чел/час находится по формуле

$$Q_{oo} = (Q_{то} + Q_{тр}) \cdot 0,15 \quad (6.7)$$

Таблица 6.2 - Определение трудоемкости

Электро- оборудование	Кол-во, шт	Периодич- ность мес.		Трудоем- кость чел/час		Годовая трудоемкость, чел/час		
		ТО	ТР	ТО	ТР	ТО	ТР	ОО
Дымосос	2	3	12	0,6	6,1	1,8	6,1	1,18
Насос центробежный сетевой	4	3	24	0,8	14,4	22,4	57,6	12
Вентилятор	1	3	24	0,7	16,6	19,6	26,4	6,9
Светильники	36	3	12	0,13	0,3	133,3	102,6	35,3
Дутьевой вентилятор	2	3	24	0,8	14,4	5,6	14,4	3
ИТОГО						3984,15		

Уточненный расчет числа электромонтеров

Численность электромонтеров  $N$ , чел. определяется по формуле

$$N = \frac{Q_{нед.}}{t_{нед.}}, \quad (6.8)$$

где  $Q_{нед.}$  – годовая трудоемкость, чел./нед.;

$t_{нед.}$  – количество запланированного времени в год, нед.

$$Q_{нед.} = \frac{\sum Q}{40}, \quad (6.9)$$

где  $\sum Q$  – сумма годовой трудоемкости, чел./ч

Таблица 6.3-Годовой график технического обслуживания и ремонта электрооборудования

	I квартал		II квартал
--	-----------	--	------------

Шифр	недели																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1-2			0												0												
3-4				0									0											0			
5					0													0									

Продолжение таблицы 6.3

Шифр	III квартал													IV квартал													
	недели																										
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
1-2			0												0												
3-4							0											Δ									
5					0											0											

Примечания: ТО - 0; ТР - Δ.

#### 6.4 Эксплуатация центробежных насосов

Многие рационально спроектированные и качественно смонтированные системы становятся не эффективными вследствие неправильной их эксплуатации. Одна из причин неудовлетворительной эксплуатации - неправильное подключение электрических подводок к двигателю. В случае если шум насоса превышает установленные нормы, следует осуществить мероприятия, направленные на снижение шума. Источником шума обычно служит вибрация вентилятора или электродвигателя, подшипников, приводов или других неотрегулированных элементов установки. Для устранения этих вибраций следует:

- отбалансировать рабочее колесо или ротор электродвигателя;
- устранить биение шкивов или соединительных муфт, перекосы клиноременных или плоскоременных передач;
- заменить неисправные подшипники вентилятора;

- установить вентилятор и электродвигатель на виброизолирующее основание;
- соединить входное и выходное отверстия кожуха вентилятора с воздуховодами с помощью мягких вставок;
- сделать разрывы между фундаментами под вентиляционное оборудование и несущими конструкциями здания;
- укрыть при необходимости в камере со звукоизолирующими стенками вентилятор и электродвигатель.

Для продолжительной и устойчивой работы установок необходимо правильно организовать систему ремонта оборудования и квалифицированное обслуживание его. Своевременный и качественный профилактический ремонт повышает долговечность оборудования, предупреждает возможность неожиданного выхода из строя агрегатов и всей системы.

Обслуживание сетевых насосов включает как межремонтные проверки, так и периодические ремонты, к которым относятся периодические чистки вентиляционного оборудования, плановые осмотры и ремонты, плановые технические испытания. Плановые ремонты бывают текущие и капитальные. При межремонтном обслуживании наблюдают за состоянием оборудования.

Периодическую чистку оборудования проводят по специальному графику, разработанному отделом главного механика. При чистке оборудования отдельные агрегаты или детали разбирают полностью. В инструкции по проведению очистки каждого агрегата указаны порядок разборки, способ чистки и порядок сборки.

Плановые технические испытания - это профилактическое мероприятие, проводимое по специальному плану. Периодичность таких испытаний зависит от режима работы системы. Плановый осмотр установок служит для выявления дефектов, подлежащих устранению при очередном ремонте. Во время осмотра устраняют мелкие дефекты, в случае

необходимости смазывают отдельные узлы. Осмотры проводят как при работе системы, так и при ее остановке. Малые и средние ремонты являются основными видами планово-предупредительного ремонта. При текущем ремонте устраняют различные дефекты и повреждения, заменяют некоторые детали, чистят узлы и систему. Все работы выполняют на месте установки в сравнительно небольшие сроки.

## 7 ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

### 7.1 Расчет индивидуальных средств защиты

Электробезопасность, — система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие на работающих от электрического тока. Электрическая безопасность включает в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Правила электробезопасности регламентируются правовыми и техническими документами, нормативно-технической базой. Знание основ электробезопасности обязательно для персонала, обслуживающего электроустановки и электрооборудование.

Производственные электроустановки напряжением до 1000 В должны комплектоваться защитными средствами.

Расчет средств защиты, применяемых в электроустановках, производится в соответствии с «Нормами комплектования средствами защиты», изложенными в приложении Б П.1 «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» [4] и сводится в таблицу 7.1.

Все электрoзащитные средства должны использоваться по назначению и на напряжение, не превышающее указанного на них класса. Основные электрoзащитные средства следует использовать в закрытых помещениях, а в открытых электрoустановках и на ВЛ - только в сухую погоду

Таблица 7.1 - Средства защиты

Наименование средств защиты	Марка, тип	Потребное количество шт., пар.	Место хранения
Изолирующие штанги	ГОСТ 20499-75	2	Складское помещение
Изолирующие и электроизмерительные клещи	ГОСТ 9071-79	2	Складское помещение
Указатели напряжения	УННУ-1 УВН -10	2 1	Складское помещение
Диэлектрические перчатки		3	Складское помещение
Диэлектрические боты	ГОСТ 13385-78	2	Складское помещение
Монтёрский инструмент с изолирующими рукоят-ками	ГОСТ 11516-79	10	Складское помещение
Диэлектрические резиновые коврики	ГОСТ 4997-75	10	Складское помещение
Плакаты и знаки по технике электробезопасности	ГОСТ 12.4.026-76	3	Складское помещение
Переносные заземления	ЩЗП	2	Складское помещение

## 7.2 Молниезащита объекта

Согласно указаниям по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений, здание негорюемое и относится ко II категории огнестойкости.

Ожидаемое количество поражений молнией в год  $N$ , шт. определяется по формуле

$$N = [(S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) - 7,7 \cdot h^2] \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (7.1)$$

где  $S$  и  $L$  – ширина и длина здания соответственно, м;

$h$  – наибольшая высота здания, м;

$n$  – среднегодовое число ударов молнии в  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности в месте нахождения здания.

$$N_m = [(30 + 6 \cdot 14,8) \cdot (91,5 + 6 \cdot 14,8) - 7,7 \cdot 14,8^2] \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,08.$$

Для защиты от прямого удара молнии применяем стержневой молниеотвод. Сечение стального стержня  $200 \text{ мм}^2$ , соединяем с заземлителем с помощью токоотвода из стальной катанки диаметром не ниже  $10 \text{ мм}$ .

Определим высоту молниеотвода  $H$

$$H > 2R_x/3 + H_x/0,92, \quad (7.2)$$

где  $R_x$  - радиус круга горизонтального сечения зоны защиты, м;

$H_x$  – высота зоны защиты

Принимаем  $H = 21 \text{ м}$ .

Вершина зоны  $H_0 = 0,92H = 19,32 \text{ м}$ .

Радиус на уровне земли  $R_0 = 1,5H = 31,5 \text{ м}$ .

### 7.3 Расчёт заземляющего устройства

Защитное заземление — преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетокопроводящих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением.

Защитное заземление применяется в сетях напряжением до  $1000 \text{ В}$  переменного тока — трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью; однофазные двухпроводные, изолированные от земли; двухпроводные сети постоянного тока с изолированной средней точкой обмоток источника тока; в сетях выше  $1000 \text{ В}$  переменного и постоянного тока с любым режимом нейтрали.

Заземляющее устройство выполнить в виде замкнутого контура из стальной полосы с прямоугольным поперечным сечением  $40 \times 4 \text{ мм}$  с вертикальными электродами диаметром  $0,02 \text{ м}$  и длиной  $5 \text{ м}$ , уложенного на глубине  $0,8 \text{ м}$  от поверхности земли. Заземляющее устройство находится в первой климатической зоне России. Среднегодовая продолжительность гроз составляет  $20$  часов.

Задача расчета – определение числа вертикальных электродов и

соответствующее их размещение для получения нормируемого сопротивления заземляющего устройства,  $R_z$ , Ом, при известных удельных сопротивлениях земли.

Согласно действующим ПУЭ сопротивление заземляющих устройств в случаях присоединения к заземляющему устройству нейтралей обмоток напряжением 380/220 В трансформаторов сопротивление контура заземления должно быть не более 4 Ом.

Расчет производится в следующем порядке.

1. Определение сопротивления одиночного вертикального электрода, в зависимости от расположения заземлителя:

– вертикальный, из круглой стали, верхний конец ниже поверхности земли

$$R_{BO} = \frac{\rho_{pg}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \left( \ln \frac{2 \cdot \ell}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{L \cdot t + \ell}{L \cdot t - \ell} \right), \quad (7.3)$$

где  $\rho_{pg}$  - удельное сопротивление грунта вертикальных заземлителей, Ом м,

для суглинка  $\rho_{pg} = 300$  Ом·м;

$\ell$  - длина вертикального заземлителя, м,  $\ell = 5$  м;

$L$  - длина по периметру закладки; м,  $L = 144$  м;

$d$  - диаметр электрода, м,  $d = 0,02$  м;

$t$  - глубина заложения заземлителя, м,  $t = 3,3$  м.

$$R_{BO} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} g \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,02} + 0,5 \cdot \ln \frac{144 \cdot 3,3 + 5}{144 \cdot 3,3 - 5} \right) = 63,2 \text{ Ом}$$

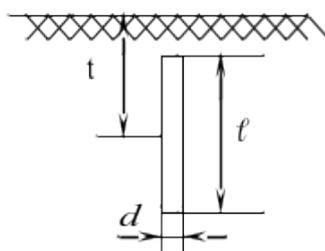


Рисунок 7.1- Схема размещения вертикального электрода с углублением

2. Определение сопротивления горизонтальной заземляющей полосы  $R_{\Gamma}$ , Ом

– горизонтальный, из полосовой стали, приложенный, ниже уровня земли

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{пр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\Gamma}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}, \quad (7.4)$$

где  $\rho_{\text{пр}}$  - удельное сопротивление грунта горизонтальных заземлителей, Ом·м

для глины  $\rho_{\text{пр}} = 100$  Ом·м

$b$  - ширина полосы, м, 0,04 м.

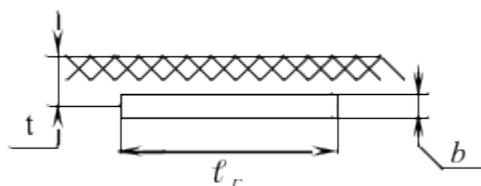


Рисунок 7.2 - Схема размещения горизонтального электрода

$$R_{\Gamma} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 144} \cdot \ln \frac{2 \cdot 144^2}{0,04 \cdot 0,82} = 4,7 \text{ Ом}$$

3. Определение примерного количества вертикальных заземлителей при принятом  $R_3 = 4 \text{ Ом}$

$$n = \frac{R_{\text{в.о}}}{R_3}, \quad (7.5)$$

$$n = \frac{63,2}{4} = 15,8 \approx 16$$

Принимаем значение  $n = 16$  шт.

4. Определение уточненного сопротивления вертикального

заземлителя

$$R_B = \frac{R_\Gamma \cdot R_3}{R_\Gamma - R_3}, \quad (7.6)$$

$$R_B = \frac{4,7 \cdot 4}{4,7 - 4} = 26,8 \text{ Ом}$$

5. Уточнение количества вертикальных заземлителей

$$n_y = \frac{R_{B,0}}{R_B}, \quad (7.7)$$

$$n_y = \frac{63,2}{26,8} = 2,35$$

Окончательное число  $n_o$  вертикальных заземлителей принимают из условия их размещения, но не меньше чем  $n_y$ .

6. Результирующее сопротивление заземляющего устройства

$$R_K = \frac{1/n_o \cdot R_{B,0} \cdot R_\Gamma}{1/n_o \cdot R_{B,0} + R_\Gamma} \leq R_3, \quad (7.8)$$

$$R_K = \frac{1/16 \cdot 63,2 \cdot 4,7}{1/16 \cdot 63,2 + 4,7} = 3,98 \text{ Ом}$$

Условие выполняется

$$R_K \leq R_3$$

7.4 Техника безопасности и охрана труда при производстве электромонтажных работ

Мероприятия по защите людей от поражения электрическим током сводятся к следующим основным правилам:

а) силовые шкафы и щиты управления размещаются в специальных

помещениях, куда не допускаются посторонние люди;

б) силовое оборудование подвергается периодической проверке в соответствии ПТЭ и ПТБ;

в) все токоведущие части электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие пробоя изоляции или обрыва фазы, зануляются;

г) вся пускозащитная аппаратура выбирается с защищённостью не ниже IP54;

д) в проекте предусматривается аварийное отключение всех электроустановок;

е) к проведению технического обслуживания и текущего ремонта электроустановок допускаются работники, прошедшие специальную подготовку и успешно сдавшие экзамен по электробезопасности.

ж) работы с напряжением до 1000 В необходимо проводить инструментом с надёжно изолированными рукоятками. Изоляция должна проводиться в виде чехла и несъёмного покрытия на основе влаго-, масло-, бензостойкого и электроизоляционного материала. По существующим правилам, длина изоляции рукояти должна быть не менее 100 мм, а изоляция отвёрток заканчиваться на расстоянии не больше 10 мм до конца лезвия;

з) перед началом работы с электроинструментом, следует удостовериться, что: пробивать отверстия и борозды в стенах, перекрытиях с электропроводкой, выполнять иные работы, чреватые повреждением изоляционного покрытия кабелей (монтировать те же водопроводные трубы), можно лишь после отключения их от источников питания.

и) все винты и крепящие детали должны быть хорошо затянуты;

к) изоляция и провода электроинструмента не должны иметь повреждений или изломов проводов;

л) использовать неисправные электрические инструменты запрещено;

м) одним из главных условий безопасной эксплуатации электроустановок является исправное состояние изоляции проводов, кабелей, обмоток электропотребителей, конструкций распределительных устройств, пусковой и осветительной аппаратуры, а также надежно выполненное заземление.

#### 7.5 Действие электротехнического персонала при возникновении чрезвычайных ситуаций

При возникновении аварийной ситуации электромеханик и электромонтер обязаны прекратить работу, произвести отключения питания с неисправного оборудования (аппаратуры, стенда), если необходимо - произвести ограждение опасного места и немедленно сообщить о случившемся старшему электромеханику или другому вышестоящему руководителю и далее выполнять его указания по предупреждению несчастных случаев или устранению возникшей аварийной ситуации.

Электромеханик и электромонтер, находящиеся поблизости, по сигналу тревоги обязаны немедленно явиться к месту происшествия и принять участие в оказании первой помощи пострадавшим или устранении возникшей аварийной ситуации.

При ликвидации аварийной ситуации необходимо действовать в соответствии с утвержденным планом ликвидации аварий.

При срабатывании в помещении автоматической установки пожарной сигнализации электромеханик/электромонтер должен:

- прекратить все работы, которые велись на текущий момент;
- отключить электроприборы, оборудование и электроинструмент;
- отключить вентиляцию;
- выявить причину срабатывания сигнализации.

## 8 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

Главными показателями, характеризующими эффективность от внедрения предлагаемых вариантов электрификации и автоматизации производственных процессов на промышленных объектах, являются:

- повышение производительности труда;
- снижение себестоимости продукции;
- сокращение трудозатрат за счет уменьшения доли ручного труда в производственных процессах;
- срок окупаемости дополнительных капитальных вложений за счет сокращения производственных затрат;
- получение дополнительной продукции.

Темой выпускной квалификационной работы является модернизация электропривода сетевого насоса котельной. Данная модернизация позволит экономить электроэнергию в пределах 10-15% за счет внедрения частотного регулирования [27, 29 ].

### 8.1 Определение капитальных вложений

Для определения капитальных вложений на технологическое оборудование составляется смета, в которой указываются наименование, количество и цена электротехнологического оборудования, приведенная в таблице 8.1

$$KB = C_{об} \cdot K_{MT}, \quad (8.1)$$

где  $K_{\text{MT}}$  – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж и транспортно-складские расходы;

$$K_{\text{MT}} = 1 + K_{\text{M}} + K_{\text{ТС}}, \quad (8.2)$$

где  $K_{\text{M}}$  – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж,  $K_{\text{M}} = 0,18$ ;

$K_{\text{ТС}}$  - коэффициент, учитывающий транспортно складские затраты,

$K_{\text{ТС}} = 0,1$ .

$$K_{\text{MT}} = 1 + 0,18 + 0,1 = 1,28$$

Таблица 8.1-Смета на электротехнологическое оборудование

Наименование показателя	Кол-во	Цена, тыс.руб	Стоимость, тыс. руб.
1. Преобразователь частоты	2 шт.	14,5	29
2. Провод	30 м.	0,04	1,2
3. Щит управления	2 шт.	13,7	27,4
Итого:			57,6

$$KB = 57,6 \cdot 1,28 = 73,7 \text{ тыс.руб.}$$

## 8.2 Определение текущих эксплуатационных затрат

Затраты на электрическую энергию  $Z_{\text{эл}}$ , руб определяются по формуле

$$Z_{\text{эл}} = P \cdot N \cdot Ц, \quad (8.3)$$

где  $P$  – потребляемая мощность оборудования, кВт, частотный преобразователь потребляет по техническим данным  $P = 0,25$  кВт;

$N$  – число часов работы в год, ч;

$Ц$  – цена электрической энергии, руб./кВт·ч.;

$$Z_{\text{эл}} = 0,25 \cdot 5760 \cdot 6,18 = 8900 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату труда  $Z_{от}$

$$Z_{от} = T_ч \cdot K_p \cdot K_n \cdot K_d \cdot N_d, \quad (8.4)$$

где  $T_ч$  – часовая тарифная ставка, руб;

$K_p$  – районный коэффициент,  $K_p = 1,5$ ;

$K_n$  – коэффициент, учитывающий социальные выплаты,  $K_n = 1,3$ ;

$K_d$ -коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда,  $K_d = 1,4$ ;

$N$  – количество часов на обслуживание оборудования, чел.-ч/год.

$$Z_{от} = 100 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 64 = 13980 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизацию оборудования,  $Z_a$ , руб.

$$Z_a = \frac{C_{об} \cdot N}{100}, \quad (8.5)$$

где  $C_{об}$  – стоимость оборудования, руб;

$N$  – норма амортизации, %;

$$Z_a = \frac{57600 \cdot 10}{100} = 5760 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт принимаются равными норме амортизации, если оборудование не требует повышенных затрат на текущий ремонт и они составляют

$$Z_p = Z_a = 5760 \text{ руб.}$$

Итого общие эксплуатационные затраты составляют

$$Z_э = Z_{от} + Z_э + Z_p + Z_a; \quad (8.6)$$

$$Z_э = 13980 + 5760 + 5760 + 8900 = 34400 \text{ руб.}$$

При применении частотного регулирования предполагается экономия электрической энергии на 10%.

$$\Delta_{ээ} = P_{уст} \cdot N \cdot \Delta \cdot K, \quad (8.7)$$

где  $P_{уст}$  – мощность установки,  $P = 11$  кВт;

$\Delta_{ээ}$  – экономия затрат на электроэнергию, руб.;

$K$  - коэффициент учитывающий снижение энергопотерь, 0,15.

$$\Delta_{ээ} = 11 \cdot 5760 \cdot 6,18 \cdot 0,15 = 58756 \text{ руб.}$$

### 8.3 Определение экономической эффективности внедрения частотного регулирования

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_{3э} - \mathcal{E}_э, \quad (8.8)$$

$$\mathcal{E}_r = 58756 - 34400 = 24\,356 \text{ руб.}$$

Определение срока окупаемости капиталовложений

$$T_{KB} = \frac{KB}{\mathcal{E}_э}, \quad (8.9)$$

где KB - капиталовложения, руб.;

$\mathcal{E}_э$  - годовой экономический эффект, руб.

$$T_{KB} = \frac{73700}{24356} = 3,02 \text{ лет.}$$

Определение коэффициента экономической эффективности

$$K_э = \frac{1}{T_{KB}}, \quad (8.10)$$

$$K_э = \frac{1}{3,02} = 0,33$$

Таблица 8.2-Экономическая эффективность от внедрения частотного регулирования сетевого насоса котельной

Показатели	Значения
Капитальные вложения, тыс. руб.	73,7
Эксплуатационные затраты, тыс. руб.	34,4
Экономия затрат на электроэнергию, тыс.руб.	58,8
Годовой экономический эффект, тыс. руб.	24,4
Срок окупаемости, лет	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	0,33

Капиталовложения в разработанный проект составили 73700 рублей, эксплуатационные затраты – 34400 рублей, годовой экономический эффект вследствие внедрения проектируемой установки составил 24400 рублей. Коэффициент эффективности капиталовложений (0,33) и срок окупаемости

установки (3 года) позволяют сделать вывод, что данный проект будет выгоден в современных рыночных условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объектом проектирования является котельная ООО «ЭнергоСетьПроект» г. Благовещенска. Цель работы – реконструкция, расчет и разработка управления сетевого насоса с применением частотного регулирования. В работе была предложена схема управления привода насоса при помощи частотного преобразователя. Это позволит значительно сэкономить на электроэнергии, что показали расчеты экономического обоснования проекта, а также обеспечит плавный пуск электропривода и снизит влияние гидроударов при пуске.

Как следствие выше перечисленных действий предполагаются следующие позитивные факторы: сокращение производственных затрат и оснащением производства новым более совершенным и экономичным электрооборудованием.

Для обеспечения непрерывности технологического процесса необходимо осуществлять соответствующие меры по ремонту и техническому обслуживанию электрооборудования, а также разъяснять работникам предприятия правила и особенности эксплуатации электрооборудования.

Так же необходимо обеспечивать возможность безопасной эксплуатации электрооборудования работниками предприятия, и плановые мероприятия по охране труда.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. Учеб. пособие для вузов / И.И. Алиев. - М.: Высшая школа, 2016. - 255 с., ил.
2. Аполлонский, С.М. Электрические аппараты автоматики: учебное пособие / С.М. Аполлонский, Ю.В. Куклев. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 228 с.
3. Баев, В. И. Светотехника: практикум по электрическому освещению и облучению : учебное пособие / В. И. Баев. — 2-е изд., испр. и доп. — М: Изд. – во Юрайт, 2019. — 195 с
4. Безопасность жизнедеятельности: учебник / под ред. проф. Э.А. Арустамова. - М.: Издательско-торговая корпорация "Доликов и К°", 2012. -496 с.
5. Беляков, Г. И. Электробезопасность : учебное пособие / Г. И. Беляков. — М: Изд. – во Юрайт, 2020. — 125 с.
6. Бородин. И.Ф. Автоматизация технологических процессов./ И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – М.: Изд. – во «КолосС», 2012. -344 с.
7. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства./ И. А Будзко. -

- М.: Изд. – во «Колос», 2007. -536 с.
8. Быстрицкий, Г. Ф. Электроснабжение. Силовые трансформаторы: учебное пособие / Г. Ф. Быстрицкий, Б. И. Кудрин. — 2-е изд., испр. и доп. — М: Юрайт, 2020. — 201 с.
  9. Воякин, С. Н. Электропривод: учебное пособие / С. Н. Воякин, В. И. Воронцов. - Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. - 124 с.
  10. Дайнеко, В.А. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики: учебное пособие / В.А. Дайнеко, Е.П. Забелло, Е.М. Прищепова. — Минск: Новое знание, 2014. — 333 с
  11. Дементьев, Ю. Н. Электрический привод : учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев. — 2-е изд. — М: Изд. – во Юрайт, 2020 – 223 с
  12. Кисаримов Р. А. Справочник электрика. / Р. А Кисаримов - М.: Изд. центр «РадиоСофт», 2018 г.
  13. Козинский В.А. Электрическое освещение и облучение. / В.А Козинский – М.: Изд. – во «КолосС», 2010.
  14. Козлов, А.В. Проектирование систем электрификации. Практикум. / А.В. Козлов – Изд-во Дальневосточный ГАУ, Благовещенск 2018 – 118 с
  15. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование.: учебное пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картавцев, Н.А. Черемисинова.— Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 192 с.
  16. Климова, Г. Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение: учебное пособие / Г. Н. Климова. — 2-е изд. — М: Изд. – во Юрайт, 2020. — 179 с.
  17. Кравчук А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А./ А.Э Кравчук– М.: Изд. – во «КолосС», 2019.
  18. Крылов, Ю.А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города. Частотно-регулируемый

- электропривод: учебное пособие / Ю.А. Крылов, А.С. Карандаев, В.Н. Медведев. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 176 с.
19. Менумеров, Р. М. Электробезопасность : учебное пособие / Р.М. Менумеров. — 3-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 196 с.
20. Панфилов, А.И. Настольная книга энергетика / А.И. Панфилов, В.И. Энговатов. -Издательство: Энергосервис, 2017.-365с.
21. Полуянович, Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / Н.К. Полуянович. — 4-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 396 с.
22. Пястолов А.А. Эксплуатация электрооборудования./ А.А. Пястолов, Г.П. Ерошенко. – М.: Изд. – во «КолосС», 2007.
23. Сивков, А. А. Основы электроснабжения : учебное пособие / А. А. Сивков, А. С. Сайгаш, Д. Ю. Герасимов. — 2-е изд., испр. и доп. — М: Изд. – во Юрайт, 2019. — 173 с.
24. Смирнов, Ю.А. Технические средства автоматизации и управления : учебное пособие / Ю.А. Смирнов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 456 с.
25. Справочная книга электрика / Под ред. В.И. Григорьева. - М.: КолосС, 2010.-746 с: ил.
26. Фираго, Б.И. Векторные системы управления электроприводами: Учебное пособие. / Б.И. Фираго, Д.С. Васильев, - Минск: Высшая школа, 2016 – 159 с: ил.
27. Фролов, Ю. М. Электрический привод: краткий курс : учебник / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин; под редакцией Ю. М. Фролова. — 2-е изд., испр. и доп. — М: Изд. – во Юрайт, 2020. — 253 с.
28. Фролов, Ю.М. Регулируемый асинхронный электропривод: учебное пособие / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 464 с.

29. Хорольский, В. Я. Эксплуатация электрооборудования: учебник / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, В.Н. Шемякин. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 268 с.
30. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры./ В.М. Черкасский— М.: Изд. – во «КолосС», 2011.
31. Шевченко, М. В. Светотехника и электротехнология. Источники оптического излучения: учебное пособие/ М.В. Шевченко, А.В. Калинин. - Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2013. - 170 с.