

АННОТАЦИЯ

Тема дипломного проекта «Электроснабжение и электропривод насосной станции». В нём рассматриваются выбор и расчёт различных систем.

Расчёт идёт согласно исходным данным. На основании их осуществляется выбор числа и мощности двигателей насосов. Производится расчёт системы вентиляции и освещения. Для насосной станции производится выбор вспомогательного электрооборудования. В качестве вспомогательного электрооборудования используются мостовой кран машинного зала и станки мастерской.

В дальнейшем определяется расчётная электрическая суммарная нагрузка насосной станции. Формируется годовой график нагрузок насосной станции. Главными задачами дипломного проекта являются: выбор системы питания, выбор системы распределения электроэнергии насосной станции, расчёт токов короткого замыкания и выбор элементов системы энергоснабжения.

Первые две задачи решаются на основании техникоэкономического расчёта.

Ещё одна задача вытекает из темы дипломного проекта: необходимо сформировать схемы защиты и управления синхронным двигателем насоса.

THE SUMMARY

Theme of the degree project « Electrosupply and electric drive of pump station ». In it(him) are considered(examined) a choice and account of various systems.

The account goes according to the initial data. On the basis of them the choice of number and capacity of engines of pumps is carried out. The account of system of ventilation and illumination is made. The choice of an auxiliary electric equipment is made for pump station. As an auxiliary electric equipment are used the crane bredged of a machine hall and machine tools of workshop.

Further settlement electrical total loading of pump station is defined(determined). The annual diagram of loadings of pump station is formed. The main tasks of the degree project are: a choice of the power supply system, choice of system of distribution of the electric power of pump station, account of currents of short circuit and choice of elements of system of power supply.

First two tasks are decided(solved) on the basis of technical and economic account.

One more task follows from a theme of the degree project: it is necessary to generate the circuits of protection and management of the synchronous engine of the pump.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1 ТЕХНОЛОГИЯ И ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

2.1 ВЫБОР ТИПА И ЧИСЛА РАБОЧИХ НАСОСОВ

2.2 ВЫБОР МОЩНОСТИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

2.3 РАСЧЁТ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЛОЩАДИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

2.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ВЫБОР ТИПА И ЧИСЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

2.4.1 ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ПОДЪЁМНОЙ УСТАНОВКИ МОСТОВОГО КРАНА

2.4.2 ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА

2.4.3 ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТА

2.5 ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОЖАРНЫХ НАСОСОВ

2.6 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ МАСТЕРСКОЙ

2.7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

3 ВЫБОР СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

3.1 ВЫБОР ТИПА ПУНКТА ПРИЁМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

3.2 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ППЭ

3.3 ВЫБОР УВН И РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

4 ВЫБОР СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

4.1 ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВЫШЕ 1000 В

4.2 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

4.3. ВЫБОР СПОСОБА КАНАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ВЫШЕ 1000 В, СЕЧЕНИЯ ЛЭП И ТОКОПРОВОДОВ

4.4 ВЫБОР ЧИСЛА СИЛОВЫХ ПУНКТОВ И МЕСТ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ

5 РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

6 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

7 ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НАСОСОМ И ЕГО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

7.1 ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

7.2 ВЫБОР АППАРАТОВ ДЛЯ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

8 ОХРАНА ТРУДА

8.1 АНАЛИЗ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

8.2 МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ И УСТРАНЕНИЮ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ

8.3 РАСЧЁТ ШУМА

8.4 ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных проблем современной промышленной энергетики является использование наиболее рационального построения системы электроснабжения, выполнение всех её основных принципов. Это связано с огромным ростом энерговооружённости труда, широким внедрением электротехнологических процессов, значительным увеличением потребления электрической энергии.

Электропривод является неотъемлемой частью многих производственных механизмов, участвующих во всём многообразии современных производственных процессах. В каждом конкретном производстве можно выделить ряд операций, характер которых является общим для различных отраслей народного хозяйства. К их числу относятся перемещение грузов при строительно-монтажных работах, вентиляция, водоснабжение и многое другое.

Механизмы, выполняющие подобные операции, как правило, универсальны и имеют общепромышленное применение, в связи с этим и называются общепромышленными механизмами. Общепромышленные механизмы являются основными механизмами множества конкретных разновидностей производственных установок. К их числу относятся подъёмные краны, насосы, вентиляторы, воздуходувки и т.п.

Общепромышленные механизмы играют в народном хозяйстве страны важную роль. Они являются основным средством механизации и автоматизации различных производственных процессов. Поэтому уровень промышленного производства и производительность труда в значительной степени зависят от оснащённости производства общепромышленными механизмами и от их технологического совершенства.

Исходные данные к проекту:

- мощность энергосистемы $S_c=1300$ МВА;
- сопротивление системы $X_c=0,480$ о.е;

- расстояние от энергосистемы до устройства высокого напряжения ПГВ $L = 4$ км;
- полная производительность насосной станции $Q_z = 18$ м³/час;
- напор $H = 60$ м.

1 ТЕХНОЛОГИЯ И ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Насосы представляют собой энергетические машины, в которых механическая энергия привода преобразуется в энергию потока жидкости. По принципу действия все существующие насосы подразделяются на три основных класса: лопастные или лопаточные (насосы обтекания), вихревые насосы (насосы увлечения) и объемные насосы (насосы вытеснения).

Наиболее распространенным видом энергетических машин являются лопастные насосы, используемые в большинстве современных отраслей техники.

В лопастных (лопаточных) насосах преобразование энергии двигателя происходит в процессе обтекания лопастей (лопаток) рабочего колеса и их силового воздействия на поток. У вихревых насосов преобразование энергии двигателя происходит в процессе интенсивного образования и разрушения вихрей при увлечении быстро движущимися частицами жидкости в ячейках рабочего колеса. А медленно движущихся частиц жидкости в боковых или охватывающих верхнюю часть колеса каналах (вихревой эффект). При движении жидкости в колесе вихревого насоса между участками всасывания и нагнетания имеет место и центробежный эффект. В объемных насосах преобразование энергии двигателя происходит в процессе вытеснения в напорный трубопровод объема жидкости из замкнутого пространства насоса поршнем (плунжером, скалкой), мембраной, имеющими возвратно-поступательное движение, или зубьями шестерен, винтами, кулачками, выдвигаемыми скользящими пластинами при вращательном движении этих элементов насоса (ротационные насосы).

Лопастные насосы подразделяются на центробежные (радиальные), диагональные и осевые (пропеллерные). В центробежных насосах движение жидкости в рабочем колесе происходит от центральной части к периферии по радиальным направлениям, то есть в потоке частиц жидкости нет осевых

составляющих абсолютной скорости. В диагональных насосах частицы жидкости движутся по поверхностям вращения с образующими, наклонными к оси, то есть осевые и радиальные составляющие абсолютной скорости - величины одного порядка. В осевых насосах частицы жидкости движутся в осевом направлении. Лопастные насосы обладают малой способностью самовсасывания. Поэтому при пуске их всасывающую трубу и колесо заливают жидкостью, применяя различные способы. Лопастные насосы удобны для непосредственного соединения с современными типами электродвигателей. Лопастные насосы отличаются компактностью и легкостью.

К.п.д. лопастных насосов достигает 0,9 – 0,92 и в области умеренных напоров не уступает к.п.д. поршневых насосов. Поэтому при невысоких и средних напорах и больших подачах применяются исключительно лопастные насосы. Лопастные насосы находят широкое применение при подаче нефти и нефтепродуктов по трубопроводам, для подачи воды в нефтяной пласт при нефтедобыче, для подачи высоко агрессивных и токсичных жидкостей в нефтехимии. Фактором, ограничивающим частоту вращения и высоту всасывания лопастного насоса, является кавитация. При засасывании насосом жидкости из резервуара давление, в подводящем трубопроводе по мере продвижения жидкости в насос, падает и при входе на колесо может стать меньше давления упругости насыщенных паров жидкости. Происходит холодное вскипание жидкости. Образовавшиеся при входе паровые пузырьки в области повышенного давления на выходе рабочего колеса мгновенно конденсируются, что сопровождается характерными потрескиваниями, шумами. Это явление носит название кавитации насоса. При сильном развитии кавитации может произойти полный срыв работы насоса.

Кавитацию сопровождает ряд нежелательных в эксплуатации насосов явлений:

- эрозия материала стенок. Образовавшиеся пузырьки пара, попадая в область повышенных давлений, мгновенно конденсируются, при смыкании

частицы жидкости, окружающие пузырьёк, движутся ускоренно к центру пузырька, и при полном исчезновении пузырька эти частицы сталкиваются, создавая мгновенное местное повышение давления, которое может достигать больших значений. Такие давления на рабочих поверхностях каналов колеса приводят к сильным ударам, выщерблению, разъеданию материала стенок;

- повышение вибрации, которая приводит к быстрому изнашиванию подшипников;

- быстрая химическая эрозия рабочих органов насоса при выделении паров химически активной жидкости. Химическая эрозия увеличивается также с повышением в паровой фазе содержания кислорода, растворенного в перекачиваемой жидкости и перешедшего при кавитации в паровую фазу;

- сужение проходного сечения подводных каналов и полный срыв работы насосов при активном холодном кипении, что связано с выделением растворенных газов, в том числе и воздуха, из жидкости при прохождении ею области вакуума.

Вихревые насосы получили наибольшее распространение в стационарных и передвижных установках мощностью не превышающие несколько десятков киловатт для перекачки маловязких жидкостей, не содержащих абразивных примесей. Напор вихревых насосов в 2 - 5 раз больше напора центробежных насосов при тех же значениях диаметра колеса и частоты вращения, но они отличаются низким к.п.д. (0,25 – 0,5).

Объемные насосы характеризуются тем, что рабочие органы их периодически образуют замкнутые объемы жидкости и вытесняют эти отобранные порции жидкости, увеличивая давление в нагнетательный трубопровод. Особенности объемных насосов являются постоянное, почти герметичное, разделение всасывающей и нагнетательной камер, а также способность к самовсасыванию. Подача объемного насоса определяется геометрическими размерами его рабочих органов и числом циклов в единицу времени. Подача объемных насосов от 0,8 до 800 м³/ч. В объемных насосах величина напора принципиально не ограничена.

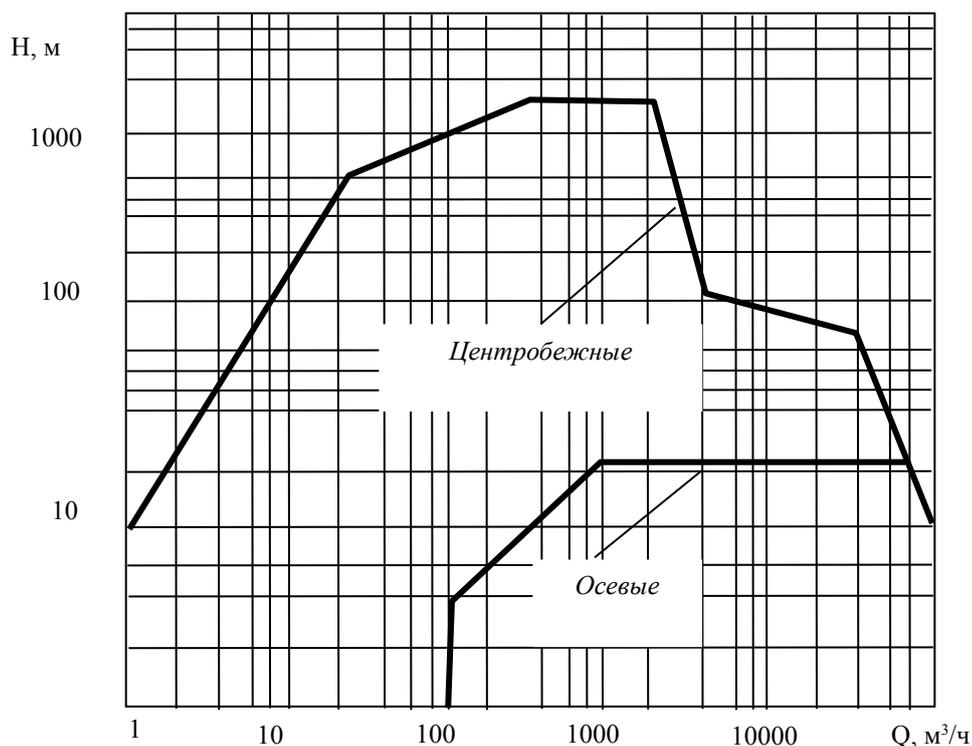


Рис. 1.1. График областей использования различных типов насосов в зависимости от их подачи и напора.

Области применения различных типов насосов в зависимости от их подачи и напора приведены на рис. 1.1 [1].

Центробежные насосы, применяемые в широком диапазоне напоров и подач, отличаются многообразием конструктивных исполнений. Они выполняются вертикальными и горизонтальными, как одноступенчатыми, так и многоступенчатыми, одностороннего и двустороннего входа.

Такое многообразие параметров и назначений центробежных насосов вызвало множество разных конструктивных решений. Конструкторам центробежных насосов приходится сопоставлять преимущества разных конструктивных решений и, анализируя их, находить самое оптимальное для каждого конкретного случая.

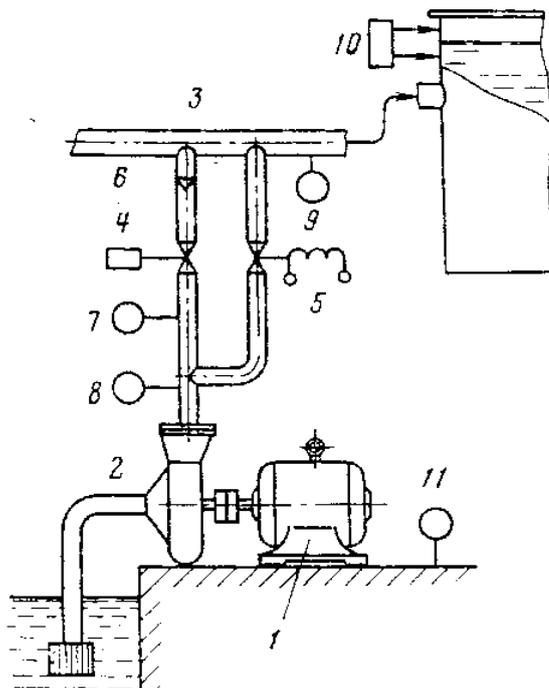


Рис. 1.2. Технологическая схема насосной установки:

- 1 - электродвигатель; 2 - насос; 3 - магистраль;
 4 - электропривод задвижки; 5 - электромагнитный привод задвижки;
 6 - обратный клапан; 7 - реле давления; 8 - реле заливки;
 9 - расходомер; 10 - реле уровня; 11 - реле заливки (аварийное).

Определение числа и единичной подачи (напора) насосной установки производится по полной подаче (напору) насосной станции, по условиям оптимального числа центробежных насосов, исходя из необходимости маневрирования потоками перекачиваемой жидкости и надежности в электроснабжении.

Технологическая схема насосной установки представлена на рис.1.2.

Насосная станция — это замкнутое помещение, в котором необходимо создать условия для работы обслуживающего персонала. Насосы с их приводами являются сильными источниками тепла в помещении. Например, некоторые части насосной установки (электродвигателя) нагреты постоянно свыше 100 °С. Эти источники тепла достаточно серьезно влияют на микроклимат внутри насосной станции. В летние месяцы работы насосной

станции температура воздуха в помещении может достигать уровня, при котором невозможен комфортный и производительный труд человека. К тому же в любом помещении необходима периодическая замена воздуха. Этим целям служит вентиляция помещений. В дипломе необходимо реализовать вентиляцию на основании опыта уже устроенных систем вентиляции на уже существующих насосных станциях.

Два приточных вентилятора в блоке с калориферами устанавливаются по бокам от главных ворот, предназначенных для подачи транспорта. Калориферы необходимы для создания тепловой завесы в зимнее время, что повышает эффективность отопления и снижает сквозняки от дверей. Еще один блок приточной вентиляции с калорифером устанавливается у центрального входа в мастерскую с улицы. Три вытяжных вентилятора устанавливаются с задней стены насосной станции.

В конструкциях насосных установок имеется множество металлических деталей, которые при эксплуатации подвергаются термическому и механическому воздействию, и как следствие этого процесса они изнашиваются. Для изготовления простых новых деталей, и поддержания старых в нормальном состоянии, а также для плановых и аварийных ремонтов узлов и агрегатов машин в мастерской устанавливается группа металлообрабатывающих станков и сварочных автоматов. Перечень типового устанавливаемого оборудования:

- один сверлильный станок;
- два токарно-винторезных станка;
- один фрезерный станок;
- один круглошлифовальный станок;
- один обдирочно-шлифовальный станок;
- два сварочных трансформатора.

Для монтажа насосов необходим кран. Мостовой кран необходим для замены крупных деталей насосов и электродвигателей. Назначение крана - подъем и доставка насосов к месту назначения.

В случае возникновения пожара необходимо его ликвидировать. Для этой цели устанавливаются два пожарных насоса по бокам от главных ворот.

Таким образом, основными электроприемниками насосной станции являются двигатели приводов насосов, вентиляторов, приводы оборудования мастерской, крановый привод, а также общее освещение производственной площади.

Генеральный план насосной станций представлен на рис. 1.3.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

2.1 Выбор типа и числа рабочих насосов

Мощность на валу насоса $P_{\text{нас}}$ (кВт) или мощность, отдаваемая насосу ведущим двигателем при непосредственном соединении, определяется по следующей формуле [1]:

$$P_{\text{нас}} = \frac{K_3 \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{нфс}}} \cdot 10^{-3} \quad (2.1)$$

где K_3 - коэффициент запаса ($K_3 = 1,03$ при $P > 50$ кВт);

ρ — плотность перекачиваемой жидкости, для холодной воды равна 1000 кг/м^3 ;

g — ускорение силы тяжести, $\text{м}^2/\text{с}$;

Q — производительность насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

H — напор, м;

$\eta_{\text{нас}}$ - полный к.п.д. насоса.

$$P_{\text{нас}} = \frac{1,03 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 18 \cdot 60}{0,88} \cdot 10^{-3} = 12400,731 \text{ кВт}$$

Выбираем 8 насосов типа 800В-2,5/63 со следующими каталожными данными [1]: $Q_{\text{н}} = 4 \text{ м}^3/\text{с}$; $H_{\text{н}} = 63 \text{ м}$; $\eta_{\text{н}} = 88\%$; $n_{\text{н}} = 600 \text{ об/мин}$; $P_{\text{н}} = 1950 \text{ кВт}$; $m = 25000 \text{ кг}$; габариты $L \times B \times H = 4300 \times 4200 \times 7000 \text{ мм}$.

В качестве ведущих двигателей выбираем синхронные электродвигатели типа СДН-17-71/10 со следующими каталожными данными [2]:

$P_{\text{н}} = 2000 \text{ кВт}$; $n_0 = 500 \text{ об/мин}$; $\cos \varphi = 0,9$; $I_{\text{стат}} = 135 \text{ А}$; $\eta_{\text{н}} = 95,3\%$; $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$;

$M_{\max}/M_H = 1$; $M_{s=0.05}/M_H = 1,6$; $U_B = 85$ В; $I_B = 255$ А; $m=17400$ кг,
габариты $L \times B = 4450 \times 3250$ мм.

Присоединенная мощность (кВт) определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{прис}} = \frac{n \cdot P_H}{\eta_H} \cdot K_3 \quad (2.2)$$

где n - количество электродвигателей;

P_H — номинальная мощность электродвигателя, кВт;

η_H - номинальный к.п.д. электродвигателя;

K_3 - коэффициент загрузки.

Коэффициент загрузки определяется по следующему выражению:

$$K_3 = \frac{P_{\text{нас}}}{n \cdot P_H} = \frac{12400,731}{8 \cdot 2000} = 0,775$$

Тогда по (2.2);
$$P_{\text{прис}} = \frac{8 \cdot 2000}{0,953} \cdot 0,775 = 13011,5 \text{ кВт}$$

Выбранный тип насоса обеспечивает требуемую производительность и напор, если на сеть параллельно работают 8 насосов. Область работы насосов представлена на рис. 2.1. Параметры насосов по верхней границе поля Q-H обеспечиваются базовым рабочим колесом (РК), а в других точках поля - его обточкой по наружному диаметру или применением других колес в том же корпусе.

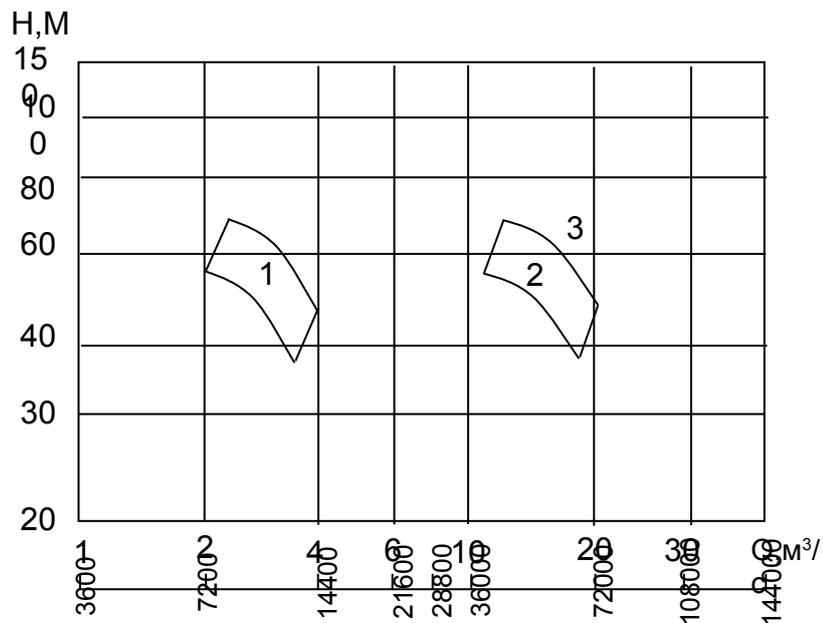


Рис. 2.1. Область работы насосов: 1 - один насос типа 800В-2,5/63; 2 - восемь параллельно работающих насосов типа 800В-2,5/63; 3 - рабочая точка : $H=60$ м. $Q=18$ m^3/c (64800 $m^3/ч$).

2.2 Выбор мощности вентиляторов

Для вентиляции машинного зала насосной станции с объемом помещения $V=22 \cdot 55,5 \cdot 16 = 19536$ m^3 и высотой 16 м и мастерской с объемом $V=22 \cdot 14,5 \cdot 5 = 1595$ m^3 и высотой 5 м устанавливаются центробежные вентиляторы.

Определим мощность приводного двигателя вентилятора, если часовая кратность обмена воздуха равна $i = 2.0$, полное сопротивление воздушного тракта, преодолеваемое вентилятором, составляет 120 $кг/м^2$ (мм вод. ст.).

Необходимая производительность вентилятора, m^3/c :

$$Q = \frac{i \cdot V}{3600} \tag{2.3}$$

где Q - объем помещения, m^3 .

Мощность электродвигателя вентилятора определяется по формуле:

$$P = K \cdot \frac{Q \cdot h}{102 \cdot \eta} \cdot \frac{1}{2} \quad (2.4)$$

где Q - производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$;

h — полное давление, $\text{кг}/\text{м}^2$;

k - коэффициент запаса ($k = 1,1 - 1,6$);

η — полный коэффициент полезного действия вентилятора (0,5-0,85).

Количество воздуха, подаваемого вентилятором в машинный зал насосной станции по (2.3):

$$Q = \frac{2,0 \cdot 19536}{3600} = 10,853 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Мощность электродвигателя вентилятора установленного в машинном зале насосной станции по (2.4):

$$P = 1,3 \cdot \frac{10,853 \cdot 120}{102 \cdot 0,6} \cdot \frac{1}{2} = 13,83 \text{ кВт}$$

Для привода вентилятора выбираем асинхронный двигатель с КЗ ротором типа 4А160S2У3 с каталожными данными [3]:

$P_n = 7,5 \text{ кВт}$; $U_n = 380/660 \text{ В}$; $\cos\varphi_n = 0,91$; $\eta_n = 88 \%$; $n_0 = 3000 \text{ об}/\text{мин}$;

$S_n = 2,3 \%$; $I_n/I_n = 7,5$; $M_{\text{max}}/M_n = 2,2$; $M_n/M_n = 1,4$.

Количество воздуха, подаваемого вентилятором в мастерскую по (2.3):

$$Q = \frac{2 \cdot 1595}{3600} = 0,886 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Мощность электродвигателя вентилятора установленного в мастерской по (2.4):

$$P = 1,3 \cdot \frac{0,886 \cdot 120}{102 \cdot 0,7} = 1,9 \text{ кВт}$$

Для привода вентилятора выбираем асинхронный двигатель с КЗ ротором типа 4А80В2У3 с каталожными данными [3]:

$P_H = 2,5 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi_H = 0,87; \eta_H = 83 \%; n_0 = 3000 \text{ об/мин};$
 $S_H = 5; I_H/I_N = 6,5; M_{\max}/M_H = 2,2; M_p/M_H = 2.$

Мощность электродвигателей для приточной и вытяжной вентиляции принимаем одинаковой.

Приточные вентиляторы работают в блоке с калориферами. Мощность каждого калорифера принимаем равной 2 кВт.

Мощность, расходуемая на обогрев калориферами:

$$P_{\text{кал}} = n \cdot P_{1\text{к}} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ кВт}, \quad (2.5)$$

где $P_{1\text{к}}$ - мощность одного калорифера.

Присоединенная мощность двигателей для привода вентиляторов в мастерской:

$$P_{\text{пртс.мас}} = \frac{P_{\text{прт.мас}} + P_{\text{выт.мас}}}{\eta_H} = \frac{2,2 + 2,2}{0,83} = 5,3 \text{ кВт} \quad (2.6)$$

где $P_{\text{прт.мас}}, P_{\text{выт.мас}}$ — активные номинальные мощности двигателей соответственно для приточной и вытяжной вентиляции мастерской, кВт.

Аналогично для машинного зала насосной станции:

$$P_{\text{пртс.мас}} = \frac{P_{\text{прт.м.з}} + P_{\text{выт.м.з}}}{\eta_H} = \frac{15 \cdot 2 + 15 \cdot 2}{0,88} = 68,2 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

2.3 Расчет освещения производственной площади насосной станции

Расчет общего освещения по удельной мощности является упрощенной формой метода коэффициента использования. Удельная мощность δ (Вт/м²)

является важнейшим энергетическим показателем осветительной установки, широко используемым для оценок экономических решений и для предварительного определения нагрузки при начальных стадиях проектирования.

Удельная мощность δ определяется по таблицам [4] и зависит от типа светильников, нормированной освещенности, коэффициента запаса, коэффициента отражения поверхностей помещения, значения расчетной высоты установки светильника, площади помещения.

Площадь помещения машинного зала определяется по генеральному плану насосной станции $F_{\text{м.з.}} = 1221 \text{ м}^2$. Удельная мощность осветительной установки для машинного зала равна $\delta=18 \text{ Вт/м}^2$.

Мощность осветительной нагрузки машинного зала определяется по формуле:

$$P_{\text{осв.м.з.}} = K_c \cdot \delta \cdot F. \quad (2.8)$$

$$P_{\text{осв.м.з.}} = 0,95 \cdot 18 \cdot 1221 = 20,879 \text{ кВт.}$$

Значения коэффициента спроса осветительной нагрузки K_c приведены в [5]. Для газоразрядных ламп коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,5$ ($\text{tg } \varphi = 1,732$).

Реактивная мощность, потребляемая освещением, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{осв.м.з.}} = P_{\text{осв.м.з.}} \cdot \text{tg}\varphi. \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{осв.м.з.}} = 20,879 \cdot 1,732 = 36,121 \text{ кВар.}$$

Определяем полную мощность осветительной нагрузки:

$$S_{\text{осв.м.з.}} = \sqrt{P_{\text{осв.м.з.}}^2 + Q_{\text{осв.м.з.}}^2} \quad (2.10)$$

$$S_{\text{осв.м.з.}} = \sqrt{20,879^2 + 36,121^2} = 41,7 \text{ кВА}$$

Расчет освещения мастерской ведется аналогично расчету освещения машинного зала насосной станции. Площадь мастерской по генплану $F_{\text{мас}} = 319 \text{ м}^2$. Удельная мощность осветительной установки мастерской по [4] равна $\delta = 15 \text{ Вт/м}^2$. Освещение производится люминесцентными лампами. Коэффициент мощности для люминесцентных ламп $\cos\varphi = 0,9$ ($\text{tg}\varphi = 0,484$).

Мощность осветительной нагрузки мастерской определяется по формуле (2.8):

$$P_{\text{осв.мас.}} = 1 \cdot 15 \cdot 319 = 4,785 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность, потребляемая освещением, рассчитывается по формуле (2.9):

$$Q_{\text{осв.мас.}} = 4,785 \cdot 0,484 = 2,316 \text{ кВар.}$$

Определяем полную мощность осветительной нагрузки по формуле (2.10);

$$S_{\text{осв.м.з.}} = \sqrt{4,785^2 + 2,316^2} = 5,316 \text{ кВА}$$

Определение общей мощности осветительной нагрузки по насосной станции в целом:

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{осв.м.з.}} + P_{\text{осв.мас.}} = 20,879 + 4,785 = 25,664 \text{ кВт,} \quad (2.11)$$

$$Q_{\text{осв}} = Q_{\text{осв.м.з.}} + Q_{\text{осв.мас.}} = 36,121 + 2,316 = 38,437 \text{ кВар,} \quad (2.12)$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2} = \sqrt{25,664^2 + 38,437^2} \text{ кВА} \quad (2.13)$$

Для сравнения, определим мощность осветительной нагрузки с помощью метода коэффициента использования, учитывающего геометрию помещения, конструкцию и конкретное расположение осветительной установки, нормы освещенности, вид светильников и характеристики применяемых ламп.

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчета равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов.

При расчете по этому методу световой поток Φ (лм) ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещенности (норма освещенности - E_n), определяется по следующей формуле [5]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (2.14)$$

где $K_{\text{зап}}$ — коэффициент запаса:

F - площадь освещаемой поверхности, м^2 ;

Z - коэффициент минимальной освещенности, $z=1.1$ - для люминесцентных ламп, $Z = 1,5$ для ламп накаливания и ДРЛ;

N - число светильников;

η - коэффициент использования светового потока источника света, в долях единицы.

По значению Φ выбирается стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался от расчетного значения Φ на $-10 \div +20\%$. При невозможности выбора источника света с таким приближением корректируется число светильников.

При расчете освещения, выполненного люминесцентными лампами, чаще всего первоначально намечается число рядов n , которое в (2.8) соответствует величине N . Тогда под Φ следует понимать поток ламп одного ряда.

Если световой поток ламп в каждом светильнике составляет $\Phi_{\text{ном}}$, то число светильников в ряду определяется по формуле

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{ном}} \quad (2.15)$$

Суммарная длина N светильников сопоставляется с длиной помещения, при этом возможны следующие случаи:

1) суммарная длина светильника превышает длину помещения. В этом случае необходимо применить более мощные лампы (у которых поток на единицу длины больше) или увеличить число рядов, можно компоновать ряды из сдвоенных, строенных светильников и т.д.:

2) суммарная длина светильников равна длине помещения: задача решается установкой непрерывного ряда светильников;

3) суммарная длина ряда меньше длины помещения: принимается ряд с равномерно распределенными вдоль него разрывами между светильниками. Рекомендуется, чтобы расстояние между светильниками в ряду не превышало 0.5 расчетной высоты

Расчетная высота (м) определяется по следующей формуле [5]:

$$H = H - h_p - h_c \quad (2.16)$$

где H - высота помещения, м;

h_p - высота расчетной поверхности над полом, м;

h_c - расстояние светильника от перекрытия, м.

Коэффициент использования светового потока является функцией индекса помещения i , который определяется по формуле [5]:

$$i = \frac{L \cdot B}{h \cdot (L + B)}; \quad (2.17)$$

где L - длина помещения, м;

B - ширина помещения, м;

h - расчетная высота, м.

Для определения коэффициента использования η кроме индекса помещения i необходимо оценить коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка ρ_n стен ρ_c и рабочей поверхности ρ_p .

Основное требование при выборе расположения светильников заключается в доступности их при обслуживании. Кроме того, размещение светильников определяется условием экономичности. Важное значение имеет отношение расстояния между светильниками или рядами светильников к расчетной высоте $\lambda = L_a/h$, уменьшение его приводит к удорожанию осветительной установки и усложнению ее обслуживания, а чрезмерное увеличение приводит к резкой неравномерности освещения и к возрастанию расходов энергии.

При расположении рабочих мест рядом со стенами здания светильники следует устанавливать на расстоянии L от стены, которое принимается равным $(0,3-0,5)L$.

Освещение машинного зала

Для расчета освещения машинного зала в качестве источника света выбираем лампы ДРЛ. Лампы типа ДРЛ применяются для общего освещения производственных помещений высотой более 8 метров, в которых не требуется правильной цветопередачи. Система освещения – общая, т.е. и искусственное и естественное освещение. Размеры машинного зала определяем по генеральному плану $L_{м.з.} \times B_{м.з.} \times H_{м.з.} = 55,5 \times 22 \times 16$ м. Лампы ДРЛ размещены в светильниках типа РСР-1000/ГОЗ с габаритами $D \times H = 610 \times 670$ мм. Данный тип светильника имеет глубокую кривую силы света.

По (2.16) определим расчетную высоту: $h = 16 - 0 - 1 = 15$ м.

По табл. 4-16 [4]: $\lambda_s = 1$, тогда расстояние между лампами, расположенными в одном ряду, $L_a = \lambda_s \cdot h = 1 \cdot 15 = 15$ м.

При $L_a = 14$ м в ряду можно разместить 4 светильника, тогда

$$l = \frac{L_{м.з.} - L_a \cdot (N_1 - 1)}{2} \quad (2.18)$$

где l - расстояние от стены до крайнего светильника, м;

N_1 – число светильников в одном ряду.

$$l = \frac{55,5 - 15 \cdot (4 - 1)}{2} = 5,25 \text{ м}$$

l находится в пределах $(0,3 - 0,5)L_a$ т.е. $(4,5 < 5,25 < 7,5)$ м

Принимаем число рядов светильников равным двум, тогда $L_b = 12$ м.

При прямоугольных полях рекомендуется $L_a : L_b \leq 1,5$ [4].

$$L_a : L_b = 15 : 12 = 1,25 \leq 1,5.$$

Число светильников в машинном зале $N = 8$. Размещение светильников представлено на рис.2.2.

По табл.5-2 [4] принимаем $\rho_n = 0,7$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,3$.

Индекс помещения по (2.17):
$$i = \frac{55,5 \cdot 22}{16 \cdot (55,5 + 22)} = 0,98 \approx 1;$$

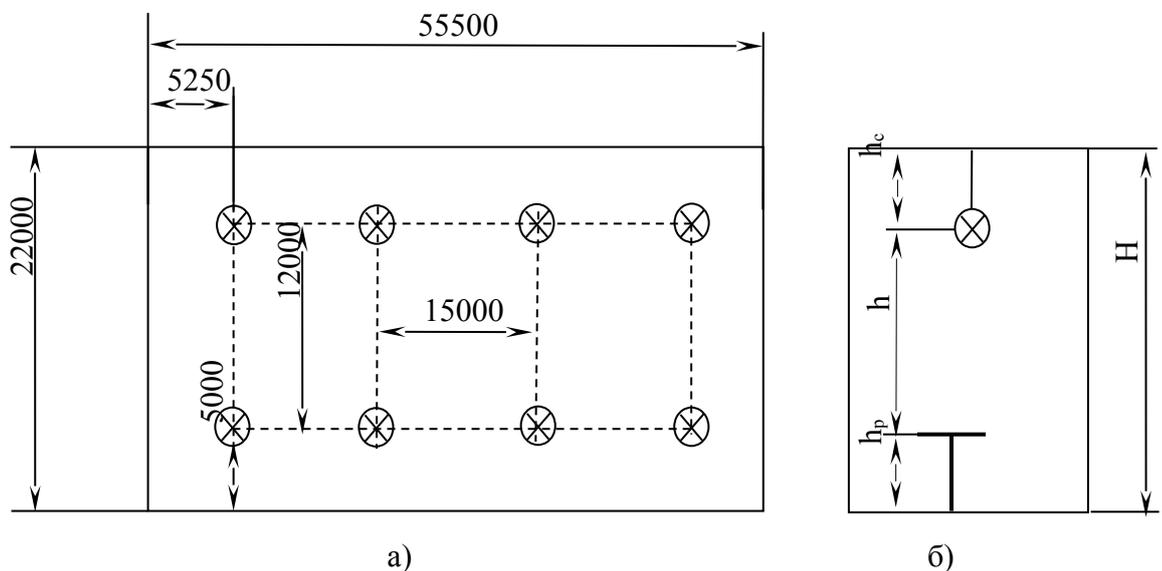


Рис.2.2. Размещение светильников в машинном зале: а) в плане; б) в разрезе.

По табл.5 -17 [4] определяем коэффициент использования светового потока $\eta = 72\%$.

По формуле (2.14) при $E_n = 150$ лк и $K_{зап}=1.5$, принятых по табл.4-4 в [4] находим:

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 1,221 \cdot 1,15}{8 \cdot 0,72} = 54850_{лм}$$

По полученному Φ подбираем из табл.2-17 [4] лампу типа ДРЛ мощностью 1000 Вт со световым потоком $\Phi_{ном}=50000$ лм ($\Phi_{ном}$ отличается от Φ на 8,84%, что допустимо).

Расчетная осветительная нагрузка определяется по формуле [5]:

$$P_o = P_{уст} \cdot K_c - K_{ПРА} \quad (2.19)$$

где $P_{уст}$ - установленная мощность ламп, кВт;

K_c - коэффициент спроса;

$K_{ПРА}$ - коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА), $K_{ПРА}=1,1$ - для ламп ДРЛ и ДРИ; $K_{ПРА} = 1,2$ - для люминесцентных ламп со стартерными схемами включения и $K_{ПРА} = 1,3 - 1,35$ - для люминесцентных ламп с безстартерными схемами включения.

Расчетная осветительная нагрузка машинного зала по (2.19):

$$P_{o.м.з.} = (8 \times 1) \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 8,36 \text{ кВт.}$$

Для газоразрядных ламп типа ДРЛ $\cos\varphi = 0,5$ ($\operatorname{tg}\varphi = 1,732$), тогда :

$$Q_{o.м.з.} = P_{o.м.з.} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 8,36 \cdot 1,732 = 14,48 \text{ кВар.}$$

Освещение мастерской

Для расчета освещения в мастерской в качестве источника света применяем люминесцентные лампы типа ЛБ в светильниках ПВЛМ - ДОР с габаритами $L_{св} \times B_{св} \times H_{св} = 1625 \times 270 \times 215$ мм, с прямым косинусным светораспределением. Система освещения - общая. Размеры мастерской по генплану: $L_{мас} \times B_{мас} \times H_{мас} = 21 \times 14,7 \times 5$ м.

Расчетная высота по (2.16): $h = 5 - 0 - 0,22 = 4,78$ м.

По табл. 4-11 [4]: $\lambda_c = 1,4$, тогда расстояние между рядами $L = \lambda_c \cdot h = 1,4 \cdot 4,78 = 6,7$ м.

Намечаем два ряда светильников. Коэффициенты отражения от поверхностей принимаем такими же, как для машинного зала $\rho_n = 0,7$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,3$.

Индекс помещения по (2.17):

$$i = \frac{22 \cdot 14,5}{4,78 \cdot (22 + 14,5)} = 1,82;$$

По табл. 5-12 [4]: $\eta = 58\%$; по табл. 4-4к [4] для металлообрабатывающих мастерских $E_n = 300$ лк, $K_{зап} = 1,5$. Тогда по (2.14):

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 319 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,58} = 136125_{лм}$$

Число светильников в ряду по (2.15):

$$N = \frac{136125}{2 \cdot 5220} = 13 \text{ ламп};$$

где $\Phi_{ном} = 5220$ лм для ЛБ мощностью 80 Вт

Общее число ламп - 52. Выбираем лампу типа ЛБ мощностью 80 Вт.

При установке этих ламп расхождение расчетного и номинального светового потока составляет 1,92%, что допустимо.

Длина непрерывного ряда светильников: $l_{\text{ряда}} = N \cdot L_{\text{св}} = 13 \cdot 1,625 = 21,125$ м.

Определим остаток расстояния и превратим в равные разрывы между светильниками:

$$l_{\text{ост}} = L_{\text{мас}} - l_{\text{ряда}} = 22 - 21,125 = 0,825 \text{ м}, \quad (2.20)$$

$$l_{\text{разрыва}} = l_{\text{ост}}/N = 0,825/13 = 0,067 \text{ м}. \quad (2.21)$$

Расчетная осветительная нагрузка мастерской по (2.19):

$$P_{\text{о.мас.}} = (52 \times 0,08) \cdot 1 \cdot 1,35 = 5,616 \text{ кВт}.$$

Для люминесцентных светильников $\cos\varphi = 0,9$ ($\text{tg}\varphi = 0,484$).

$$Q_{\text{о.мас.}} = P_{\text{о.мас.}} \cdot \text{tg}\varphi = 5,616 \cdot 0,484 = 2,718 \text{ кВар}. \quad (2.22)$$

Общая мощность осветительной нагрузки по насосной станции в целом:

$$P_0 = P_{o.m.з.} + P_{o.мас} = 8,36 + 5,616 = 13,976 \text{ кВт}, \quad (2.23)$$

$$Q_0 = Q_{o.m.з.} + Q_{o.мас} = 14,48 + 2,718 = 17,198 \text{ кВар}, \quad (2.24)$$

$$S_0 = \sqrt{P_0^2 + Q_0^2} = \sqrt{13,976^2 + 17,198^2} = 22,16 \text{ кВА} \quad (2.25)$$

При расчете осветительной нагрузки по методу удельной мощности получили завышенное значение, поэтому в дальнейших расчетах будем использовать значение расчетной осветительной нагрузки, определенное по методу коэффициента использования.

2.4 Определение в выбор типа в числа электродвигателей для электропривода мостового крана

2.4.1 Электропривод механизма подъемной установки мостового крана

Механизмы подъемной установки предназначены для подъема и опускания груза, оборудования и так далее при наматывании или сматывании каната на барабан лебедки. Кинематическая схема механизма подъема приведена на рис. 2.3.

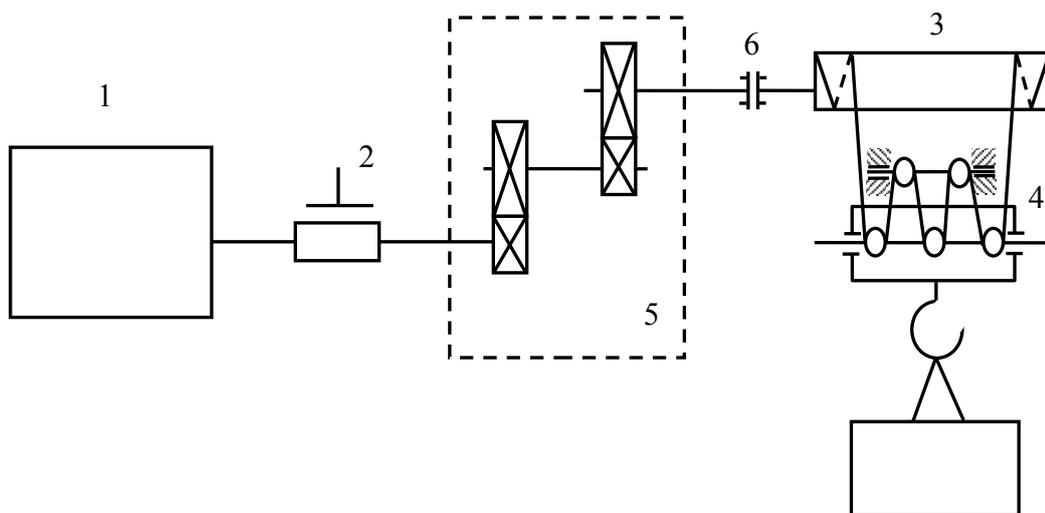


Рис.2.3. Кинематическая схема механизма подъема.

1 - электродвигатель; 2 - тормоз; 3 - барабан; 4 — полиспаст; 5 — редуктор;
6 — соединительная муфта.

В качестве электропривода механизма подъема преимущественное распространение получили асинхронные двигатели с фазным ротором и двигатели постоянного тока.

При пуске на участке разгона используется многоступенчатый реостат с числом ступеней не более 5 - 6.

При торможении в зависимости от величины и знака тормозного усилия используется двигательный режим при работе двигателя на реостатной характеристике или электродинамическое торможение с наложением электромеханического тормоза для окончательной остановки привода.

Для выбора мощности электропривода воспользуемся техническими данными механизма подъема:

- грузоподъемность $G = 450 \text{ кН}$;
- вес грузозахватного устройства $G_0 = 15 \text{ кН}$;
- скорость подъема и опускания груза $v = 0,28 \text{ м/с}$;
- диаметр барабана $D_6 = 0,6 \text{ м}$;
- ускорение и замедление при работе с грузом $a_1 = 0,3 \text{ м/с}^2$;
- ускорение и замедление при работе без груза $a_0 = 0,35 \text{ м/с}^2$;
- кратность полиспаста $i_n = 5$;

- передаточное число редуктора $i_p = 15,6$;
- длительность цикла $t_{ц} = 600$ с;
- к.п.д. редуктора $\eta_p = 0,85$;
- к.п.д. полиспаста $\eta_n = 0,98$;
- к.п.д. барабана $\eta_b = 0,95$;
- высота подъема $H = 4$ м.

Определение продолжительности включения (ПВ) электродвигателя.

Время пуска (торможения) двигателя с грузом и без груза [6]:

$$t_{п1,2} = t_{т1,2} = \frac{v}{a_1} = \frac{0,28}{0,3} = 0,933c \quad (2.25)$$

$$t_{п3,4} = t_{т3,4} = \frac{v}{a_0} = \frac{0,28}{0,35} = 0,8c \quad (2.26)$$

Средняя скорость передвижения груза (грузозахватного устройства) за время пуска и торможения [6]:

$$\begin{aligned} v_{cp,1,2} &= \frac{a_1 \cdot t_{п1,2}}{2} = \frac{0,3 \cdot 0,933}{2} = 0,14m/c \\ v_{cp,3,4} &= \frac{a_0 \cdot t_{п3,4}}{2} = \frac{0,35 \cdot 0,8}{2} = 0,14m/c \end{aligned} \quad (2.27)$$

Путь, пройденный грузом (грузозахватным устройством) за время пуска и торможения [6]:

$$l_{п1,2} = 2 \cdot v_{cp,1,2} \cdot t_{п1,2} = 2 \cdot 0,14 \cdot 0,933 = 0,26 \text{ м}; \quad (2.28)$$

$$l_{п3,4} = 2 \cdot v_{cp,3,4} \cdot t_{п3,4} = 2 \cdot 0,14 \cdot 0,8 = 0,224 \text{ м}; \quad (2.29)$$

Путь, приходящийся на движение груза (грузозахватного устройства) при установившейся скорости [6]:

$$l_{y,1,2} = H - l_{p,1,2} = 4 - 0,26 = 3,74 \text{ м}; \quad (2.30)$$

$$l_{y,3,4} = H - l_{p,3,4} = 4 - 0,224 = 3,776 \text{ м}; \quad (2.31)$$

Время подъема груза (грузозахватного устройства) с установившейся скоростью [6]:

$$t_{y,1,2} = \frac{l_{y,1,2}}{v} = \frac{3,74}{0,28} = 13,357 \text{ с} \quad (2.32)$$

$$t_{y,3,4} = \frac{l_{y,3,4}}{v} = \frac{3,776}{0,28} = 13,486 \text{ с} \quad (2.33)$$

Время работы с грузом и без груза:

$$t_{1,2} = t_{n,1,2} + t_{y,1,2} + t_{r,1,2} = 0,933 + 13,357 + 0,933 = 15,223 \text{ с}; \quad (2.34)$$

$$t_{3,4} = t_{n,3,4} + t_{y,3,4} + t_{r,3,4} = 0,8 + 13,486 + 0,8 = 15,086 \text{ с}; \quad (2.35)$$

Расчетная продолжительность включения [6]:

$$ПВ_{рас} = \frac{\sum_{i=1}^4 t_i}{t_u} \cdot 100\% = \frac{15,223 \cdot 2 + 15,086 \cdot 2}{600} \cdot 100 = 10,103\% \quad (2.36)$$

Расчет и приведение к валу двигателя моментов сопротивления.

Момент статической нагрузки при поднятии грузозахватного устройства с грузом [6]:

$$M_{cm1} = \frac{(G + G_0) \cdot D_0 \cdot 10^3}{2 \cdot i_p \cdot i_n \cdot \eta_{HP}} = \frac{(450 + 15) \cdot 0,6 \cdot 10^3}{2 \cdot 15,6 \cdot 5 \cdot 0,791} = 2261 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.37)$$

$$\text{где } \eta_{HP} = \eta_p \cdot \eta_n \cdot \eta_6 = 0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,95 = 0,791$$

Момент статической нагрузки при опускании грузозахватного устройства с грузом [6]:

$$M_{cm2} = \frac{(G + G_0) \cdot D_6 \cdot 10^3 \cdot \eta_{пп}}{2 \cdot i_p \cdot i_n} = \frac{(450 + 15) \cdot 0,6 \cdot 10^3 \cdot 0,791}{2 \cdot 15,6 \cdot 5} = 1414,673 H \cdot м \quad (2.38)$$

Момент статической нагрузки при подъеме грузозахватного устройства без груза [6]:

$$M_{cm3} = \frac{G_0 \cdot D_6 \cdot 10^3}{2 \cdot i_p \cdot i_n \cdot \eta'_{пп}} = \frac{15 \cdot 0,6 \cdot 10^3}{2 \cdot 15,6 \cdot 5 \cdot 0,21} = 274,725 H \cdot м \quad (2.39)$$

где $\eta'_{пп} = 0,21$ при $K = \frac{G_0}{G + G_0} = \frac{15}{450 + 15} = 0,0322$ (2.40)

Момент статической нагрузки при опускании грузозахватного устройства без груза [6]:

$$M_{cm4} = \frac{G_0 \cdot D_6 \cdot 10^3 \cdot \eta'_{пп}}{2 \cdot i_p \cdot i_n} = \frac{15 \cdot 0,6 \cdot 10^3 \cdot 0,21}{2 \cdot 15,6 \cdot 5} = 12,115 H \cdot м \quad (2.41)$$

Предварительный выбор мощности электродвигателя.

Предварительный выбор двигателя производится по статическому среднеквадратичному (эквивалентному) моменту [6]:

$$M_{эке} = \sqrt{\frac{M_{cm1}^2 \cdot t_1 + M_{cm2}^2 \cdot t_2 + M_{cm3}^2 \cdot t_3 + M_{cm4}^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2261^2 \cdot 15,223 + 1414,673^2 \cdot 15,223 + 274,725^2 \cdot 15,086 + 12,45^2 \cdot 15,086}{15,223 + 15,223 + 15,086 + 15,086}} = 1343,6 H \cdot м$$

Учтем неизвестную на данном этапе динамическую составляющую нагрузки с помощью коэффициента запаса K_3 (примем $K_3 = 1,1$) [6]:

$$M_{\text{экр.рас}} = K_3 \cdot M_{\text{экр}} = 1,1 \cdot 1343,6 = 1477,96 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (2.42)$$

Требуемая номинальная скорость двигателя [6]:

$$n_n = \frac{v \cdot i_p \cdot i_{II} \cdot 60}{D_o \cdot \pi} = \frac{0,28 \cdot 15,6 \cdot 5 \cdot 60}{0,6 \cdot 3,14} = 695,5 \text{ об / мин} \quad (2.43)$$

Определим частоту вращения вала двигателя [6]:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 695,5}{30} = 72,8 \text{ с}^{-1} \quad (2.44)$$

Эквивалентная расчетная мощность электродвигателя [6]:

$$P_{\text{экр.рас}} = M_{\text{экр.рас}} \cdot \omega_n \cdot 10^{-3} = 1477,96 \cdot 72,8 \cdot 10^{-3} = 107,6 \text{ кВт} . \quad (2.45)$$

Пересчитанная на стандартную продолжительность включения ($PВ_n=40\%$) мощность [6]:

$$P_{\text{экр.40\%}} = P_{\text{экр.рас}} \sqrt{\frac{PВ_{\text{рас}}}{PВ_n}} = 107,6 \cdot \sqrt{\frac{10,103}{40}} = 54,07 \text{ кВт} \quad (2.46)$$

Выбираем асинхронный электродвигатель с фазным ротором типа 4МТН280М8 [8].

Каталожные данные двигателя:

- номинальная мощность $P_{2н} = 75$ кВт;
- номинальная частота вращения $n_n = 725$ об/мин;

- коэффициент мощности $\cos\varphi_H = 0,82$;
- напряжение статора $U_1 = 380$ В;
- напряжение ротора $U_2 = 227$ В;
- сила тока статора $I_1 = 154$ А;
- сила тока ротора $I_2 = 165$ А;
- максимальный момент $M_K = 2940$ Н · м;
- момент инерции $J_p = 4,1$ кг · м².

Уточненный выбор мощности двигателя.

Уточненная частота вращения [6]:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 725}{30} = 75,883 \text{ c}^{-1} \quad (2.47)$$

Радиус приведения кинематической цепи между двигателем и исполнительным механизмом [6]:

$$\rho = \frac{v}{\omega_n} = \frac{0,28}{75,883} = 0,0036 \text{ м} \quad (2.48)$$

Суммарный приведенный момент инерции для нагруженного и ненагруженного механизма [6]:

$$J_{\Sigma 1} = J_p \left(1 + \frac{0,2}{i_p^2 \cdot i_n^2} \right) + \left(\frac{G + G_0}{g} \right) \cdot 10^3 \cdot \rho^2 = 4,1 \left(1 + \frac{0,2}{15,6^2 \cdot 5^2} \right) + \left(\frac{450 + 15}{9,81} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,0036^2 = 4,714 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$J_{\Sigma 2} = J_p \left(1 + \frac{0,2}{i_p^2 \cdot i_n^2} \right) + \left(\frac{G_0}{g} \right) \cdot 10^3 \cdot \rho^2 = 4,1 \left(1 + \frac{0,2}{15,6^2 \cdot 5^2} \right) + \left(\frac{15}{9,81} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,0036^2 = 4,119 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Динамические моменты для нагруженного и ненагруженного механизма [6]:

$$M_{дин1} = \frac{a_1}{\rho} J_{\Sigma 1} = \frac{0,3}{0,0036} \cdot 4,714 = 392,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.49)$$

$$M_{дин2} = \frac{a_0}{\rho} J_{\Sigma 2} = \frac{0,35}{0,0036} \cdot 4,119 = 400,4 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.50)$$

Определим моменты сопротивления двигателя при пуске, установившемся режиме и при торможении для нагруженного и ненагруженного механизма.

При подъеме с грузом [6]:

$$M_{н1} = M_{ст1} + M_{дин1} = 2261 + 392,8 = 2653,8 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.51)$$

$$M_{y1} = M_{ст1} = 2653,8 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{т1} = M_{ст1} - M_{дин1} = 2261 - 392,8 = 1868,2 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.52)$$

При опускании с грузом [6]:

$$M_{н2} = M_{ст2} + M_{дин1} = 1414,673 + 392,8 = 1807,473 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.53)$$

$$M_{y2} = M_{ст2} = 1414,673 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{т2} = M_{ст2} - M_{дин1} = 1414,673 - 392,8 = 1021,873 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.54)$$

При подъеме без груза [6]:

$$M_{н3} = M_{ст3} + M_{дин2} = 274,725 + 400,4 = 675,125 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{y3} = M_{ст3} = 274,732 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{т3} = M_{ст3} - M_{дин2} = 274,265 - 400,4 = -125,675 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При опускании без груза [6]:

$$M_{н4} = M_{ст4} + M_{дин2} = 12,115 + 400,4 = 412,515 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{y4} = M_{ст4} = 12,115 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{T4} = M_{ст4} - M_{дин2} = 12,115 - 400,4 = -388,625 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эквивалентный момент двигателя при $PВ_{рас}$ [6]:

$$M_{эkv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 M_{III}^2 \cdot t_{III} + \sum_{i=1}^4 M_{II}^2 \cdot t_{II} + \sum_{i=1}^4 M_{I}^2 \cdot t_{I}}{\sum_{i=1}^4 t_{yi} + \alpha \left(\sum_{i=1}^4 t_{III} + \sum_{i=1}^4 t_{II} + \sum_{i=1}^4 t_{I} \right)}}$$

$$= \sqrt{\frac{2653,8^2 \cdot 0,933 + 1807,473^2 \cdot 0,933 + 1021,873^2 \cdot 0,933 + 125,675^2 \cdot 0,8 + 274,725^2 \cdot 13,486 + 12,115^2 \cdot 13,486}{13,357 + 13,357 + 13,486 + 13,486}}$$

$$= 1368,32 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $\alpha = 0,75$ - коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения двигателя при пуске и торможении.

Эквивалентный момент двигателя при стандартной продолжительности включения ($PВ_n = 40\%$) [6]:

$$M_{эkv,40\%} = M_{эkv} \sqrt{\frac{PВ_{рас}}{PВ_n}} = 1368,32 \cdot \sqrt{\frac{10,103}{40}} = 687,674 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.55)$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{н,об.} = 9550 \frac{P_n}{n_n} = 9550 \cdot \frac{75}{725} = 987,931 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.56)$$

Выбранный двигатель проходит по нагреву, так как условие

$M_{н,дв}(987,931) > M_{эkv}(687,674)$ выполняется. Двигатель также проходит по перегрузочной способности, то есть выполняется условие $M_k(2940 \text{ Н} \cdot \text{м}) > M_{п1}(2653,8 \text{ Н} \cdot \text{м})$.

2.4.2 Электропривод механизма передвижения тележки мостового крана

Механизм передвижения предназначен для транспортировки различных грузов и может состоять из одного или двух электродвигателей, которые передают движение через редуктор на ходовые колеса, осуществляющие перемещение по рельсовым путям тележки.

Разгон и торможение происходят с постоянным ускорением, величина которого ограничивается технологическими факторами и условием отсутствия пробуксовки колес.

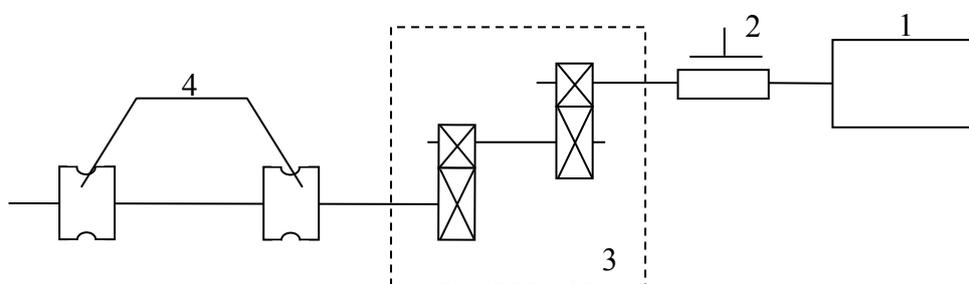


Рис. 2.4. Кинематическая схема механизма передвижения тележки крана:
1 — электродвигатель; 2 — тормоз; 3 - редуктор; 4 — ходовые колеса.

Кинематическая схема механизма передвижения тележки.

Для выбора мощности электропривода воспользуемся техническими данными механизма передвижения тележки:

- грузоподъемность $G = 450$ кН;
- скорость передвижения тележки $v = 0,5$ м/с²;
- диаметр ходового колеса $D_k = 0,4$ м;
- диаметр цапф (подшипников) колес $d = 0,095$ м;
- ускорение/замедление $a = 0,15$ м/с²;
- передаточное число редуктора $i_p = 31,5$;
- длительность цикла $t_{ц} = 180$ с;
- к.п.д. механизма $\eta_m = 0,85$;
- путь передвижения тележки $L = 20,5$ м.

Для выбора мощности электропривода тележки необходимо также знать вес тележки. Вес тележки грузоподъемностью 5 - 50 т. можно рассчитать по следующей формуле [8]:

$$m_m = m_0 + k_m \cdot Q^\alpha \quad (2.57)$$

где m_0 , k_m , α - коэффициенты, зависящие от режима работы крана:

Q - грузоподъемность, т.

Вес тележки по (2.14):

$$\begin{aligned} m_m &= 1 + 0,07 \cdot \left(\frac{450}{9,81} \right)^{1,15} = 6,7 \text{ т}; \\ G_m &= m_m \cdot g = 6,7 \cdot 9,81 = 65,727 \text{ кН}. \end{aligned} \quad (2.58)$$

Определение продолжительности включения электродвигателя тележки. Время пуска (торможения) двигателя с нагруженной и с нагруженной тележкой [6]:

$$t_{n1} = t_{n2} = t_{m1} = t_{m2} = \frac{v}{a} = \frac{0,5}{0,15} = 2,63 \text{ с}$$

Средняя скорость передвижения тележки за время пуска и торможения [6]:

$$v_{cp.n.} = v_{cp.m.} = \frac{a \cdot t_{n1}}{2} = \frac{0,15 \cdot 2,63}{2} = 0,25 \text{ м/с}$$

Путь нагруженной тележки при пуске и торможении [6]:

$$l_{n1} = l_{m1} = v_{cp.m.} \cdot t_{n1} = 0,25 \cdot 2,63 = 0,66 \text{ м}$$

Путь ненагруженной тележки при пуске и торможении [6]:

$$l_{n2} = l_{m2} = v_{cp.m.} \cdot t_{n2} = 0,25 \cdot 2,63 = 0,66 \text{ м}$$

Путь нагруженной тележки при установившейся скорости [6]:

$$l_{y1} = l - l_{n1} - l_{m1} = 20,5 - 0,66 - 0,66 = 19,18 \text{ м}$$

Путь ненагруженной тележки при установившейся скорости [6]:

$$l_{y2} = l - l_{n2} - l_{m2} = 20,5 - 0,66 - 0,66 = 19,18 \text{ м}$$

Время движения нагруженной тележки с установившейся скоростью [6]:

$$t_{y1} = \frac{l_{y1}}{v} = \frac{19,18}{0,5} = 38,36 \text{ с}$$

Время движения ненагруженной тележки с установившейся скоростью [6]:

$$t_{y2} = \frac{l_{y2}}{v} = \frac{19,18}{0,5} = 38,36 \text{ с}$$

Расчетная продолжительность включения электродвигателя тележки [6]:

$$ПВ_{pac} = \frac{\sum_{i=1}^2 t_{n1} + \sum_{i=1}^2 t_{y1} + \sum_{i=1}^2 t_{m1}}{t_u} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot (2,63 + 38,36 + 2,63)}{180} \cdot 100\% = 48\%$$

Расчет и приведение к валу двигателя моментов сопротивления.

Момент статической нагрузки (Н м) при движении с грузом [6, 7]:

$$M_{cm1} = \frac{K_p \cdot (G + G_m) \cdot \left(\mu \cdot \frac{d}{2} + f \right) \cdot 10^3}{i_p \cdot \eta_m};$$

где K_p - коэффициент трения реборд ходовых колес механизмов передвижения о рельсы;

μ - коэффициент трения подшипников ходовых колес механизмов передвижения;

f - коэффициент трения качения ходовых колес механизмов передвижения, м;

Значение коэффициентов K_p , μ и f приведены в таблице [7].

$$M_{cm1} = \frac{2,3 \cdot (450 + 65,727) \cdot \left(0,02 \cdot \frac{0,095}{2} + 0,5 \cdot 10^{-3} \right) \cdot 10^3}{31,5 \cdot 0,85} = 64,24 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.59)$$

Момент статической нагрузки при движении без груза [6,7]:

$$\begin{aligned} M_{cm2} &= \frac{K_p \cdot G_m \cdot \left(\mu \cdot \frac{d}{2} + f \right) \cdot 10^3}{i_p \cdot \eta_m} = \\ &= \frac{2 \cdot 15 \cdot \left(0,02 \cdot \frac{0,095}{2} + 0,5 \cdot 10^{-3} \right) \cdot 10^3}{31,5 \cdot 0,85} = 8,18 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned} \quad (2.60)$$

Предварительный выбор мощности электродвигателя.

Предварительный выбор двигателя производится по статическому среднеквадратичному (эквивалентному) моменту [6]:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_{\text{см1}}^2 \cdot (t_{n1} + t_{y1} + t_{m1}) + M_{\text{см2}}^2 \cdot (t_{n2} + t_{y2} + t_{m2})}{t_{n1} + t_{y1} + t_{m1} + t_{n2} + t_{y2} + t_{m2}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{64,24^2 \cdot (2,63 + 38,36 + 2,63) + 8,18^2 \cdot (2,63 + 38,36 + 2,63)}{2,63 + 38,36 + 2,63 + 2,63 + 38,36 + 2,63}} = 45,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Учтем на данном этапе неизвестную динамическую составляющую нагрузки с помощью коэффициента запаса K_3 [6]:

$$M_{\text{экв.рас}} = K_3 \cdot M_{\text{экв}} = 1,5 \cdot 45,8 = 68,7 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.62)$$

Требуемая номинальная скорость двигателя [6]:

$$n_n = \frac{v \cdot i_p \cdot 60}{D_k \cdot \pi} = \frac{0,5 \cdot 31,5 \cdot 60}{0,4 \cdot 3,14} = 752,39 \text{ об/мин} \quad (2.63)$$

Частоту вращения вала двигателя [6]:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 752,39}{30} = 78,7 \text{ с}^{-1}$$

Эквивалентная расчетная мощность электродвигателя [6]:

$$P_{\text{экв.рас}} = M_{\text{экв.рас}} \cdot \omega_n \cdot 10^{-3} = 68,7 \cdot 78,7 \cdot 10^{-3} = 5,41 \text{ кВт}$$

Пересчитанная на стандартную продолжительность включения ($PВ_n = 40\%$) мощность [6]:

$$P_{\text{экв.40\%}} = P_{\text{экв.рас}} \cdot \sqrt{\frac{PВ_{\text{рас}}}{PВ_n}} = 5,41 \cdot \sqrt{\frac{10,103}{40}} = 2,71 \text{ кВт}$$

Выбираем асинхронный электродвигатель с фазным ротором типа 4МТФ 132 L6 [8].

Каталожные данные двигателя:

- номинальная мощность $P_{2н} = 5,5$ кВт;
- номинальная частота вращения $n_n = 915$ об/мин;
- коэффициент мощности $\cos\varphi_n = 0,74$;
- напряжение статора $U_1 = 380$ В;
- напряжение ротора $U_2 = 213$ В;
- сила тока статора $I_1 = 14,8$ А;
- сила тока ротора $I_2 = 183$ А;
- максимальный момент $M_k = 135$ Н·м;
- момент инерции $J_p = 0,11$ кг·м².

Уточненный выбор мощности двигателя.

Уточненная частота вращения [6]:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 915}{30} = 95,82 \text{ c}^{-1}$$

Радиус приведения кинематической цепи между двигателем и исполнительным механизмом [6]:

$$\rho = \frac{D_k}{2 \cdot i_{pn}} = \frac{0,4}{2 \cdot 31,5} = 0,0063 \text{ м}$$

Суммарный приведенный момент инерции для нагруженного и ненагруженного механизма [6]:

$$\begin{aligned} J_{\Sigma 1} &= J_p \cdot \left(1 + \frac{0,2}{i_p^2} \right) + \left(\frac{G + G_m}{g} \right) \cdot 10^3 \cdot \rho^2 = \\ &= 0,11 \cdot \left(1 + \frac{0,2}{31,5^2} \right) + \left(\frac{450 + 65,727}{9,81} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,0063^2 = 2,19 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{\Sigma 2} &= J_p \cdot \left(1 + \frac{0,2}{i_p^2} \right) + \left(\frac{G_m}{g} \right) \cdot 10^3 \cdot \rho^2 = \\
 &= 0,11 \cdot \left(1 + \frac{0,2}{31,5^2} \right) + \left(\frac{65,727}{9,81} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,0063^2 = 0,37 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.
 \end{aligned}$$

Динамические моменты для нагруженного и ненагруженного механизма [6]:

$$M_{\text{дин}1} = \frac{a}{\rho} \cdot J_{\Sigma 1} = \frac{0,15}{0,0063} \cdot 2,19 = 52,14 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дин}2} = \frac{a}{\rho} \cdot J_{\Sigma 2} = \frac{0,15}{0,0063} \cdot 0,37 = 8,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Моменты сопротивления двигателя при пуске и торможении с грузом [6]:

$$M_{n1} = M_{cm1} + M_{\text{дин}1} = 64,24 + 52,14 = 116,38 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{m1} = M_{cm1} - M_{\text{дин}1} = 64,24 - 52,14 = 12,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Моменты сопротивления двигателя при пуске и торможении без груза [6]:

$$M_{n2} = M_{cm2} + M_{\text{дин}2} = 8,18 + 8,8 = 16,98 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{m2} = M_{cm2} - M_{\text{дин}2} = 8,18 - 8,8 = -0,62 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Эквивалентный момент двигателя при ПВ_{рас} [6]:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 M_{\text{II}i}^2 \cdot t_{\text{II}i} + \sum_{i=1}^2 M_{\text{Ti}}^2 \cdot t_{\text{Ti}} + \sum_{i=1}^2 M_{\text{cm}i}^2 \cdot t_{\text{cm}i}}{\sum_{i=1}^2 t_{yi} + \alpha \left(\sum_{i=1}^2 t_{\text{II}i} + \sum_{i=1}^2 t_{\text{Ti}} \right)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{116,38^2 \cdot 2,63 + 16,98^2 \cdot 2,63 + 12,1^2 \cdot 2,63 + 0,62^2 \cdot 2,63 + 64}{38,36 + 38,36 + 0,75 \cdot (2,63 \cdot 2 + 2,63 \cdot 2)}} =$$

$$= 48,43 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Эквивалентный момент двигателя при стандартной продолжительности включения (ПВн = 40%) [6]:

$$M_{\text{экв.40\%}} = M_{\text{экв}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{рас}}}{\text{ПВ}_n}} = 48,43 \cdot \sqrt{\frac{48}{40}} = 52,94 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{н.дв}} = 9550 \cdot \frac{P_n}{n_n} = 9550 \cdot \frac{5,5}{915} = 57,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Выбранный двигатель проходит по нагреву, так как условие $M_{\text{н.дв}}$ (57,4 Н м) > $M_{\text{экв}}$ (52,94 Н м) выполняется. Двигатель также проходит по перегрузочной способности, то есть выполняется условие M_k (135 Н·м) > $M_{\text{п1}}$ (116,38 Н·м).

2.4.3. Электропривод механизма передвижения моста.

Механизм передвижения моста и механизм передвижения тележки принципиально не отличается, то есть кинематические схемы передвижения аналогичны.

Для выбора мощности электропривода воспользуемся техническими данными механизма передвижения моста:

- грузоподъемность $G = 450 \text{ кН}$;
- скорость передвижения моста $v = 1,1 \text{ м/с}^2$;
- диаметр ходового колеса $D_k = 0,71 \text{ м}$;
- диаметр цапф (подшипников) колес $d = 0,2 \text{ м}$;
- ускорение/замедление $a = 0,18 \text{ м/с}^2$;

- передаточное число редуктора $i_p = 20$;
- длительность цикла $t_{ц} = 180$ с;
- к.п.д. механизма $\eta_m = 0,8$;
- путь передвижения тележки $L = 37,5$ м;
- длина пролета $L_n = 21$ м.

Для выбора мощности электропривода механизма передвижения моста необходимо также знать вес крана. Вес (T) крана грузоподъемностью 40-50 т можно рассчитать по следующей формуле [8]:

$$m_{кр} = k \cdot (L_n + 20), \quad (2.64)$$

где k - коэффициент, зависящий от режима работы крана.

Вес крана по (2.15):

$$m_m = 1,15 \cdot (21 + 20) = 47,15 \text{ м},$$

$$G_{кр} = m_{кр} \cdot g = 47,15 \cdot 9,81 \approx 463 \text{ кН}.$$

Определение продолжительности включения электродвигателя тележки.

Время пуска (торможения) двигателя нагруженного и ненагруженного механизма передвижения моста [6]:

$$t_{n1} = t_{n2} = t_{m1} = t_{m2} = \frac{v}{a} = \frac{1,1}{0,18} = 6,11 \text{ с}$$

Средняя скорость механизма передвижения моста за время пуска и торможения [6]:

$$v_{ср.п.} = v_{ср.т.} = \frac{a \cdot t_{n1}}{2} = \frac{0,18 \cdot 6,11}{2} = 0,55 \text{ м/с}$$

Путь нагруженного механизма передвижения моста при пуске и торможении [6]:

$$l_{n1} = l_{m1} = v_{cp.m.} \cdot t_{n1} = 0,55 \cdot 6,11 = 3,36 \text{ м}$$

Путь ненагруженного механизма передвижения моста при пуске и торможении [6]:

$$l_{n2} = l_{m2} = v_{cp.m.} \cdot t_{n2} = 0,55 \cdot 6,11 = 3,36 \text{ м}$$

Путь нагруженного механизма передвижения моста при установившейся скорости [6]:

$$l_{y1} = L - l_{n1} - l_{m1} = 37,5 - 3,36 - 3,36 = 30,78 \text{ м}$$

Путь ненагруженного механизма передвижения моста при установившейся скорости [6]:

$$l_{y2} = L - l_{n2} - l_{m2} = 37,5 - 3,36 - 3,36 = 30,78 \text{ м}$$

Время движения нагруженного механизма передвижения моста с установившейся скоростью [6]:

$$t_{y1} = \frac{l_{y1}}{v} = \frac{30,78}{1,1} = 27,98 \text{ с}$$

Время движения ненагруженного механизма передвижения моста с установившейся скоростью [6]:

$$t_{y2} = \frac{l_{y2}}{v} = \frac{30,78}{1,1} = 27,98 \text{ с}$$

Расчетная продолжительность включения электродвигателя [6]:

$$ПВ_{pac} = \frac{\sum_{i=1}^2 t_{n_i} + \sum_{i=1}^2 t_{y_i} + \sum_{i=1}^2 t_{m_i}}{t_{\mu}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot (6,11 + 27,98 + 6,11)}{180} \cdot 100\% = 44,67 \%$$

Расчет и приведение к валу двигателя моментов сопротивления.

Момент статической нагрузки при движении с грузом [6, 7]:

$$M_{cm1} = \frac{K_p \cdot (G + G_{kp}) \cdot \left(\mu \cdot \frac{d}{2} + f \right) \cdot 10^3}{i_p \cdot \eta_m} =$$

$$= \frac{1,5 \cdot (450 + 463) \cdot \left(0,02 \cdot \frac{0,2}{2} + 0,6 \cdot 10^{-3} \right) \cdot 10^3}{20 \cdot 0,8} = 222,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент статической нагрузки при движении без груза [6, 7]:

$$M_{cm2} = \frac{K_p \cdot G \cdot \left(\mu \cdot \frac{d}{2} + f \right) \cdot 10^3}{i_p \cdot \eta_m} = \frac{1,5 \cdot 463 \cdot \left(0,02 \cdot \frac{0,2}{2} + 0,6 \cdot 10^{-3} \right) \cdot 10^3}{20 \cdot 0,8} =$$

$$= 112,85 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Предварительный выбор мощности электродвигателя.

Предварительный выбор двигателя производится по статическому среднеквадратичному (эквивалентному) моменту [6]:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_{\text{см1}}^2 \cdot (t_{n1} + t_{y1} + t_{m1}) + M_{\text{см2}}^2 \cdot (t_{n2} + t_{y2} + t_{m2})}{t_{n1} + t_{y1} + t_{m1} + t_{n2} + t_{y2} + t_{m2}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{222,5^2 \cdot (6,11 + 27,98 + 6,11) + 112,85^2 \cdot (6,11 + 27,98 + 6,11)}{6,11 + 27,98 + 6,11 + 6,11 + 27,98 + 6,11}} = 176,41 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Учтем на данном этапе неизвестную динамическую составляющую нагрузки с помощью коэффициента запаса K_3 [6]:

$$M_{\text{экв.рас}} = K_3 \cdot M_{\text{экв}} = 1,5 \cdot 176,41 = 264,62 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Требуемая номинальная скорость двигателя [6]:

$$n_n = \frac{v \cdot i_p \cdot 60}{D_k \cdot \pi} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 60}{0,71 \cdot 3,14} = 592 \text{ об / мин}$$

Частоту вращения вала двигателя [6]:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 592}{30} = 62 \text{ с}^{-1}$$

Эквивалентная расчетная мощность электродвигателя [6]:

$$P_{\text{экв.рас}} = M_{\text{экв.рас}} \cdot \omega_n \cdot 10^{-3} = 264,62 \cdot 62 \cdot 10^{-3} = 16,4 \text{ кВт}$$

Пересчитанная на стандартную продолжительность включения (ПВн=40%) мощность [6]:

$$P_{\text{экв.40\%}} = P_{\text{экв.рас}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{рас}}}{ПВ_n}} = 16,4 \cdot \sqrt{\frac{44,67}{40}} = 17,33 \text{ кВт}$$

Выбираем асинхронный двигатель с фазным ротором типа 4МТН 200LB8 [8].

Каталожные данные двигателя:

- номинальная мощность $P_{2н} = 22$ кВт;
- номинальная частота вращения $n_n = 715$ об/мин;
- коэффициент мощности $\cos\varphi_n = 0,7$;
- напряжение статора $U_1 = 380$ В;
- напряжение ротора $U_2 = 241$ В;
- сила тока статора $I_1 = 57$ А;
- сила тока ротора $I_2 = 59$ А;
- максимальный момент $M_k = 800$ Н · м;
- момент инерции $J_p = 0,68$ кг · м².

Уточненный выбор мощности двигателя.

Уточненная частота вращения [6]:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 715}{30} = 74,84 \text{ c}^{-1}$$

Радиус приведения кинематической цепи между двигателем и исполнительным механизмом [6]:

$$\rho = \frac{D_k}{2 \cdot i_{pn}} = \frac{0,71}{2 \cdot 20} = 0,018 \text{ м}$$

Суммарный приведенный момент инерции для нагруженного и ненагруженного механизма [6]:

$$\begin{aligned}
 J_{\Sigma 1} &= J_p \cdot \left(1 + \frac{0,2}{i_p^2} \right) + \left(\frac{G + G_{kp}}{g} \right) \cdot 10^3 \cdot \rho^2 = \\
 &= 0,68 \cdot \left(1 + \frac{0,2}{20^2} \right) + \left(\frac{450 + 43}{9,81} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,018^2 = 30,83 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J_{\Sigma 2} &= J_p \cdot \left(1 + \frac{0,2}{i_p^2} \right) + \left(\frac{G_{kp}}{g} \right) \cdot 10^3 \cdot \rho^2 = \\
 &= 0,68 \cdot \left(1 + \frac{0,2}{20^2} \right) + \left(\frac{463}{9,81} \right) \cdot 10^3 \cdot 0,018^2 = 15,97 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.
 \end{aligned}$$

Динамические моменты для нагруженного и ненагруженного механизма [6]:

$$M_{дин1} = \frac{a}{\rho} \cdot J_{\Sigma 1} = \frac{0,18}{0,018} \cdot 30,83 = 308,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{дин2} = \frac{a}{\rho} \cdot J_{\Sigma 2} = \frac{0,18}{0,018} \cdot 15,97 = 159,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Моменты сопротивления при пуске и торможении с грузом [6]:

$$M_{n1} = M_{cm1} + M_{дин1} = 222,5 + 308,3 = 530,8 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{m1} = M_{cm1} - M_{дин1} = 222,5 - 308,3 = -85,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Моменты сопротивления при пуске и торможении без груза [13]:

$$M_{n2} = M_{cm2} + M_{дин2} = 112,85 + 159,7 = 272,55 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{m2} = M_{cm2} - M_{дин2} = 112,85 - 159,7 = -46,85 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эквивалентный момент сопротивления при ПВрас [13]:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 M_{ni}^2 \cdot t_{ni} + \sum_{i=1}^2 M_{mi}^2 \cdot t_{mi} + \sum_{i=1}^2 M_{cmi}^2 \cdot t_{yi}}{\sum_{i=1}^2 t_{yi} + \alpha \cdot \left(\sum_{i=1}^2 t_{ni} + \sum_{i=1}^2 t_{mi} \right)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{530,8^2 \cdot 6,11 + 272,55^2 \cdot 6,11 + 85,8^2 \cdot 6,11 - 46,85^2 \cdot 6,11 + 222,5^2 \cdot 27,98 + 112,85^2 \cdot 27,98}{2 \cdot 27,98 + 0,75 \cdot (6,11 \cdot 4)}} = 227,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эквивалентный момент двигателя при стандартной продолжительности включения ($PB_n=40\%$) [6]:

$$M_{\text{экв.40\%}} = M_{\text{экв}} \cdot \sqrt{\frac{PB_{\text{рас}}}{PB_n}} = 227,9 \cdot \sqrt{\frac{44,67}{40}} = 240,84 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{н.дв}} = 9550 \cdot \frac{P_n}{n_n} = 9550 \cdot \frac{22}{915} = 293,85 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Выбранный двигатель проходит по нагреву, так как условие $M_{\text{н.дв}} (293,85 \text{ Н} \cdot \text{м}) > M_{\text{экв}} (240,84 \text{ Н} \cdot \text{м})$ выполняется. Двигатель также проходит по перегрузочной способности, то есть выполняется условие $0,81 \cdot M_k (648,3 \text{ Н} \cdot \text{м}) > M_{\text{п1}} (530,8 \text{ Н} \cdot \text{м})$.

2.5 Выбор мощности двигателей пожарных насосов

Выше упоминалось, что в машинном зале для ликвидации пожара устанавливаются два пожарных насоса по бокам главных ворот. Пожарные насосы постоянно находятся в работе, то есть они работают в режиме циркуляции, поддерживая давление в трубопроводе.

Для привода пожарных насосов выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа 4А112 М2У3 [3].

Каталожные данные электродвигателя:

- номинальная мощность $P_n = 7,5 \text{ кВт}$;

- номинальное напряжение $U_n = 380 \text{ В}$;
- номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_n = 0.88$;
- номинальный к.п.д. $\eta_n = 87,5 \%$;
- синхронная скорость $n_o = 3000 \text{ об/мин}$;
- номинальное скольжение $S_n = 2,6 \%$;
- кратность пускового тока $I_n/I_n = 7.5$;
- кратность максимального момента $M_{\max}/M_n = 2.2$;
- кратность пускового момента $M_n/M_n = 2$.

2.6 Электрооборудование мастерской

В конструкциях насосных установок имеется множество металлических деталей, которые при эксплуатации подвергаются термическому и механическому воздействию, и как следствие этого процесса они изнашиваются. Для изготовления простых новых деталей, и поддержания старых в нормальном состоянии, а также для плановых и аварийных ремонтов узлов и агрегатов машин в мастерской устанавливается группа металлообрабатывающих станков и сварочных трансформаторов.

Перечень устанавливаемого оборудования:

- один сверлильный станок типа 2Н150. Станок предназначен для сверления, рассверливания, зенкования, развертывания и подрезания торцов.

Электродвигатели:

1) привод главного движения (4А132S4У3):

$P_n = 7,5 \text{ кВт}$; $\eta_n = 0,875$; $\cos\varphi_n = 0,86$; $K_n = 7,5$;

2) привод насоса охлаждения (4АА50В2У3):

$P_n = 0,12 \text{ кВт}$; $\eta_n = 0,63$; $\cos\varphi_n = 0,7$; $K_n = 4$.

Габариты станка (длина x ширина x высота) 1293x 875x3090 мм.

- два токарно-винторезных станка типа 1М63 для выполнения токарных и винторезных работ по черным и цветным металлам, точения конусов, нарезания резьб.

Электродвигатели:

1) привод главного движения (4A160S4Y3):

$P_n = 15$ кВт; $\eta_n=0,885$; $\cos\varphi_n=0.88$; $K_n = 7$;

2) привода быстрого хода каретки (4A80A4Y3):

$P_n = 1,1$ кВт; $\eta_n=0.75$; $\cos\varphi_n = 0.81$; $K_n = 5$;

3) привод насоса охлаждения (4AA50B2Y3):

$P_n = 0,12$ кВт; $\eta_n = 0,63$; $\cos\varphi_n = 0.7$; $K_n = 4$.

Габариты станка (длина x ширина x высота) 3530x1680x1290 мм.

- один фрезерный станок типа M654 для обработки плоскостей на изделиях из стали, чугуна и легких сплавов торцовыми, концевыми и фасонными фрезами.

Электродвигатели:

1) привод главного движения (4A160S4Y3):

$P_n = 15$ кВт; $\eta_n = 0,885$; $\cos\varphi_n = 0,88$; $K_n = 7$;

2) привод подачи (4A100L4Y3):

$P_n = 4$ кВт; $\eta_n = 0,84$; $\cos\varphi_n = 0,84$; $K_n = 6$.

Габариты станка (длина x ширина x высота) 2890x3165x3140 мм.

- один круглошлифовальный станок типа 3Б161, предназначенных для шлифования цилиндрических и пологих конических поверхностей изделий.

Электродвигатели:

1) привод шлифовального круга (4A132S4Y3):

$P_n = 7,5$ кВт; $\eta_n = 0,875$; $\cos\varphi_n = 0,86$; $K_n = 7,5$;

2) привод изделия (4A71B4Y3):

$P_n = 0,75$ кВт; $\eta_n = 0,72$; $\cos\varphi_n = 0,73$; $K_n = 4,5$;

3) привод гидропресса (4A90L6Y3):

$P_n = 1,5$ кВт; $\eta_n = 0,75$; $\cos\varphi_n = 0,74$; $K_n = 4,5$;

4) привод насоса охлаждения (4AA50B2Y3):

$P_n = 0,12$ кВт; $\eta_n = 0,63$; $\cos\varphi_n = 0,7$; $K_n = 4$.

Габариты станка (длина x ширина x высота) 4100x2100x1560 мм.

- один обдирочно-шлифовальный станок типа 3М-636 для заточки режущих инструментов.

Электродвигатели:

1) главный привод (4А132S4У3):

$P_n = 7,5$ кВт; $\eta_n = 0,875$; $\cos\varphi_n = 0,86$; $K_n = 7,5$.

- два сварочных трансформатора типа ТСД-2000-2: $S_n = 162$ кВА;
 $\eta_n = 0,9$; $\cos\varphi_n = 0,62$;

2.7 Определение суммарной электрической нагрузки насосной станции

Первым этапом проектирования системы электроснабжения является определение электрических нагрузок. По значению электрических нагрузок выбирают и проверяют электрооборудование системы электроснабжения, определяют потери мощности и электроэнергии. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надежность работы электрооборудования.

При проектировании системы электроснабжения или анализе режимов ее работы потребители электроэнергии (отдельный приемник электроэнергии, группа приемников, цех или завод в целом) рассматривают в качестве нагрузок. Различают следующие виды нагрузок: активную мощность P , реактивную мощность Q , полную мощность S и ток I .

В практике проектирования систем электроснабжения применяют различные методы определения электрических нагрузок, которые подразделяют на основные и вспомогательные. В первую группу входят методы расчета по:

- установленной мощности и коэффициенту спроса;
- средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней (статистический метод);

- средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок;
- средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм).

Вторая группа включает в себя методы расчета по:

- удельному расходу электроэнергии на единицу продукции при заданном объеме выпуска продукции за определенный период времени;
- удельной нагрузке на единицу производственной площади.

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчетов.

Определим расчетные нагрузки насосной станции по методу коэффициента спроса. Для определения расчетных нагрузок по этому методу необходимо знать установленную мощность P_n группы приемников и коэффициенты мощности $\cos\varphi$ и спроса K_c данной группы, определяемые по справочным материалам [9, 10]. Данный метод расчета является приближенным, поэтому его применение рекомендуют для предварительных расчетов и определения общезаводских нагрузок.

Расчетную нагрузку группы однородных по режиму работы приемников определяют по формулам [5]:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad (2.65)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad (2.66)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (2.67)$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ соответствует $\cos\varphi$ данной группы приемников.

Определим расчетную нагрузку для группы электроприемников (ЭП) — пожарные насосы.

Расчетные нагрузки группы ЭП по (2.65), (2.66) и (2.67) соответственно:

$$P_p = 0,8 \cdot 15 = 12 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 12 \cdot 0,54 = 6,48 \text{ кВар};$$

$$S_p = \sqrt{12^2 + 6,48^2} = 13,637 \text{ кВА}$$

Определим расчетную нагрузку для группы ЭП, работающих в повторно-кратковременном режиме (ПКР) — сварочные трансформаторы.

$$P_n = S_n \cdot \cos\varphi_n = 162 \cdot 0,62 = 100,44 \text{ кВт};$$

Определим расчетную нагрузку для группы ЭП, работающих в повторно-кратковременном режиме (ПКР) — сварочные трансформаторы.

$$P_n = S_n \cdot \cos\varphi_n = 162 \cdot 0,62 = 100,44 \text{ кВт};$$

$$P_{n,100\%} = n \cdot P_n \cdot \sqrt{ПВ} = 2 \cdot 100,44 \cdot \sqrt{0,6} = 155,6 \text{ кВт}$$

Расчетные нагрузки группы ЭП по (2.16), (2.17) и (2.18) соответственно:

$$P_p = 0,4 \cdot 155,6 = 62,24 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 62,24 \cdot 1,265 = 78,733 \text{ кВар};$$

$$S_p = \sqrt{62,24^2 + 78,733^2} = 100,36 \text{ кВА}$$

Для остальных групп ЭП расчеты сведены в табл. 2.1.

Суммарные активные и реактивные нагрузки, по насосной станции в целом, рассчитываются по следующим формулам [11]:

$$P_{\Sigma M} = (P_{\Sigma M0,4} + P_{\Sigma M10}) \cdot K_{pm} + \Delta P_m \quad (2.68)$$

$$Q_{\Sigma M} = (Q_{\Sigma M0,4} + Q_{\Sigma M10}) \cdot K_{pm} + \Delta Q_m \quad (2.69)$$

где $P_{\Sigma M0,4}$ и $Q_{\Sigma M0,4}$ - суммарная активная и реактивная расчетная нагрузка ЭП напряжением 0,4 кВ;

$P_{\Sigma M10}$ и $Q_{\Sigma M10}$ - суммарная активная и реактивная расчетная нагрузка ЭП напряжением 10 кВ;

ΔP_t , ΔQ_t - потери мощности в цеховых трансформаторах;

K_{pm} - коэффициент одновременности максимумов нагрузок отдельных групп приемников.

Потери в трансформаторах цеховых подстанций ΔP_T и ΔQ_T можно определить приближенно, по суммарным значениям нагрузок напряжением до 1000 В [5,11]:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{\Sigma M0,4} = 0,02 \cdot 250,396 = 4,547 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot S_{\Sigma M0,4} = 0,1 \cdot 250,396 = 22,736 \text{ кВар}.$$

$$\text{По (2.68): } P_{\Sigma M} = (190,871 + 16000) \cdot 1 + 4,547 = 16169,243 \text{ кВт}.$$

При реальном проектировании энергосистема задает экономическую (близкую к оптимальной) величину реактивной мощности $Q_3 \approx 0,3 \cdot P_{\Sigma M}$ в часы максимальных (активных) нагрузок системы, передаваемой в сеть потребителя.

$$Q_3 = 0,3 \cdot P_{\Sigma M} = 0,3 \cdot 16169,243 = 4850,773 \text{ кВар}.$$

По этой величине, исходя из баланса реактивных нагрузок на шинах (6-10 кВ) пункта приема электроэнергии (ППЭ), определяется величина компенсирующих устройств:

$$Q_{ky} = Q_{\Sigma M} - Q_3.$$

В тех случаях, когда величина Q_{ky} получается менее 300 кВар, равна нулю или принимает отрицательное значение, то компенсирующих устройств не требуется.

Полная расчетная мощность в общем случае определяется по выражению:

$$S_{M\Sigma} = \sqrt{P_{M\Sigma}^2 + Q_3^2} = \sqrt{16169,243^2 + 4850,773^2} = 16881,185 \text{ кВА}.$$

На насосной станции основными ЭП являются синхронные двигатели (СД). Отличительной особенностью СД от других типов электродвигателей является то, что они могут работать с опережающим $\cos\phi$, то есть выдавать в

сеть реактивную мощность, минимальную величину которой по условию устойчивой работы СД можно определить по следующей формуле [5, 10]:

$$Q_{сд.мин} = P_n \cdot K_3 \cdot tg\varphi_n, \quad (2.70)$$

где P_n - номинальная активная мощность СД, кВт;

K_3 — коэффициент загрузки СД по активной мощности;

$tg\varphi_n$ — номинальный коэффициент реактивной мощности.

По (2.70): $Q_{сд.мин} = (8 \cdot 2000) \cdot 0,925 \cdot (-0,484) = -7163,2$ кВар.

Как видно из табл.2.1 насосная станция потребляет реактивную мощность $Q_{\Sigma M0,4} = 162,07$ кВар, но учитывая, что насосная станция работает на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ), на котором большое количество потребителей реактивной мощности предполагается, что СД будут выдавать реактивную мощность потребителям НПЗ.

Тогда по (2.69): $Q_{\Sigma M} = (162,07 - 7163,2) \cdot 1 + 22,736 = -6991,736$ кВар.

Полная расчетная мощность в данном случае:

$$S_{\Sigma M} = \sqrt{P_{\Sigma M}^2 + Q_{\Sigma M}^2} = \sqrt{16169,243^2 + (-6991,736)^2} = 17616,151 \text{ кВА}.$$

Средневзвешенный коэффициент мощности:

$$\cos \varphi_{с.в.} = \frac{P_{\Sigma M}}{S_{\Sigma M}} = \frac{16169,243}{17616,151} = 0,918 \quad (2.71)$$

На рис.2.5 - 2.12 приведены графики нагрузок для отдельных групп ЭП и насосной станции в целом.

Насосная станция подает воду на НПЗ, технологический процесс непрерывный, станция работает в 3 смены без выходных дней.

Число часов использования максимума нагрузки насосной станции по рис.2.13:

$$T_{MAX} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i}{P_{max}} = \frac{134853191,6}{16190,871} = 8342 \text{ час.}$$

где P_{max} - максимальная активная мощность, потребляемая электроприемниками насосной станции.

Для сравнения, определения расчетную нагрузку насосной станции методом математической статистики. По этому методу расчетную нагрузку группы электроприемников определяют двумя показателями: средней нагрузкой P_{cp} и среднеквадратическим отклонением $\sigma_{cp.kv}$ из уравнения [5]:

Для сравнения, определения расчетную нагрузку насосной станции методом математической статистики. По этому методу расчетную нагрузку группы электроприемников определяют двумя показателями: средней нагрузкой P_{cp} и среднеквадратическим отклонением $\sigma_{cp.kv}$ из уравнения [5]:

$$P_p = P_{cp} \mp \beta \cdot \sigma_{cp.kv} \quad (2.72)$$

где β - принятая кратность меры рассеяния.

При выборе параметров токоведущих частей без учета теплового износа изоляции принимается расчетное значение $\beta_p = +2.5$, то есть расчетная нагрузка в этом случае равна:

$$P_p = P_{cp} + 2,5 \cdot \sigma_{cp.kv} \cdot \quad (2.73)$$

Средняя нагрузка определяется по формуле:

$$P_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}. \quad (2.74)$$

Среднеквадратичная нагрузка определяется по выражению:

$$P_{cp.kв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}. \quad (2.75)$$

Среднеквадратичное отклонение для группового графика нагрузок определяется по формуле:

$$\sigma_{cp.kв} = \sqrt{P_{cp.kв}^2 - P_{cp}^2}. \quad (2.76)$$

Суточный график нагрузок насосной станции представлен на рис. 2.12 (табл. 2.9). По суточному графику нагрузок определяем значения P_{cp} и $P_{cp.kв}$.

При расчете нагрузок методом математической статистики в качестве максимальной (100% - ной) нагрузке принимаем сумму номинальных мощностей всех электроприемников насосной станции (см. табл. 2.11).

Таблица 2.11

Часы	P,%	P,кВт	Часы	P,%	P,кВт
0	98,91887	16218,961	12	99,00769	16233,525
1	98,91887	16218,961	13	99,81548	16365,972
2	98,91887	16218,961	14	99,75114	16355,422
3	98,91887	16218,961	15	99,32982	16286,342
4	98,91887	16218,961	16	100,0000	16396,226
5	98,91887	16218,961	17	100,0000	16396,226
6	98,91887	16218,961	18	99,44982	16306,017

7	98,91887	16218,961	19	99,38539	16295,453
8	100,0000	16396,226	20	99,06326	16242,636
9	100,0000	16396,226	21	99,80674	16364,539
10	99,39423	16296,903	22	99,74231	16353,975
11	99,32982	16286,342	23	99,09548	16247,919

Средняя нагрузка по (2.74):

$$P_{cp} = \frac{390971,63}{24} = 16259,287 \text{ кВт.}$$

Среднеквадратичная нагрузка по (2.75):

$$P_{cp.kв} = \sqrt{\frac{6344858259}{24}} = 16259,430 \text{ кВт.}$$

Среднеквадратичное отклонение по (2.76):

$$\sigma_{cp.kв} = \sqrt{16259,287^2 - 16259,430^2} = 68,192 \text{ кВт.}$$

Расчетная нагрузка по (2.73):

$$P_p = 16259,287 + 2,5 \cdot 68,192 = 16429,767 \text{ кВт.}$$

Расчётное значение нагрузки по методу математической статистики получилось больше, чем по методу коэффициента спроса поэтому в дальнейших расчетах будем использовать значение расчетной нагрузки, определенное по методу коэффициента спроса.

3 ВЫБОР СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

3.1 Выбор типа пункта приема электроэнергии

Система электроснабжения любого промышленного предприятия может быть разделена на две подсистемы: питания, распределения энергии внутри предприятия.

В систему питания входят питающие линии электропередач (ЛЭП) и пункт приема электроэнергии (ППЭ), состоящий из устройства высшего напряжения (УВН), силовых трансформаторов и распределительного устройства низшего напряжения (РУНН).

ППЭ называется электроустановка, служащая для приема электроэнергии от источника питания (ИП) и распределяющая (или преобразующая и распределяющая) ее между электроприемниками предприятия непосредственно или с помощью других электроустановок. Число и тип ППЭ зависят от мощности потребляемой предприятием и от характера размещения электрических нагрузок на его территории.

При близости ИП к потребителям электроэнергии с суммарной потребляемой мощностью в пределах пропускной способности линий 6-10 кВ электроэнергия подводится к РП, которые служат для приема и распределения электроэнергии без ее преобразования или трансформации. От РП электроэнергия распределяется по цеховым ТП 6-10/0,4-0,69 кВ и подводится также к высоковольтным электроприемникам 6 -10 кВ. В этих случаях напряжения питающей и распределительных сетей совпадают.

ГПП называется подстанция, получающая питание от энергосистемы и преобразующая и распределяющая электроэнергию на более низком напряжении (6-35 кВ) по предприятию или по отдельным его районам.

ПГВ называется подстанция с первичным напряжением 35 - 220 кВ, выполненная, как правило, по упрощенным схемам коммутации на первичном напряжении, получающая питание непосредственно от

энергосистемы или от УРП данного предприятия или предназначенная для питания отдельного объекта (цеха) или района.

В качестве ППЭ выбираем ПГВ.

3.2 Выбор трансформаторов ППЭ

Выбор трансформаторов ППЭ производится согласно ГОСТ 14209-85, то есть по расчетному максимуму нагрузки $S_{\Sigma m}$ по насосной станции намечаются два стандартных трансформатора (первичное напряжение 35-220 кВ, вторичное 6-10 кВ).

Намеченные трансформаторы проверяются на эксплуатационную (систематическую) и послеаварийную перегрузки. В ряде случаев проверка на эксплуатационную перегрузку не имеет смысла, тогда проверка ведется только по послеаварийному режиму.

Трансформаторы ПГВ могут иметь мощности 4-80 МВА и всегда принимаются с регулированием под нагрузкой (РПН).

Определяем номинальную мощность трансформаторов по условию [5]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{\Sigma M}}{2 \cdot 0,7};$$
$$S_{ном.т} = \frac{17616,151}{2 \cdot 0,7} = 12583 \text{ кВА}$$

Предварительно принимаем к установке трансформаторы типа ТДН-10000 с $S_{ном.т} = 10\ 000$ кВА.

Определим среднеквадратичную полную мощность по суточному графику нагрузок насосной станции (рис.2.12) по одной из следующих формул [12]:

$$S_{\text{ср.кв}} = \frac{1}{\cos \varphi_{\text{с.в}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} P_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{24} t_i}}; \quad (3.1)$$

$$S_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} S_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{24} t_i}}; \quad (3.2)$$

где $\cos \varphi_{\text{с.в}}$ - средневзвешенный коэффициент мощности.

Полная среднеквадратичная мощность по (3.2)

$$S_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{7352265216}{24}} = 17502,7 \text{ кВА}.$$

Так как, $S_{\text{ср.кв}}$ (17502,7 кВА) < $2 \cdot S_{\text{ном.т}}$ (20000 кВА), то проверки на эксплуатационную перегрузку не требуется.

Проверка по послеаварийному режиму.

Определим начальную нагрузку K_1 эквивалентного графика из выражения [13]:

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{ном.м}}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}, \quad (3.3)$$

где S_i - полные мощности (из графика нагрузок) при которых трансформатор недогружен, то есть $S_i < S_{\text{ном.м}}$;

t_i — интервалы времени, в которые трансформатор недогружен.

В данном случае $K_1 = 0$.

Определим предварительное значение нагрузки K_2' эквивалентного графика нагрузки из выражения [13]:

$$K_2' = \frac{1}{S_{ном.м}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (S_i')^2 \cdot h_i}{\sum_{i=1}^m h_i}},$$

где S_i' — полные мощности (из графика нагрузок) при которых трансформатор перегружен, то есть $S_i' > S_{ном.м}$;

h_i - интервалы времени, в которые трансформатор перегружен.

В данном случае

$$K_2' = \frac{1}{10000} \cdot 17502,7 = 1,75$$

Сравним предварительное значение K_2' с K_{max} исходного графика; если $K_2' \geq 0,9 \cdot K_{max}$, то принимаем $K_2 = K_2'$; если $K_2' < 0,9 \cdot K_{max}$, то принимаем $K_2 = 0,9 \cdot K_{max}$.

$$0,9 \cdot K_{max} = 0,9 \cdot \frac{S_{\Sigma M}}{S_{ном.т}} = 0,9 \cdot \frac{17616,151}{10000} = 1,58$$

Тогда $K_2 = K_2' = 1,75$

Для перегрузки $t_n = 24$ часа (по графику нагрузок), $K_1 = 0$, системы охлаждения трансформатора «Д» и среднегодовой температуры региона $+8.4^\circ\text{C}$ (для Омска) $K_{2доп} = 1,4$ [13, 14].

В данном случае $K_2 > K_{2доп}$. Таким образом, трансформаторы типа ТДН-10000 не удовлетворяют условиям выбора. Берём более мощный трансформатор ТДН – 16000 с $S_{ном.т} = 16000$ кВА.

$$S_{ср.кв} (17502,7 \text{ кВА}) < 2 \cdot S_{ном.т} (32000 \text{ кВА}).$$

Тогда $K_1 = 0$, а $K_2' = \frac{1}{16000} \cdot 17502,7 = 1,09$, отсюда:

$$0,9 \cdot K_{max} = 0,9 \cdot \frac{S_{\Sigma M}}{S_{ном.т}} = 0,9 \cdot \frac{17616,151}{16000} = 0,99$$

Так как $K_2' > 0,9 K_{max}$, то $K_2 = K_2' = 1,09$.

Выбранный трансформатор ТДН – 16000 удовлетворяет условию $K_2 < K_{2\text{доп}}$.

3.3 Выбор УВН и рационального напряжения

Для выбора УВН и рационального напряжения питания необходимо наметить несколько вариантов возможных технических решений, лучший из которых определяется на основании технико-экономического расчета (ТЭР).

Чтобы наметить варианты рационального напряжения для ТЭР воспользуемся формулой [15]:

$$U_{\text{рац}} = 16 \cdot \sqrt[4]{P_{\Sigma M} \cdot l} = \sqrt[4]{16,190 \cdot 4} = 45,37 \text{ кВ}$$

где $P_{\Sigma M}$ - расчетная активная мощность, МВт;

l - расстояние от ИП до ППЭ, км.

Рациональное напряжение для расстояния $l = 4$ км и расчетного максимума $P_{\Sigma M} = 16,190$ МВт находится в пределах 35 -110 кВ, таким образом для рассмотрения намечаем варианты с напряжением 35 и 110 кВ.

При выборе УВН учитываются следующие факторы:

- расстояние до системы;
- уровень надежности потребителей;
- вид схемы питания: радиальная, магистральная и т.п.;
- окружающая среда:
 - особые условия надежности.

При проектировании схемы электроснабжения предприятия наряду с надежностью и экономичностью необходимо учитывать такие требования, как характер размещения нагрузок на территории предприятия, потребляемую мощность, наличие собственного источника питания.

Для предприятий средней и большой мощности, получающих питание от районных сетей 35, 110, 220 и 330кВ, широко применяют схему глубокого ввода. Такая схема характеризуется максимально возможным приближением высшего напряжения к электроустановкам потребителей с минимальным количеством ступеней промежуточной трансформации и аппаратов.

Линии глубоких вводов проходят по территории предприятия и имеют ответвления к нескольким подстанциям глубоких вводов (ПГВ), расположенных близко от питаемых ими нагрузок. Обычно ПГВ выполняются на первичном напряжении 35-220кВ без сборных шин.

Наибольшее распространение получили следующие схемы:

- схема отделитель-короткозамыкатель при питании предприятия по магистральной линии и разъединитель-короткозамыкатель при питании по радиальной линии. В данной схеме отключающий импульс от релейной защиты подается на короткозамыкатель, который создает искусственное короткое замыкание, что приводит к отключению головного выключателя линии. При питании по магистральной линии отделитель во время безтоковой паузы срабатывает, отделяя УВН от линии, и через выдержку времени устройство автоматического повторного включения (АПВ) на головном выключателе подает на него включающий импульс и линия вновь включается, обеспечивая электроснабжение оставшихся потребителей. При радиальной схеме устройство АПВ на головном выключателе не устанавливается, следовательно отделитель в схеме не нужен. Применение данной схемы, при малых расстояниях от подстанции до короткозамыкателя (до 5 км), не рекомендуется из-за возникновения километрического эффекта;

- схема глухого присоединения линии к трансформатору через разъединитель является более дешевой по сравнению с предыдущей при малых расстояниях (рис.3.1а). Отключающий импульс в данной схеме подается по контрольному кабелю на головной выключатель;

- в последнее время широкое распространение получила схема с выключателем на стороне высокого напряжения (рис.3.1б).

В нашем случае, при длине ЛЭП до насосной станции равное 4 км, потребители электроэнергии I категории, подходят две последние, выше указанные, схемы (рис.3.1). Питание осуществляется по радиальным схемам с нормальной окружающей средой.

С учётом вышеперечисленного для рассмотрения в ТЭР намечаем четыре варианта:

- 1) $U = 110$ кВ и УВН по схеме на рис. 3.1а;
- 2) $U = 35$ кВ и УВН по схеме на рис. 3.1а;
- 3) $U = 110$ кВ и УВН по схеме на рис. 3.1б;
- 4) $U = 35$ кВ и УВН по схеме на рис. 3.1б.

Окончательный вариант выберем на основании технико-экономического расчета (ТЭР).

Целью технико-экономического расчета является определение приведенных годовых затрат на монтаж и эксплуатацию оборудования. Наиболее экономичным решением электроснабжения является вариант, отвечающий требованиям и имеющий наименьшие приведенные затраты. Если приведенные затраты отличаются на 5-10% (возможная точность расчетов), предпочтение следует отдавать варианту с меньшими капиталовложениями, с лучшими качественными показателями.

При проведении ТЭР критерием оптимальности решения являются меньшие расчетные (приведенные) затраты, определяемые по следующему выражению [14]:

$$Z_i = I_i + E_n \cdot K_i + Y_i, \quad (3.5)$$

где $E_n = 0,12$ — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год;

K - капиталовложения в электроустановку, руб/год;

И - годовые издержки производства, руб/год:

$$И = И_{a.o} + И_{пот}, \quad (3.6)$$

$И_{a.o} = \alpha_{a.o} \cdot К$ - амортизационные отчисления и издержки на обслуживание электроустановки (текущий ремонт и зарплата персонала), руб/год;

$\alpha_{a.o}$ - норма отчислений, о.е;

$И_{ном}$ - издержки, вызванные потерями электроэнергии в проектируемой электроустановке, руб/год:

$$И_{пот} = И_{пот.т} - И_{пот.л} \quad (3.7)$$

$И_{пот.т}$ и $И_{пот.л}$ - издержки, вызванные потерями электроэнергии в трансформаторах и линиях электропередач (ЛЭП) соответственно, руб год.

Стоимость потерь энергии группы одинаковых параллельно включенных трансформаторов, руб/год [16]:

$$И_{ном.г} = n \cdot \Delta P_{\text{хх}} \cdot C_{\text{э.х}} \cdot T + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\Sigma M}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot C_{\text{э.к}} \cdot \tau \quad (3.8)$$

где n - число трансформаторов в группе;

$\Delta P_{\text{х}}$ и $\Delta P_{\text{к}}$ - соответственно номинальные потери холостого хода и короткого замыкания, кВт;

$C_{\text{э.х}}$ и $C_{\text{э.к}}$ - стоимость 1 кВт·ч потерь энергии холостого хода и короткого замыкания соответственно (см. рис.6.2[16]), руб/(кВт·ч);

T — время работы трансформаторов (при его работе круглый год $T = 8760$ ч/год), ч/год;

$S_{\Sigma m}$ - расчетная полная мощность, протекающая по всем трансформаторам группы, кВА;

$S_{\text{НОМ}}$ — номинальная мощность трансформатора, кВА;

τ - время максимальных потерь, ч/год [5]:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{MAX}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \quad (3.9)$$

Стоимость потерь энергии для линий, руб/год [16]:

$$I_{\text{ПОТ.Л}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{Л}} \cdot C_{\mathcal{E}} \quad (3.10)$$

Потери энергии в ЛЭП, кВт · ч/год

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{Л}} = \frac{S^2}{U^2} \cdot \left(r_0 \cdot \frac{l}{n} \right) \cdot \tau \cdot 10^{-3} \quad (3.11)$$

где S - полная мощность, передаваемая по ЛЭП, ВА;

U — номинальное напряжение ЛЭП, кВ;

r_0 — удельное активное сопротивление ЛЭП, Ом/км;

l - длина ЛЭП, км;

n - число параллельно включенных ЛЭП.

Потери энергии в трансформаторах

$$\Delta \mathcal{E} = n \cdot \Delta P_{\text{XX}} \cdot T + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} \left(\frac{S_{\Sigma M}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau \quad (3.12)$$

Ущерб от перерыва электроснабжения определяется по формуле:

$$Y = T_{\text{пер}} \cdot P_{\text{р}} \cdot Y_0, \quad (3.13)$$

где Y_0 - удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии, руб/(кВт·ч);

$T_{\text{пер}}$ — среднегодовое время перерыва электроснабжения, ч/год;

P_p - расчетная активная мощность, потребляемая предприятием, кВт.

Для определения времени перерыва электроснабжения необходимо произвести оценку надежности элементов электроснабжения по следующим выражениям [10]:

параметр потока отказов линии или присоединения

$$\lambda_{a\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_{ai} \quad (3.14)$$

среднее время восстановления после отказа одной линии или присоединения

$$T_{B\Sigma} = \frac{\sum \lambda_{ai} \cdot T_{Bi}}{\lambda_{a\Sigma}} \quad (3.15)$$

коэффициент аварийного простоя

$$k_a = \lambda_{a\Sigma} \cdot T_{B\Sigma}, \quad (3.16)$$

коэффициент планового простоя

$$k_n = 1,2 \cdot k_{ni,max}; \quad (3.17)$$

коэффициент аварийного простоя, когда первая линия отключена для планового ремонта и в это время вторая отключается из-за повреждения, соответственно для второй линии

$$k_{2a,n} = 0,5 \cdot \lambda_{a\Sigma} \cdot k_n \text{ при } k_n \leq T_{B\Sigma}; \quad (3.18)$$

$$k_{2a.n} = k_a \cdot (k_n \cdot 0,5 \cdot T_{в\Sigma}) \text{ при } k_n > T_{в\Sigma}; \quad (3.19)$$

коэффициент аварийного простоя двух линий или присоединений при одинаковых параметрах надежности

$$k_{пер} = k_a^2 + 2 \cdot k_{2a.n}, \quad (3.20)$$

среднегодовое время перерыва электроснабжения

$$T_{пер} = k_{пер} \cdot 8760, \quad (3.21)$$

где λ_{ai} — параметр потока отказов одного элемента системы электроснабжения (СЭС), 1/год;

T_{vi} — среднее время восстановления после отказа, лет;

$k_{ni.max}$ — максимальный коэффициент аварийного простоя одного элемента СЭС входящего в данное присоединение, о.е.

ТЭР для варианта №1.

Для того, чтобы учесть капитальные затраты на ЛЭП, необходимо предварительно выбрать сечение провода. При выборе сечения провода необходимо учесть потери мощности в трансформаторах ППЭ.

Каталожные данные трансформатора ТДН-16000/110 [14]:

$$\Delta P_x = 18 \text{ кВт}; \Delta P_k = 85 \text{ кВт}; U_k = 10,5\%; I_x = 0,7\%; S_{ном} = 16000 \text{ кВА.}$$

Потери мощности при работе двух трансформаторов

$$\Delta P_m = 2 \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{2} \Delta P_{кз} \left(\frac{S_{\Sigma M}}{S_{ном}} \right)^2 = 2 \cdot 18 + \frac{1}{2} \cdot 85 \left(\frac{17616,151}{16000} \right)^2 = 87,518 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 2 \cdot \frac{I_x}{100} \cdot S_{ном} + \frac{1}{2} \cdot \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_{\Sigma M}^2}{S_{ном}} = 2 \cdot \frac{0,7}{100} \cdot 16000 + \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{17616,151}{16000} = 1242,26 \text{ кВар}$$

Потери мощности при работе одного трансформатора

$$\Delta P'_m = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \left(\frac{S_{\Sigma M}}{S_{ном}} \right)^2 = 18 + 85 \cdot \left(\frac{17616,151}{16000} \right)^2 = 121,03 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q'_m = \frac{I_x}{100} \cdot S_{ном} + \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_{\Sigma M}^2}{S_{ном}} = \frac{0,7}{100} \cdot 16000 + \frac{10,5}{100} \cdot \frac{17616,151}{16000} = 2148,53 \text{ кВар}$$

Расчетная мощность, с учетом потерь мощности в трансформаторах ППЭ, в нормальном и послеаварийном режимах

$$S_{p.нр} = \sqrt{(P_{\Sigma M} + \Delta P'_m)^2 + (Q_{\Sigma M} + \Delta Q'_m)^2} = \sqrt{(16190,871 + 87,518)^2 + (-6991,736 + 1242,26)^2} = 17243,513 \text{ кВА}$$

$$S_{p.пав} = \sqrt{(P_{\Sigma M} + \Delta P'_m)^2 + (Q_{\Sigma M} + \Delta Q'_m)^2} = \sqrt{(16190,871 + 121,03)^2 + (-6991,736 + 2148,53)^2} = 16994,988 \text{ кВА}$$

Выбор сечения проводов ЛЭП.

Выбор сечений проводов для напряжений 35 кВ и выше, согласно ПУЭ, производится по нагреву расчетным током. Проверка проводится по экономической плотности тока и по условиям короны. Принимается большее из полученных значений. При этом проводники любых назначений должны удовлетворять условиям выбора по нагреву как в нормальных, так и послеаварийных режимах, а также в период ремонта и возможной неравномерности распределения токов между линиями.

Определим расчетный ток нормального и послеаварийного режимов соответственно

$$I_{p.нр} = \frac{S_{p.нр}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U} = \frac{17243,513}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 45,3 \text{ А} \quad (3.22)$$

$$I_{p.пав} = \frac{S_{p.пав}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{17243,513}{\sqrt{3} \cdot 110} = 89,3 \text{ А}$$

Выбираем провод марки АС-70/11 с $I_{\text{доп}} = 265$ А и сечением $F = 70$ мм², так как минимально допустимое сечение по условию потерь на корону согласно ПУЭ 70 мм².

Сечение провода по экономической плотности тока

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{э}}} = \frac{45,3}{1} = 45,3 \text{ мм}^2, \quad (3.23)$$

где $j_{\text{э}} = 1$ - экономическая плотность тока при $T_{\text{max}} > 5000$ ч [17], А/мм².

Определим потери напряжения в ЛЭП в послеаварийном режиме:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{ПАР}} &= \frac{(P_{\Sigma M} + \Delta P'_m) \cdot r_0 \cdot l + (Q_{\Sigma M} + \Delta Q'_m) \cdot x_0 \cdot l}{U_n^2} \cdot 100\% = \\ &= \frac{(16190,871 + 121,03) \cdot 0,428 \cdot 4 + (6991,736 + 2148,53) \cdot 0,444 \cdot 4}{110^2} \cdot 100\% = 1,6\% \end{aligned}$$

Для послеаварийного режима допускаются потери напряжения до 10% .

Окончательно выбираем провода марки АС-70/11 с $I_{\text{доп}} = 265$ А.

ЛЭП на железобетонных опорах.

Капитальные затраты.

$$K = K_{\text{тр}} + K_{\text{ору}} + K_{\text{лэп}} + K_{\text{кл.лэп}} = (2 \cdot 53000) + (2 \cdot 11500) + (2 \cdot 7700 \cdot 4) + (2 \cdot 470 \cdot 4) = 194360 \text{ руб.}$$

Издержки.

Время максимальных потерь по (3.9):

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{MAX}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{8342}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 8043 \text{ ч}$$

Потери энергии в ЛЭП по (3.11):

$$\Delta \mathcal{E}_n = \frac{17243,513^2}{110^2} \cdot \left(0,428 \cdot \frac{4}{2} \right) \cdot 8043 \cdot 10^{-3} = 169183,48 \frac{\text{кВт}}{\text{ч} \cdot \text{год}}$$

По (3.10): $I_{\text{пот.л}} = 169183,48 \cdot 0,0075 = 1268,876$ руб/год.

Потери энергии в трансформаторах

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} &= n \cdot \Delta P_{\text{xx}} \cdot T + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\Sigma M}}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot \tau = 2 \cdot 18 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 85 \left(\frac{17616,151}{16000} \right)^2 \cdot 8043 = \\ &= 729730,74 \frac{\text{кВт}}{\text{ч} \cdot \text{год}} \end{aligned}$$

В данном случае $C_{\text{эx}} \approx C_{\text{эк}} = 0,0075$ руб/(кВт-ч), тогда

$I_{\text{пот.т}} = \Delta \mathcal{E}_t \cdot C_{\text{э}} = 729730,74 \cdot 0,0075 = 5472,98$ руб / год.

Издержки на обслуживание и амортизационные отчисления

$$\begin{aligned} I_{\text{а,о}} &= \alpha_{\text{а.оорy}} \cdot K_{\text{орy}} + \alpha_{\text{а.о.тр}} \cdot K_{\text{тр}} + \alpha_{\text{а.о.лэп}} \cdot K_{\text{лэп}} + \alpha_{\text{а.о.кл}} \cdot K_{\text{кл}} = \\ &= 0,094 \cdot 23000 + 0,094 \cdot 106000 + 0,028 \cdot 61600 + 0,073 \cdot 3760 = \\ &= 14125,28 \text{ руб/год.} \end{aligned}$$

Годовые издержки по (3.6):

$$I = 14125,28 + (5472,98 + 1268,876) = 20867,13 \text{ руб / год.}$$

Ущерб.

По (3.13): $\lambda_{\text{а}\Sigma} = 0,01 + 0,088 + 0,008 + 0,06 + 0,01 + 0,2 = 0,332$ 1/год.

$$\text{По(3.14): } T_{\text{в}\Sigma} = \frac{0,01 \cdot 0,02 + 0,044 \cdot 0,000036 + 0,008 \cdot 0,0017 + 0,06 \cdot 0,0023 + 0,01 \cdot 0,00025 + 0,2 \cdot 0,017}{0,332} = 0,01129 \text{ лет}$$

По (3.15): $k_{\text{а}} = 0,332 \cdot 0,01129 = 0,00375$ о.е.

По (3.16): $k_{\text{н}} = 1,2 \cdot 0,074 = 0,0888$ о.е.

По (3.18): $k_{2\text{а.н}} = 0,00375 \cdot (0,0888 - 0,5 \cdot 0,01129) = 0,00031$

о.е.

По (3.19): $k_{\text{пер}} = 0,00375^2 + 2 \cdot 0,00031 = 0,0000634$ о.е.

По (3.20): $T_{\text{пер}} = 0,0000634 \cdot 8760 = 5,55$ ч/ год.

По (3.12): $Y = 5,55 \cdot (16169,243 + 87,518) \cdot 0,6 = 54135$ руб/

год.

Приведенные затраты по (3.5):

$$3 = 0,12 \cdot 194360 + 20867,14 + 54135 = 98325,34 \text{ руб/год.}$$

Для остальных вариантов расчеты сведены в табл.3.1 и табл.3.2.

Согласно рекомендации СН174-75, если затраты варианта с большим напряжением превосходят на 10-12%, то следует принимать вариант с большим напряжением, как наиболее перспективный.

В данном случае по результатам ТЭР проходит четвертый вариант.

Таблица 3.2 Результаты ТЭР

№	Наименование оборудования	Стоимость, руб	пшт	Кап. затраты, руб.	Издержки					Ущерб руб/год	Затраты, руб/год
					$\lambda_{a.o.}$ о.е.	$I_{a.o.}$ руб/год	$C_{э,}$ руб/(кВт	$\Delta \mathcal{E},$ (кВт ч)/год	$I_{пот,}$ руб/год		
1	АС - 70/11	30800	2	61600	0,028	1724,8	0,0075	169183,5	1268,87	54135	98325,3
	ТДН-	53000	2	106000	0,094	9964					
	ОРУ	11500	2	23000	0,094	2162		729730,7	5472,98		
	Контр. Кабель	1880		3760	0,073	274,48					
2	АС - 150/19	9200	2	18400	0,028	515,2	0,0075	3098510	23238,83	53257	86926,9
	ТДНС-	37000	2	74000	0,094	6956					
	ОРУ	2400	2	4800	0,094	451,2		297891,5	2234,19		
	Контр. Кабель	1880		3760	0,073	274,48					
3	АС - 70/11	30800	2	61600	0,028	1724,8	0,0075	169183,5	1268,88	7218	6116,68
	ТДН –	53000	2	106000	0,094	9964					
	ОРУ	36000	2	72000	0,094	6768		729760,7	5473		
4	АС- 150/19	9200	2	18400	0,028	515,2	0,0075	3098510	2323,83	4272,27	50615,7
	ТДНС-	37000	2	74000	0,094	6956					
	ОРУ	5400	2	10800	0,094	1015,2		297891,5	2234,18		

4 ВЫБОР СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

4.1 Выбор рационального напряжения распределения электроэнергии выше 1000 В

Рациональное напряжение $U_{\text{рац}}$ распределения электроэнергии выше 1000В предприятия определяется в основном значениями мощности ЭП напряжением 6кВ и 10кВ.

Если мощность ЭП 6кВ составляет от суммарной мощности предприятия менее 10-15%, то $U_{\text{рац}}$ распределения принимается равным 10кВ, а ЭП 6кВ получают питание через понижающие трансформаторы 10/6 кВ.

Если мощность ЭП 6кВ составляет от суммарной мощности предприятия более 40%, то $U_{\text{рац}}$ распределения принимается равным 6кВ.

Если мощность ЭП 6кВ составляет от суммарной мощности предприятия менее 15-40%, то необходимо произвести ТЭР.

Кроме того, при выборе $U_{\text{рац}}$ распределения электроэнергии на напряжении выше 1000В следует учитывать напряжение распределения электроэнергии в электрических сетях до 1000В. В случае применения в последних напряжения 660В предпочтение во многих случаях отдается напряжению 10 кВ.

В данном случае доля мощности ЭП 10 кВ составляет:

$$\frac{S_{10кВ}}{S_{0,4кВ;10кВ}} \cdot 100\% = \frac{17530,3}{\sqrt{(16000 + 164,696)^2 + (-6991,736 + 148,728)^2}} = 99,87\%$$

поэтому в качестве напряжения распределения принимаем $U_{\text{рац}} = 10$ кВ.

4.2 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

Число трансформаторных подстанций (ТП) и мощность их трансформаторов определяется средней нагрузкой цеха (цехов) за наиболее загруженную смену ($S_{см}$), удельной плотностью нагрузки (при мощности цеха более 1500 кВА) и требованиями надежности электроснабжения.

Для цехов I и II категории принимают двухтрансформаторные ТП, для цехов III категории принимают однострансформаторные ТП.

Средняя нагрузка цеха за наиболее загруженную смену определяется по следующим формулам

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н}; \quad (4.1)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4.2)$$

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2} \quad (4.3)$$

где $K_{и}$ - коэффициент использования активной мощности одного или группы ЭП;

$P_{н}$ - номинальная (установленная) мощность одного или группы ЭП, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент мощности.

Расчет средней нагрузки $S_{см}$ сведен в табл.4.1.

Потребители электроэнергии насосной станции относятся к I, II и III категориям, поэтому ТП принимается двухтрансформаторной.

Определение мощности трансформаторов ТП должно производиться с учетом перегрузочной способности трансформаторов.

При преобладании ЭП I -II категории коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме должен быть в пределах 0,65 – 0,75. Для однострансформаторных подстанций коэффициент загрузки трансформаторов должен быть в пределах 0.9-1.0.

Номинальная мощность трансформатора определяется по выражению [5]:

$$S_{ном.т} = \frac{S_{см}}{N \cdot K_3} = \frac{187,62}{2 \cdot 0,75} = 125,08 \text{ кВА} \quad (4.4)$$

где N - количество трансформаторов на ТП;

K_3 — коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме.

По расчетному значению $S_{ном.т} = 125,08$ кВА выбираем трансформатор типа ТМЗ-160/10

Коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме

$$K_{з.НР} = \frac{S_{см}}{N \cdot S_{yjv/n}} = \frac{187,62}{2 \cdot 160} = 0,58 \quad (4.5)$$

Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме

$$K_{з.ПАР} = \frac{S_{см}}{S_{yjv/n}} = \frac{187,62}{160} = 1,17 < 1,5 \quad (4.6)$$

Каталожные данные трансформатора ТМЗ-160/10:

$S_{НОМ} = 160$ кВА; $\Delta P_x = 0,51$ кВт; $\Delta P_k = 2,65$ кВт; $I_x = 2,4\%$; $U_k = 4,5\%$.

Потери мощности в трансформаторах КТП:

$$\Delta P_m = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot K_3^2 = 2 \cdot 0,51 + \frac{1}{2} \cdot 2,65 \cdot 0,58^2 = 1,465 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = n \cdot \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{ном} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{ном} \cdot K_3^2 = 2 \cdot \frac{2,4}{100} \cdot 160 + \frac{1}{2} \cdot \frac{4,5}{100} \cdot 160 \cdot 0,58^2 = 8,891 \text{ кВар}$$

Расчетная нагрузка на стороне ВН цеховой ТП [5]:

$$S_{p.mn} = \sqrt{(P_{cm} + \Delta P_m)^2 + (Q_{cm} + \Delta Q_m)^2} = \sqrt{(142,452 + 1,465)^2 + (122,098 + 8,89)^2} = 194,6 \text{ кВА}$$

4.3. Выбор способа канализации электроэнергии на напряжении выше 1000 В, сечения ЛЭП и токопроводов

В промышленных распределительных электрических сетях выше 1000 В в качестве основных способов канализации электроэнергии на напряжение выше 1000 В применяют кабельные ЛЭП и токопроводы.

При незначительных передаваемых мощностях, как правило, применяют кабельные ЛЭП. Если передаваемая в одном направлении мощность при напряжении 6 кВ более (15...20)МВА, а при напряжении 10 кВ - более (25...30)МВА, то без проведения ТЭР принимают токопроводы. При значительных мощностях, передаваемых в одном направлении, но менее вышеуказанных, способ канализации электроэнергии выбирается на основании ТЭР.

Распределение энергии на территории предприятия осуществляется кабельными линиями электропередач (КЛЭП). Выбор сечения КЛЭП производится в соответствии с требованиями ПУЭ с учетом нормальных и после аварийных режимов работы электрической сети и перегрузочной способности кабелей различной конструкции.

Допустимая токовая нагрузка на жилу кабеля в нормальном режиме определяется по выражению:

$$I_{\text{доп}} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_T \quad (4.7)$$

где K_1 - поправочный коэффициент для кабелей в зависимости от удельного теплового сопротивления земли.

K_2 - поправочный коэффициент на количество работающих кабелей лежащих рядом в земле.

I_T - допустимая токовая нагрузка на жилу кабеля, по ПУЭ, для разных марок кабеля.

При прокладке КЛЭП в воздухе поправочные коэффициенты не применяются.

При проверке сечения кабеля по условиям послеаварийного режима для кабелей напряжением до 10кВ необходимо учитывать допускаемую в течение пяти суток на время ликвидации аварии перегрузку в зависимости от вида изоляции.

Допустимая токовая нагрузка на жилу кабеля в послеаварийном режиме определяется по выражению:

$$I_{\text{доп.ПАР}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot I_T, \quad (4.8)$$

где $K_3 = 1,1$ - коэффициент допустимой после аварийной перегрузки [17].

Расчетный ток находится по следующему выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} \quad (4.8)$$

где n - число ЛЭП, работающих в нормальном режиме.

$$I_{p \cdot \text{ПАР}} = \frac{S_p}{(n - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} \quad (4.9)$$

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_m)^2 + (Q_p + \Delta Q_m)^2}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 4.2.

Схема распределения электроэнергии в насосной станции представлена на рис. 4.1.

Кабели прокладываем в каналах пола.

4.4 Выбор числа силовых пунктов и мест их расположения

Для приема и распределения электроэнергии к группам потребителей трехфазного переменного тока промышленной частоты напряжением 380В применяют силовые распределительные шкафы и пункты.

Для цехов с нормальными условиями окружающей среды изготавливают шкафы серии СП-62 и ШРС1-20УЗ защищенного исполнения, а для пыльных и влажных - шкафы серии СПУ-62 и ШРС1-50УЗ закрытого исполнения. Шкафы имеют на вводе рубильник, а на выводах - предохранители типа ПН2 или НПН. Номинальные токи шкафов СП-62 и ШРС1-20УЗ составляют 250 и 400А, шкафов СПУ-62 и ШРС1-50УЗ - 175 и 280А.

Силовые пункты и шкафы выбираются с учетом условий воздуха рабочей зоны, числа подключаемых приемников электроэнергии к силовому пункту и их расчетной нагрузки (расчетный ток группы приемников, подключаемых к силовому пункту, должен быть не больше номинального тока пункта).

Машинный зал.

Потребителями электроэнергии в машинном зале насосной станции являются пожарные насосы, вентиляторы, мостовой кран, калориферы и освещение. Все приемники электроэнергии рассчитаны на трехфазный переменный ток и напряжение 380 В промышленной частоты, по надежности электроснабжения относятся к I, II и III категориям.

Микроклимат на участке нормальный, то есть температура не превышает +30°С, отсутствует технологическая пыль, газы и пары, способные нарушить нормальную работу оборудования.

Учитывая расположение приемников электроэнергии на плане, можно выделить два узла потребителей: первый узел включает в себя три вентилятора машинного зала, вентилятор мастерской, калорифер, пожарный;

второй — мостовой кран, вентилятор машинного зала, калорифер, осветительные приборы машинного зала и пожарный насос.

Таблица 4.2 Выбор кабельных ЛЭП

№	Назначение к ЛЭП	n	S _{прис} (S _p), кВА	I _p , А		j _э , А/ мм ²	F _о = I _о	F _{ст} , мм ²	I _{доп} , А	K _з	I _{д.пр} А	I _{д.пар} А	U, кВ	L, м	Марка кабеля
				Н.Р.	П.А.Р										
1	ПГВ-	1	2109,73	122	-	1,2	101,6	120	240	-	240	-	10	13	ААШв
2	ПГВ-	1	2109,73	122	-	1,2	101,6	120	240	-	240	-	10	3	ААШв
3	ПГВ-	1	2109,73	122	-	1,2	101,6	120	240	-	240	-	10	10	ААШв
4	ПГВ-	1	2109,73	122	-	1,2	101,6	120	240	-	240	-	10	20	ААШв
5	ПГВ-	1	2109,73	122	-	1,2	101,6	120	240	-	240	-	10	30	ААШв
6	ПГВ-	1	2109,73	122	-	1,2	101,6	120	240	-	240	-	10	19	ААШв
7	ПГВ-	1	2109,73	122	-	1,2	101,6	120	240		240	-	10	25	ААШв
8	ПГВ-	1	2109,73	122	-	1,2	101,6	120	240		240	-	10	35	ААШв
9	ПГВ-	2	194,6	5,62	11,25	1,2	4,68	16	75	1,1	69,7	76,7	10	31	ААШв 3х16

Для распределения электроэнергии по отдельным электроприемникам устанавливаются два силовых пункта СП-4 и СП-3 типа ШРС1-20У3.

Расчетные токи линий, питающих отдельные электроприемники, определяем как сумму номинальных токов двигателей, установленных на электроприемнике, а линий, питающих СП, - по расчетной мощности.

$$I_H = \frac{P_{H(ПВ=100\%)}}{\sqrt{3} \cdot \eta \cdot \cos\varphi \cdot U_H} \quad (4.10)$$

где P_{н(пв = 100%)} - номинальная мощность ЭП приведенная к ПВ = 100%, кВт;

U_н - номинальное напряжение, кВ;

η - к.п.д. электроприемника;

cosφ - коэффициент мощности электроприемника.

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н}} \quad (4.11)$$

где $K_{\text{п}}$ - кратность пускового тока;

$I_{\text{н}}$ - номинальный ток ЭП, А.

Чтобы определить ток плавкой вставки для группы электроприёмников, воспользуемся следующими формулами:

$$I_{\text{п.вс}} \geq I_{\text{пуск}} = I_{\text{ПИК}} = i_{\text{пуск.мах}} + (I_{\text{зр.р}} - K_{\text{и.а.}} \cdot I_{\text{ном.мах}}) \quad (4.12)$$

где $I_{\text{п.вс.}}$ - ток плавкой вставки. А;

$I_{\text{пуск.мах}}$ – наибольший из пусковых токов двигателей группы приёмников, определяемый по паспортным данным;

$I_{\text{гр.р}}$ – расчётный ток группы ЭП, А;

$K_{\text{и.а.}}$ – коэффициент использования, характерный для двигателя, имеющего наибольший пусковой ток (0,12 – 0,14);

$I_{\text{ном.мах}}$ – номинальный ток двигателя (приведённый к ПВ=1) с наибольшим пусковым током.

Номинальный ток для группы ЭП, А:

$$I_{\text{н.зр}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi_{\text{св}} \cdot U_{\text{н}}} \quad (4.13)$$

где $\cos \varphi_{\text{св}} = \frac{\sum_{i=1}^n \cos \varphi_i}{n}$ - среднеарифметическое значение;

$P_i = \frac{P_{\text{н}}}{\eta}$ - расчётное значение мощности по паспортным данным;

n – количество группы ЭП.

Ток плавкой вставки, защищающей один электродвигатель, определяется по формуле [5]:

$$I_{п.вс.} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha} \quad (4.14)$$

α - коэффициент перегрузки, $\alpha = 2,5$ – при легких пусках.

Все расчеты по выбору СП-4 сведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

СП-4	Наименование оборудования	Рн, кВт	Iн, А	Iпуск, А	Iвст.р, А	Iп.вс, А	Тип предо-
	Вентилятор мастерской;	2,2	4,63	30,1	37,1	40	1хНПН2 - 63
	Вентиляторы в	2	3,039	-			
	Пожарный насос	15	28,5	213,8	85,52	100	3хПН2-100
		7,5	14,8	111	44,4	50	1хПН2-100

Определим расчетный ток линии, питающей СП-4.

Расчетную мощность определяем по методу коэффициента спроса (см. гл.2 табл. 2.1).

Расчетный ток линии, питающей СП-4:

$$I_{P4} = \frac{\sqrt{P_{P4}^2 + Q_{P4}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{\sqrt{50,67^2 + 25,416^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 86,22 \text{ A} \quad (4.15)$$

Окончательно выбираем шкаф типа ШРС1-55УЗ с каталожными данными:

- степень защиты IP54;
- номинальный ток шкафа 280 А;
- число отходящих линий и токи предохранителей 4х60+4х100 А;
- размеры (высотахширинахглубина) 1600х500х580 мм.

Произведем аналогичный расчет для СП-3 используя формулы (4.4 - 4.7).

Таблица 4.4

	Наименование оборудования	P _н , кВт	I _н , А	I _{пуск} , А	I _{вст.р} , А	I _{п.вс} , А	Тип предо-
СП-3	Вентилятор	15	28,5	213,8	240,72	250	1хПН2 - 250
	машинного зала;	2	3,039	-			
	Освещение	8,36	25,43	-			
	Пожарный насос	7,5	14,8	111			
ЯБПУ	Мостовой кран:	47,43	111	222	468,88	500	ПП-57-31
	- механизм подъёма						
	-механизм	3,48	8,41	16,82			
	-механизм	13,91	37,78	75,56			

Определим расчетный ток линии, питающей СП-3.

Расчетная мощность определяется по методу коэффициента спроса (см. гл.2 табл. 2.1).

Расчетный ток линии, питающей СП-3:

$$I_{P3} = \frac{\sqrt{27,34^2 + 23,135^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 34,5 \text{ А}$$

Окончательно выбираем шкаф типа ШРС1-27УЗ с каталожными данными:

- степень защиты IP22;
- номинальный ток шкафа 400А;
- число отходящих линий и токи предохранителей 5х100-2х250 А;
- размеры (высотахширинахглубина) 1600х700х580 мм.

Мостовой кран запитывается отдельно от шкафа типа ЯБПУ со встроенным предохранителем типа ПП – 57.

Расчёт тока плавкой вставки предохранителя осуществляется с помощью формул (4.11-4.13):

$$\cos \varphi_{CB} = \frac{0,82 + 0,74 + 0,7}{3} = 0,753$$

$$I_{н.сп} = \frac{94,82 + 6,47 + 27,5}{\sqrt{3} \cdot 0,753 \cdot 0,38} = 260,2 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}} = (2 - 2,5)I_{\text{н.дв.мах}} = 2 \cdot 111 = 222 \text{ А}$$

$$I_{\text{п.вс}} \geq 222 + (260,2 - 0,12 \cdot 111) = 468,88 \text{ А}$$

Расчетный ток линии, питающей ЯБПУ:

$$I_{\text{р.ябпу}} = \frac{\sqrt{32,42^2 + 25,222^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 62,5 \text{ А}$$

Распределительную сеть выполняем проводом марки АПВ (алюминиевые жилы, поливинилхлоридная изоляция). Для питания силовых пунктов выбираем кабель марки АПВГ (алюминиевые жилы, изоляция из полиэтилена, оболочка из поливинилхлоридного пластика). Провода и кабели прокладываем в газовых трубах, уложенных в каналах пола. Сечения проводов и жил кабелей выбираем по (4.8) и приводим в табл. 4.5.

$$I_{\text{НОМ}} (I_{\text{РАС}}) \leq I_{\text{ДОП}}$$

Таблица 4.5

Наименование Оборудования	Рном, кВт (Sp, кВА)	Cosφ	КПД	I _{ном} , А (I _р , А)	I _{доп} , А	S, мм ²
Вентилятор мастерской	2,2	0,87	0,83	4,63	18	3x2
Вентилятор в машинном зале	15	0,91	0,88	28,5	30	3x5
Калорифер в мастерской	2	1	-	3,039	18	3x2
Калорифер в машинном зале	2	1	-	3,039	18	3x2
Пожарный насос	7,5	0,88	0,875	14,8	18	3x2
Освещение машинного зала	(15,882)	-	-	24,15	28	4x5
ЯБПУ	(41)	0,753	-	260,2	285	3x120+1x50
СП –4	(56,681)	-	-	(86,22)	90	3x16+1x6
СП –3	(76,91)	-	-	(117)	130	3x50+1x16

Мастерская.

Потребителями электроэнергии в мастерской насосной станции являются станки, сварочные трансформаторы, вентилятор и калорифер. Все

приемники электроэнергии рассчитаны на трехфазный переменный ток и напряжение 380В промышленной частоты, по надежности электроснабжения относятся к III категории.

Микроклимат на участке нормальный, то есть температура не превышает +30°C, отсутствует технологическая пыль, газы и пары, способные нарушить нормальную работу оборудования.

Учитывая расположение приемников электроэнергии на плане, можно выделить три узла потребителей: первый узел включает в себя токарновинторезный станок, круглошлифовальный станок, обдирочношлифовальный станок и освещение мастерской; второй – сверлильный станок, токарновинторезный станок, фрезерный станок; третий - два сварочных трансформатора, вентилятор и калорифер мастерской.

Для распределения электроэнергии по отдельным электроприемникам устанавливаем три силовых пункта СП-2, СП-1 и СП-5 типа ШРС1-20/У3.

Расчетные токи линий, питающих отдельные электроприемники, определяем как сумму номинальных токов двигателей, установленных на электроприемнике, а линий, питающих СП, - по расчетной мощности.

Произведем расчет для СП-2 используя формулы (4.4 - 4.7).

Все расчеты сведем в табл. 4.6.

Таблица 4.6

	Наименование оборудования	P_n , кВт	I_n , А	$I_{пуск}$, А	$I_{вст.р.}$, А	$I_{п.вс.}$, А	Тип предо-
СП-2	Токарновинторезный станок	16,22	37,7	205	239,2	250	1хПН2 – 250
	Круглошлифовальны	9,87	23,68	113,7	135,6	160	1хПН2-250
	Обдирочношлифовал	7,5	15,16	113,7	45,48	63	1хНПН2-63
	Освещение	5,616	9,5	-	9,5	10	1хНПН2-63

Определим расчетный ток линии, питающей СП-2. Расчетную мощность определяем по методу коэффициента спроса (см. гл2. табл. 2.1).

Расчетный ток линии, питающей СП-2:

$$I_{P2} = \frac{\sqrt{11^2 + 5,9^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 18,9 \text{ A}$$

Окончательно выбираем шкаф типа ШРС1-58УЗ с каталожными данными:

- степень защиты IP54;
- номинальный ток шкафа 280А;
- число отходящих линий и токи предохранителей 2x60+4x100+2x250А;
- размеры (высотахширинахглубина) 1600x700x580 мм.

Произведем расчет для СП-1 используя формулы (4.4-4.8).

Все расчеты сведем в табл. 4.7.

Таблица 4.7

СП-1	Наименование оборудования	R _н , кВт	I _н , А	I _{пуск} , А	I _{вст.р.} , А	I _{п.вс.} , А	Тип предо-
	Сверлильный станок	7,62	17,09	113,7	128,9	160	1xПН2 – 250
	Токарновинторезный	16,22	37,7	205	239,2	250	1xПН2-250
	Фрезерный станок	19	38,4	205	239,8	250	1xПН2-250

Определим расчетный ток линии, питающей СП-1.

Расчетную мощность определяем по методу коэффициента спроса (см. гл.2 табл. 2.1).

Расчетный ток линии, питающей СП-1:

$$I_{P1} = \frac{\sqrt{8,66^2 + 4,94^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 15,16 \text{ A}$$

Окончательно выбираем шкаф типа ШРС1-56УЗ с каталожными данными:

- степень защиты IP54;
- номинальный ток шкафа 280А;
- число отходящих линий и токи предохранителей 5x250А;
- размеры (высотахширинахглубина) 1600x700x580 мм.

Произведем расчет для СП-5 используя формулы (4.4—4.8).

Все расчеты сведем в таблицу 4.8.

Таблица 4.8

СП-5	Наименование оборудования	P_n , кВт	I_n , А	$I_{пуск}$, А	$I_{вст.р.}$, А	$I_{п.вс.}$, А	Тип предо-
	Сварочный трансформатор	100,44	212	-	212	250	2хПН2 –250
	Вентиляторы в Калорифер	2,2 2,0	4,63 3,039	30,12 -	36,46	40	1хПН2-100

Определим расчетный ток линии, питающей СП-5.

Расчетную мощность определяем по методу коэффициента спроса (см. гл.2 табл. 2.1).

Расчетный ток линии, питающей СП-5:

$$I_{ps} = \frac{\sqrt{65,3^2 + 85,8^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 156,8 \text{ А}$$

Окончательно выбираем шкаф типа ШРС1-57У3 с каталожными данными:

- степень защиты IP54;
- номинальный ток шкафа 280А;
- число отходящих линий и токи предохранителей 5х100+2х250А;
- размеры (высота х ширина х глубина) 1600х700х580 мм.

Распределительную сеть выполняем проводом марки АПВ (алюминиевые жилы, поливинилхлоридная изоляция). Для питания силовых пунктов выбираем кабель марки АПВГ (алюминиевые жилы, изоляция из полиэтилена, оболочка из поливинилхлоридного пластика). Провода и кабели прокладываем в газовых трубах, уложенных в каналах пола. Сечения проводов и жил кабелей выбираем по (4.8) и приводим в таблице 4.9.

Таблица 4.9

Наименование оборудования	$P_{ном}$, кВт (S_p , кВА)	$\cos\varphi$	КПД	$I_{ном}$, А (I_p , А)	$I_{доп}$, А	S , мм ²
Освещение мастерской	(6,24)	-	-	9,5	15	4x2
Вентилятор мастерской	2,2	0,87	0,83	4,63	18	3x2
Калорифер мастерской	2,0	1	-	3,039	18	3x2
Токарновинторезный станок	16,22	0,79	-	31,7	40	3x8
Круглошлифовальный станок	9,87	0,758	-	23,68	28	3x4
Обдирочношлифовальный станок	7,5	0,86	0,875	15,16	18	3x2
Сверлильный станок	7,62	0,78	-	17,09	18	3x2
Фрезерный станок	19	0,86	-	33,6	40	3x8
Сварочный трансформатор	104,44	0,62	0,9	212	220	3x120
СП – 2	(12,45)	-	-	18,9	21	4x3
СП – 1	(9,97)	-	-	15,16	19	4x2,5
СП – 5	(103,09)	-	-	156,8	165	3x70+1x25
СП – 1,2	(22,42)	-	-	34,1	40	3x8+1x2,5

5 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение короткого замыкания (КЗ) в сети или элементах электрооборудования вследствие повреждения изоляции или неправильных действий обслуживающего персонала. Для снижения ущерба, обусловленного выходом из строя электрооборудования при протекании токов КЗ, а также для быстрого восстановления нормального режима работы системы электроснабжения (СЭС) необходимо правильно определять токи КЗ и по ним выбирать электрооборудование, защитную аппаратуру и средства ограничения токов КЗ.

При возникновении КЗ имеет место увеличение токов в фазах СЭС или электроустановок по сравнению с их значением в нормальном режиме работы. В свою очередь, это вызывает снижение напряжений в системе, которое особенно велико вблизи места КЗ.

В трехфазной сети различают следующие виды КЗ: трехфазные, двухфазные, однофазные и двойное замыкание на землю.

Трехфазные КЗ являются симметричными, так как в этом случае все фазы находятся в одинаковых условиях. Все остальные виды КЗ являются несимметричными, поскольку при каждом из них фазы находятся не в одинаковых условиях и значения токов и напряжений в той или иной мере искажаются.

Расчетным видом КЗ для выбора или проверки параметров электрооборудования обычно считают трехфазное КЗ. Однако для выбора или проверки уставок релейной защиты и автоматики требуется определение и несимметричных токов КЗ.

Расчет токов КЗ с учетом действительных характеристик и действительных режимов работы всех элементов СЭС сложен. Поэтому для решения большинства практических задач вводят допущения, которые не дают существенных погрешностей:

- не учитывается сдвиг по фазе ЭДС различных источников питания, входящих в расчетную схему;
- трехфазная сеть принимается симметричной;
- не учитываются токи нагрузки;
- не учитываются емкости, а следовательно, и емкостные токи в воздушной и кабельной сетях:
- не учитывается насыщение магнитных систем, что позволяет считать постоянными и независимыми от тока индуктивные сопротивления во всех элементах короткозамкнутой цепи;
- не учитываются токи намагничивания трансформаторов.

В зависимости от назначения расчета токов КЗ выбирают расчетную схему сети, определяют вид КЗ, местоположение точек КЗ на схеме и сопротивления элементов схемы замещения.

5.1 Расчёт токов короткого замыкания в установках напряжением выше 1000В.

Расчёт токов КЗ в установках напряжением выше 1кВ имеет ряд особенностей по сравнению с расчётом токов КЗ в установках напряжением до 1кВ. Эти особенности заключаются в следующем:

- 1) активные сопротивления элементов системы электроснабжения при определении тока КЗ не учитывают, если выполняется условие:

$$R_{\Sigma} < (X_{\Sigma}/3), \quad (5.1)$$

где R_{Σ} и X_{Σ} суммарные активные и реактивные сопротивления элементов системы электроснабжения до точки КЗ;

- 2) при определении токов КЗ учитывают подпитку от присоединенных к данной сети синхронных компенсаторов, синхронных и асинхронных электродвигателей. Влияние асинхронных электродвигателей на токи КЗ не учитывается при мощности электродвигателей до 100кВт в единице, если электродвигатели отделены

от места КЗ одной ступенью трансформации, а также при любой мощности, если они отделены от места КЗ двумя и более ступенями трансформации либо если ток от них может поступать к месту КЗ только через те элементы, через которые проходит основной ток КЗ от сети и которые имеют существенное сопротивление (линии, трансформаторы и т.п.) [17].

Расчёт токов КЗ будем вести в относительных единицах. При этом все величины сравнивают с базисными, в качестве которых принимают базисную мощность $S_б$ и базисное напряжение $U_б$. За базисную мощность принимаем мощность энергосистемы, то есть $S_б = 1300$ МВА, а сопротивление системы $X_c = 0,48$ о.е. В качестве базисного напряжения принимают среднее напряжение той ступени, на которой имеет место КЗ. Сопротивление элементов системы электроснабжения приводят к базисным условиям.

Электрическая схема и схема замещения для расчетов токов КЗ приведены на рис. 5.1-5.2.

Расчет токов КЗ в точке К-1.

Базисное напряжение: $U_{Б(К-1)} = 37,5$ кВ.

Базисный ток:
$$I_{Б(К-1)} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} = \frac{1300}{\sqrt{3} \cdot 37,5 \cdot 10^{-3}} = 20,038 \text{ кА.} \quad (5.2)$$

Сопротивление системы, приведенное к базисным условиям:

$$X_{c.б} = X_c \cdot \frac{S_б}{S_c} = 0,48 \cdot \frac{1300}{1300} = 0,48 \text{ о.е.} \quad (5.3)$$

Сопротивления воздушных ЛЭП [16]:

$$\begin{aligned}
 X_{л} &= X_{y\partial} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_{cp,ном}^2} = 0,444 \cdot 4 \cdot \frac{1300}{37,5^2} = 1,642 \text{ o.e.} \\
 R_{л} &= R_{y\partial} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_{ном}^2} = 0,428 \cdot 4 \cdot \frac{1300}{37,5^2} = 1,583 \text{ o.e.}
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

Постоянная времени затухания апериодического тока для точки К-1 [5,10,16]:

$$T_{a(K_1)} = \frac{X_{(K_1)\Sigma}}{\omega \cdot R_{(K_1)\Sigma}} = \frac{0,48 + 1,642}{314 \cdot 1,583} = 0,00427 \text{ c}
 \tag{5.5}$$

где $X_{(k-i)\Sigma}$, $R_{(k-i)\Sigma}$ - соответственно индуктивное и активное сопротивление цепи КЗ;

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ c}^{-1}
 \tag{5.6}$$

Ударный коэффициент для точки К-1 [16]:

$$K_{y\partial(K_1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a(K_1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,00427}} = 1,0961
 \tag{5.7}$$

Полное сопротивление схемы замещения до точки К-1:

$$Z_{(K-1)\Sigma} = \sqrt{(X_c + X_{л})^2 + R_{л}^2} = \sqrt{(0,48 + 1,642)^2 + 1,583^2} = 2,647 \text{ o.e}
 \tag{5.8}$$

Начальное значение периодической составляющей тока К.З. в точке К-1:

$$I''_{ΠΟ(Κ1)} = \frac{E''_{*c}}{Z_{(Κ1)Σ}} \cdot I_{B(Κ1)} = \frac{1}{2,647} \cdot 20,038 = 7,569 \text{ κΑ.}$$

(5.9)

где E''_c — приведенное значение сверхпереходной ЭДС системы.

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ от источника электроснабжения (системы) к моменту времени размыкания силовых контактов выключателя принимается равным начальному значению периодической составляющей [10]:

$$I''_{П(К1)} = I''_{ПО(К1)}.$$

Ударный ток КЗ в точке К-1 [5,10,16]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial(К1)} \cdot I''_{но(К1)} = \sqrt{2} \cdot 1,0961 \cdot 7,56 \quad (5.10)$$

Расчет токов КЗ в точке К-2.

Базисное напряжение: $U_{Б(К2)} = 10,5$ кВ.

$$I_{Б(К2)} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{Б(К2)}} = \frac{1300}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^{-3}} = 71,566 \text{ кА.}$$

Базисный ток:

Сопротивление трансформатора ТДН - 16000/110

$$X_{mp} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{ном.т}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1300}{16} = 8,53 \text{ о.е}$$

Постоянная времени затухания аperiodического тока для точки К-2 [5,10,16]:

$$T_{a(К2)} = \frac{X_{(К2)\Sigma}}{\omega \cdot R_{(К2)\Sigma}} = \frac{0,48 + 1,642 + 8,53}{314 \cdot 1,583} = 0,021 \text{ с}$$

Ударный коэффициент для точки К-2 [16]:

$$K_{y0(K_2)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T\alpha(K_2)}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,021}} = 1,621$$

Полное сопротивление схемы замещения до точки К – 2:

$$Z_{(K-2)\Sigma} = \sqrt{(X_c + X_l + X_m)^2 + R_l^2} = \sqrt{(0,48 + 1,642 + 8,53)^2 + 1,583^2} = 10,769 \text{ o.e.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ в точке К – 2

$$I''_{\text{ПО}(K_2)} = \frac{E''_{*c}}{Z_{(K_2)\Sigma}} \cdot I_{B(K_2)} = \frac{1}{10,769} \cdot 71,566 = 6,645 \text{ кА.}$$

Согласно условия (5.1): $I''_{\text{ПО}(K-2)} = 6,645 \text{ кА.}$

Определим ток подпитки от синхронных двигателей (СД).

Сопротивление СД:

$$X_{c\text{д}} = X''_{\text{д}} \cdot \frac{S_{\text{сд}}}{S_{\text{ном.сд}} \cdot n} = 0,2 \quad (5.11)$$

$$\text{где } S_{\text{ном.сд}} = \frac{P_{\text{ном.сд}}}{\cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{2}{0,9 \cdot 0,953} = 2,332 \text{ МВА} \quad (5.12)$$

Ток подпитки от СД:

$$I''_{\text{п.сд}} = \frac{E''_{\text{сд}}}{X_{c\text{д}}} \cdot I_{\text{сд}} = 5,135 \quad (5.13)$$

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ от СД к моменту времени τ [10]:

$$I''_{\text{п.сд}} = I''_{\text{п.сд}} \cdot \gamma(\tau) = 5,135 \cdot 0,58 = 2,978 \text{ кА,} \quad (5.14)$$

где τ - расчетное время отключения выключателя [10,18]

$$\tau = t_{рз.min} + t_{с.в.откл} = 1 + 0,07 = 1,07 \text{ с}; \quad (5.15)$$

$t_{рз.min}$ - минимальное время срабатывания релейной защиты, принимается равным 0,01 с для первой ступени защиты и $0,01 + \Delta t_c$ для последующих ступеней, где Δt_c - ступень селективности (0,3 – 0,5 с);

$t_{с.в.откл}$ – собственное время отключения выключателя;

$\gamma(\tau) = I_{Пт}/I_{по}$ - определяется по рис. 2.25 [10].

Суммарное начальное значение периодической составляющей тока КЗ в точке К-2:

$$I''_{по(К-2)\Sigma} = I''_{по(К-2)} + I''_{по.сд} = 6,645 + 5,135 = 11,78 \text{ кА.}$$

Суммарное значение периодической составляющей тока КЗ к моменту времени τ в точке К-2:

$$I''_{по(К-2)\Sigma} = I''_{по(К-2)} + I''_{пн.сд} = 6,645 + 2,978 = 9,623 \text{ к.А.}$$

Ударный ток КЗ в точке К-2 :

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot (K_{y\partial(К_2)} \cdot I''_{по(К_{21})} + K_{y\partial.сд} \cdot I''_{по.сд}) = \sqrt{2}$$

где $K_{удсд}$ – ударный коэффициент тока КЗ (табл. 2.45. [10]).

Расчет токов короткого замыкания в установках напряжением до 1000В.

Сети промышленных предприятий напряжением до 1000В характеризуется большой протяжённостью и наличием большого количества коммутационно-защитной аппаратуры. При напряжении до 1000В учитывают все сопротивления короткозамкнутой цепи, как индуктивные, так и активные.

Для установок напряжением до 1000В при расчетах токов КЗ считают, что мощность питающей системы не ограничена и напряжение на стороне высшего напряжения цехового трансформатора является неизменным.

Расчёт токов КЗ на напряжение до 1000В выполняют в именованных единицах.

Так как предполагается дальнейшее развитие энергосистемы необходимо, чтобы все выбранные аппараты при этом соответствовали своему назначению, расчёт токов КЗ выполняется без учёта сопротивления системы до цехового трансформатора.

Расчет токов КЗ в точке К-3

Участок сети от шин системы 110 кВ до трансформатора ТМЗ-160/10 принимаем системой бесконечной мощности ($S_c = \infty$, $X_c = 0$).

Сопротивления трансформатора ТМЗ — 160/10:

$$R_T = 16,6 \text{ мОм}; X_T = 41,7 \text{ мОм из табл.2.50 [5]}$$

Сопротивления трансформатора тока:

$$R_{ТТ} = 0,11 \text{ мОм}; X_{ТТ} = 0,17 \text{ мОм из табл.2.49[5].}$$

Сопротивления шинпровода при длине 10 м на ток 400 А:

$$R_{ш} = 0,21 \text{ мОм}; X_{ш} = 0,21 \text{ мОм из табл.2.52[5].}$$

Сопротивления автоматического выключателя на ток 400 А:

$$R_{авт} = 0,65 \text{ мОм}; X_{авт} = 0,17 \text{ мОм из табл.2.54[5].}$$

Сопротивление дуги: $R_{дуги} = 15 \text{ мОм}$.

Постоянная времени затухания апериодического тока для точки К-2 [5,10,16]:

$$T_{a(K_3)} = \frac{X_{(K_3)\Sigma}}{\omega \cdot R_{(K_3)\Sigma}} = \frac{41,7 + 0,2 + 0,21 + 0,21 + 0,17}{314 \cdot (16,6 + 0,3 + 0,21 + 0,65 + 15)} = 0,0041 \text{ с}$$

Ударный коэффициент для точки К-2 [16]:

$$K_{y\partial(K_3)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{Ta(K_3)}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0041}} = 1,087$$

Результирующее сопротивление схемы замещения до точки К-3:

$$Z_{(K-1)\Sigma} = \sqrt{(X_T + X_{IT} + X_{ABT} + X_{III})^2 + (R_T + R_{IT} + R_{ABT} + R_{III} + R_{\partial yz})^2} = \\ = \sqrt{(41,7 + 0,2 + 0,17 + 0,21)^2 + (16,6 + 0,3 + 0,65 + 0,21 + 15)^2} = 53,48 \text{ o.e}$$

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ в точке К-3:

$$I''_{no(K_3)} = \frac{U_n}{Z_{(K-1)\Sigma}} = \frac{35}{53,48} = 0,654 \text{ кА}$$

Ударный ток КЗ в точке К-3:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial(K_3)} \cdot I''_{no(K_3)} = \sqrt{2} \cdot 1,087 \cdot 0,654 = 0,98 \text{ кА}$$

Результаты расчета тока КЗ в точке К-3 сведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Точка КЗ	U _n , кВ	I _{по} , кА	i _{уд} , кА
К-1	35	7,569	11,614
К-2	10	11,78	28,74
К-3	0,4	4,32	6,58

6 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Целью выбора электрической аппаратуры является обеспечение электроустановок надежностью в работе и безопасностью в обслуживании.

Высоковольтные электрические аппараты выбираются по условиям длительного режима работы и проверяются по условиям коротких замыканий. При этом для всех аппаратов производится:

- выбор по напряжению;
- выбор по нагреву при длительных токах;
- проверка на электродинамическую стойкость (согласно ПУЭ не проверяются аппараты и проводники, защищённые плавкими предохранителями с номинальным током до 60 А включительно);
- проверка на термическую стойкость (согласно ПУЭ не проверяются аппараты и проводники, защищённые плавкими предохранителями);
- выбор по форме исполнения (для наружной или внутренней установки).

Выбор электрооборудования на стороне 35 кВ.

Максимальный расчетный ток:

$$I_{м.рас} = \frac{S_{м}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}} = \frac{17616,151}{\sqrt{3} \cdot 35} = 291 \text{ А.} \quad (6.1)$$

Предварительно выбираем разъединитель типа РНДЗ - 35 /1000У1

Таблица 6.1

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_{н} \geq U_{уст}$	$U_{н} = 35 \text{ кВ}$	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$
$I_{н} \geq I_{м.р}$	$I_{н} = 1000 \text{ А}$	$I_{м.р} = 291 \text{ А}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 63 \text{ кА}$	$i_{уд} = 11,613 \text{ кА}$
$(I_T)^2 t_T \geq B_K$	$(I_T)^2 t_T = 25^2 \cdot 4 =$	$B_K = (I''_{по})^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{с.в.} + T_a) =$ $= 7,569^2 \cdot (1 + 0,07 + 0,00427) =$

	= 2500 кА ² ·с	= 61,54 кА ² ·с
--	---------------------------	----------------------------

Окончательно выбираем разъединитель типа РНДЗ -35/1000У1

Предварительно выбираем заземлитель типа ЗР 36 У1

Таблица 6.2

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_n \geq U_{уст}$	$U_n = 36$ кВ	$U_{уст} = 35$ кВ
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 16$ кА	$i_{уд} = 11,613$ кА
$(I_T)^2 \cdot t_T \geq B_k$	$(I_T)^2 \cdot t_T = 90^2 \cdot 1 =$ $= 8100$ кА ² ·с	$B_k = (I''_{по})^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{с.в.} + T_a) =$ $= 7,569^2 \cdot (1 + 0,07 + 0,00427) =$ $= 61,54$ кА ² ·с

Предварительно выбираем выключатель типа МКП - 35 –1000 – 25 АУ1.

Таблица 6.3

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_n \geq U_{уст}$	$U_n = 35$ кВ	$U_{уст} = 35$ кВ
$I_n \geq I_{м.р}$	$I_n = 1000$ А	$I_{м.р} = 291$ А
$I_{н.откл.} \geq I''_{пт}$	$I_{н.откл.} = 25$ кА	$I''_{пт} = 7,569$ кА
$I_{дин} \geq I''_{по}$	$I_{н.откл.} = 25$ кА	$I''_{по} = 7,569$ кА
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 64$ кА	$i_{уд} = 11,613$ кА
$(I_T)^2 \cdot t_T \geq B_k$	$(I_T)^2 \cdot t_T = 25^2 \cdot 4 =$ $= 2500$ кА ² ·с	$B_k = (I''_{по})^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{с.в.} + T_a) =$ $= 7,569^2 \cdot (1 + 0,07 + 0,00427) =$ $= 61,54$ кА ² ·с

Выбор электрооборудования на стороне 10 кВ.

Выбор ячеек и выключателей РУНН ПГВ.

Максимальный расчетный ток:

$$I_{м.рас} = \frac{S_{м\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{17616,151}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1018,3 \text{ А.}$$

Выбираем ячейки КМ-1: $U_n = 10 \text{ кВ}$, $I_n = 1600 \text{ А}$, $i_{дин} = 80 \text{ кА}$. Ячейки комплектуются маломасляными выключателями типа ВКЭ-10-31,5/1600У3.

Таблица 6.4

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_n \geq U_{уст}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$
$I_n \geq I_{м,р}$	$I_n = 1600 \text{ А}$	$I_{м,р} = 1018,3 \text{ А}$
$I_{н,откл.} \geq I''_{пт}$	$I_{н,откл} = 31,5 \text{ кА}$	$I''_{пт} = 9,623 \text{ кА}$
$I_{дин} \geq I''_{по}$	$I_{н,откл} = 31,5 \text{ кА}$	$I''_{по} = 11,78 \text{ кА}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	$i_{уд} = 28,74 \text{ кА}$
$(I_t)^2 t_t \geq V_k$	$(I_t)^2 \cdot t_t = 31,5^2 \cdot 4 =$ $= 3969 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$V_k^* = 58,78 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Окончательно выбираем маломасляный выключатель типа ВКЭ-10-31,5/1600У3.

- При коротком замыкании вблизи группы двигателей тепловой импульс определяется как суммарный от периодической $V_{к,п}$ и аperiodической $V_{к,а}$ составляющих [18]:

$$V_k = V_{к,п} + V_{к,а}; \quad (6.2)$$

$$V_{к,п} = I_{по(к2)}''^2 \cdot \tau + 2 \cdot I_{по(к2)}'' \cdot I_{по.сд}'' \cdot T_d + 0,5 \cdot I_{по.сд}''^2 \cdot T_d \quad (6.3)$$

где T_d - постоянная времени эквивалентного двигателя. При отсутствии точных данных можно принять значение T_d равным 0,07 с.

Аperiodические составляющие токов двигателей от системы затухают по экспонентам с близкими постоянными времени. Поэтому аperiodическую составляющую тока в месте КЗ можно представить в виде одной экспоненты с эквивалентной постоянной времени [18]:

$$T_{a.э} = \frac{T_{a(K2)} \cdot I''_{ПО(K2)} + T_{a.сд} \cdot I''_{ПОСД}}{I''_{ПО(K2)} + I''_{ПОСД}} \quad (6.4)$$

Тепловой импульс от апериодической составляющей тока КЗ [18]:

$$B_{к.а} = (I''_{ПО(K2)} + I''_{ПОСД})^2 \cdot T_{a.э} \quad (6.5)$$

По (6.2): $B_{к.п} = 6,675^2 \cdot 1,07 + 2 \cdot 6,645 \cdot 5,135 \cdot 0,07 + 0,5 \cdot 5,135^2 \cdot 0,07 = 52,95 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

По (6.4): $T_{a.э} = \frac{0,021 \cdot 6,645 + 0,07 \cdot 5,135}{6,645 + 5,135} = 0,042 \text{ с}$

где $T_{a.сд}$ - из табл. 2.45[10].

По (6-5): $B_{к.а} = (6,645 + 5,135)^2 \cdot 0,042 = 5,83 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

По (6.6): $B_{к} = 52,95 + 5,83 = 58,78 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

роверка КЛЭП по термической стойкости к токам КЗ.

Проверка по термической стойкости к токам КЗ производится по следующему выражению:

$$F_{m.min} = \frac{\sqrt{B_{к}}}{C} \quad (6.5)$$

где C – тепловая функция, для кабелей 10 кВ с алюминиевыми однопроволочными жилами и бумажной изоляцией, $C=94 \text{ А} \cdot \text{с}^{2/3} / \text{мм}^2$ табл. 2.72 [10];

По (6.2): $B_{к.л} = 6,645^2 \cdot 0,17 + 2 \cdot 6,645 \cdot 5,135 \cdot 0,07 + 0,6 \cdot 5,135^2 \cdot 0,07 =$
 $= 13,206 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$

где $\tau = t_{рз} + t_{св.откл} = 0,1 + 0,07 = 0,17 \text{ с}$.

По (6.1): $B_{к} = 13,206 + 5,23 = 19,036 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$

где $B_{к.а} = 5,23 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ (см. выбор ячеек РУНН ПГВ).

По (6.5): $F_{m.min} = \frac{\sqrt{19,036 \cdot 10^6}}{94} = 46 \text{ мм}^2$

Исходя из условий термической стойкости кабеля к токам КЗ выбираем кабель (отходящий от ПГВ к КТП) ААШв 3х50 с $I_{доп} = 90 \text{ А}$.

Выбор трансформатора напряжения.

Условия выбора:

- по напряжению $U_{уст} \leq U_n$;
- по конструкции и схеме соединения обмоток;
- по классу точности;
- по вторичной нагрузке $S_2 < S_{2н}$

где $S_{2н}$ - номинальная мощность в выбранном классе точности;

S_2 - нагрузка всех измерительных приборов.

Таблица 6.5

Наименование приборов	Тип	Количество	S, ВА	Число катушек	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	P, Вт	Q, вар
Вольтметр	Э-335	4	2	1	1	0	8	0
Ваттметр	Д-335	1	1,5	2	1	0	3	0
Варметр	Д-335	1	1.5	2	1	0	3	0
Счетчик активной энергии	И-680	1	2Вт	2	0,38	0,925	4	9.79
Счетчик реактивной энергии	И-676	1	3Вт	2	0,38	0,925	6	14,6
Частотомер	Э-371	1	3	1	1	0	3	0
Итого:							27	24,34

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{27^2 + 24,34^2} = 36,532 \text{ ВА.}$$

Выбираем трансформатор напряжения типа НАМИ-10-66УЗ со следующими каталожными данными: $U_n = 10$ кВ; $U_{2н} = 100$ В; $S_{2н} = 120$ ВА в классе точности 0,5.

$$S_2 (36,532 \text{ ВА}) < S_{2н} (120 \text{ ВА}).$$

Таким образом, трансформатор напряжения НАМИ-10-66УЗ будет работать в выбранном классе точности 0,5.

Выбор трансформатора тока.

Условия выбора:

- по напряжению $U_{уст} \leq U_n$;
- по номинальному первичному току $I_{м.р} \leq I_{1н}$;
- по номинальному вторичному току;
- по классу точности;
- по вторичной нагрузке $Z_2 \leq Z_{2н}$,

где $Z_{2н}$ — номинальная нагрузка в выбранном классе точности;

Z_2 - нагрузка всех измерительных приборов.

Таблица 6.6

Наименование приборов	Тип	Количество	S, ВА	
			A	C
Амперметр	Э-377	1	0.1	
Ваттметр	Д-335	1	0.5	0.5
Варметр	Д-335	1	0.5	0.5
Счетчик активной энергии	И-680	1	2.5	2.5
Счетчик реактивной энергии	И-676	1	2.5	2.5
Итого:			6.1	6

Максимальный расчетный ток $I_{м.р} = 1018,3$ А.

Предварительно выбираем трансформатор тока типа ТПЛК-10: $I_{1н} = 1500$ А;

$I_{2H} = 5A$; $Z_{2H} = 0,4 \text{ Ом}$ (в классе точности 0,5); $I_T = 70,8 \text{ кА}$; $t_T = 3 \text{ с}$.

Определим расчетное сопротивление приборов:

$$Z_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2H}^2} = \frac{6,1}{5^2} = 0,244 \text{ Ом}.$$

Определим расчетное сопротивление соединительных проводов:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2H} - R_{\text{конт}} - Z_{\text{приб}} = 0,4 - 0,1 - 0,244 = 0,056 \text{ Ом},$$

где $R_{\text{конт}}$ - сопротивление контактов, Ом.

Сечение соединительных проводов определяется по выражению:

$$F = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пров}}}, \quad (6.6)$$

где $\rho = 0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ - удельное сопротивление алюминия;

l_p - расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока и расстояния l от трансформатора тока до приборов: при включении в неполную звезду $l_p = \sqrt{3} \cdot l$, м;

Сечение соединительных проводов по (6.6):

$$F = \frac{0,028 \cdot \sqrt{3} \cdot 6}{0,056} = 5,196 \text{ мм}^2.$$

Принимаем стандартное сечение алюминиевого провода $F_{\text{ст}} = 6 \text{ мм}^2$.

Расчетное сопротивление нагрузки вторичной цепи:

$$Z_2 = Z_{\text{приб}} + R_{\text{конт}} + \frac{\rho \cdot l}{F_{\text{ст}}} = 0,244 + 0,1 + \frac{0,028 \cdot \sqrt{3} \cdot 6}{6} = 0,392 \text{ Ом}.$$

$$Z_2 (0.392 \text{ Ом}) < Z_{2h} (0,4 \text{ Ом}).$$

Таким образом трансформатор тока ТПЛК-10 будет работать в выбранном классе точности.

Проверка на электродинамическую стойкость.

$$\text{Условие проверки: } i_{m, \text{дин}} \geq i_{\text{уд}}.$$

$$i_{m, \text{дин}} (74,5 \text{ кА}) > i_{\text{уд}} (28,74 \text{ кА})$$

Трансформатор типа ТПЛК-10 удовлетворяет условию проверки.

Проверка на термическую стойкость к токам КЗ.

$$\text{Условие проверки: } I_m^2 \cdot t_m \geq B_k$$

$$I_T^2 \cdot t_T (15038 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}) > B_k (58,78 \text{ кА}^2 \cdot \text{с})$$

Трансформатор типа ТПЛК-10 удовлетворяет условию проверки.

Таким образом, окончательно выбираем трансформатор тока типа ТПЛК-10.

Схема подключения приборов показана на рис. 6.1.

Выбор электрооборудования на стороне 0,4 кВ.

Выбор вводного автоматического выключателя.

Максимальный расчетный ток:

$$I_{\text{м.рас}} = \frac{S_{\text{см}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{187,62}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 271,13 \text{ А.}$$

Предварительно выбираем автоматический выключатель типа А3734С.

Таблица 6.7

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_{\text{н}} \geq U_{\text{уст}}$	$U_{\text{н}} = 660 \text{ В}$	$U_{\text{уст}} = 380 \text{ В}$
$I_0 \geq I_{\text{м.р.}}$	$I_{\text{н}} = 400 \text{ А}$	$I_{\text{м.рас}} = 271,13 \text{ А}$
$I_{\text{н.откл}} \geq I''_0$	$I_{\text{н.откл}} = 50 \text{ кА}$	$I''_{\text{по}} = 4,32 \text{ кА}$

Уставка тока срабатывания защиты:

$$I_{расц} \geq (1,1 - 1,3)I_{м.р.}$$

$$I_{расц} \geq (298,243 - 352,47) \text{ А.}$$

Принимаем уставку $I_{расц.н} = 350 \text{ А.}$

$$I_{ср.авт.кз} = 3 \cdot I_{расц.н} = 3 \cdot 350 = 1050 \text{ А.}$$

Окончательно выбираем автоматический выключатель типа А3734С.

Выбор автоматического выключателя на линии к СП-4.

Максимальный расчетный ток берем из таблицы 4.5: $I_{м.р} = 86,22 \text{ А.}$

Предварительно выбираем автоматический выключатель типа А3716БУЗ.

Таблица 6.8

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_n \geq U_{уст}$	$U_n = 660 \text{ В}$	$U_{уст} = 380 \text{ В}$
$I_o \geq I_{м.р.}$	$I_n = 160 \text{ А}$	$I_{м.рас} = 86,22 \text{ А}$
$I_{н.откл} \geq I''_o$	$I_{н.откл} = 40 \text{ кА}$	$I''_{по} = 4,32 \text{ кА}$

Уставка тока срабатывания защиты:

$$I_{расц} \geq (1,1 - 1,3)I_{м.р.}$$

$$I_{расц} \geq (94,84 - 112) \text{ А.}$$

Принимаем уставку $I_{расц.н} = 100 \text{ А.}$

$$I_{ср.авт.кз} = 3 \cdot I_{расц.н} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ А.}$$

Окончательно выбираем автоматический выключатель типа А3716БУЗ.

Выбор автоматического выключателя на линии к СП-3.

Максимальный расчетный ток берем из таблицы 4.5: $I_{м.р} = 117 \text{ А.}$

Предварительно выбираем автоматический выключатель типа А3716БУЗ.

Таблица 6.9

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_n \geq U_{уст}$	$U_n = 660 \text{ В}$	$U_{уст} = 380 \text{ В}$
$I_o \geq I_{м.р.}$	$I_n = 160 \text{ А}$	$I_{м.рас} = 117 \text{ А}$
$I_{н.откл} \geq I''_o$	$I_{н.откл} = 40 \text{ кА}$	$I''_{по} = 4,32 \text{ кА}$

Уставка тока срабатывания защиты:

$$I_{расц} \geq (1,1 - 1,3)I_{м.р.}$$

$$I_{расц} \geq (128,7 - 152,1) \text{ А.}$$

Принимаем уставку $I_{расц.н} = 150 \text{ А.}$

$$I_{ср.авт.кз} = 3 \cdot I_{расц.н} = 3 \cdot 150 = 450 \text{ А.}$$

Окончательно выбираем автоматический выключатель типа А3716БУЗ.

Выбор автоматического выключателя на линии к СП-1,2.

Максимальный расчетный ток берем из таблицы 4.9: $I_{м.р} = 34,1 \text{ А}$

Предварительно выбираем автоматический выключатель типа А3716БУЗ.

Таблица 6.10

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_n \geq U_{уст}$	$U_n = 660 \text{ В}$	$U_{уст} = 380 \text{ В}$
$I_o \geq I_{м.р.}$	$I_n = 160 \text{ А}$	$I_{м.рас} = 34,1 \text{ А}$
$I_{н.откл} \geq I''_o$	$I_{н.откл} = 40 \text{ кА}$	$I''_{по} = 4,32 \text{ кА}$

Уставка тока срабатывания защиты:

$$I_{расц} \geq (1,1 - 1,3)I_{м.р.}$$

$$I_{расц} \geq (37,51 - 44,33) \text{ А.}$$

Принимаем уставку $I_{расц.н} = 40 \text{ А.}$

$$I_{ср.авт.кз} = 3 \cdot I_{расц.н} = 3 \cdot 40 = 120 \text{ А.}$$

Окончательно выбираем автоматический выключатель типа А3716БУЗ.

Выбор автоматического выключателя на линии к СП-5.

Максимальный расчетный ток берем из таблицы 4.9: $I_{м.р} = 156,8 \text{ А}$

Предварительно выбираем автоматический выключатель типа А3726БУЗ.

Таблица 6.11

Условия выбора	Каталожные данные	Расчетные параметры
$U_n \geq U_{уст}$	$U_n = 660 \text{ В}$	$U_{уст} = 380 \text{ В}$
$I_o \geq I_{м.р.}$	$I_n = 160 \text{ А}$	$I_{м.рас} = 156,8 \text{ А}$
$I_{н.откл} \geq I''_o$	$I_{н.откл} = 40 \text{ кА}$	$I''_{по} = 4,32 \text{ кА}$

Уставка тока срабатывания защиты:

$$I_{расц} \geq (1,1 - 1,3)I_{м.р.}$$

$$I_{расц} \geq (172,48 - 203,84) \text{ А.}$$

Принимаем уставку $I_{расц.н} = 200 \text{ А.}$

$$I_{ср.авт.кз} = 3 \cdot I_{расц.н} = 3 \cdot 200 = 600 \text{ А.}$$

Окончательно выбираем автоматический выключатель типа А3726БУЗ.

7 ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ НАСОСА И ЕГО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

7.1 Описание принципа действия схемы управления

Схемой, представленной на рис.7.2, предусмотрены два режима управления двигателем:

- 1) дистанционное - с диспетчерского пункта (кнопками управления SB3 SB4);
- 2) местное - с помощью кнопок управления, расположенных непосредственно у насосного агрегата (SB1, SB2).

Пуск двигателя осуществляется нажатием кнопки SB1 (SB3), при этом насос должен быть залит водой (контакт реле контроля заливки SL будет замкнут). При нажатии кнопки SB1 (SB3) получают питание катушка промежуточного реле KL1 и катушка магнитного пускателя KM3. Один из контактов KL1 шунтирует кнопку SB1 (SB3), а другим подает питание на катушку промежуточного реле KL4. Контакт KM3 подается сигнал на электромагнит включения YAC1 масляного выключателя Q1. При включении выключателя Q1 статор двигателя через реактор LR подключается к сети. При его подключении к сети в начальный момент пуска (асинхронный пуск) в цепи статора проходит ток, в несколько раз превышающий номинальный в результате чего сработает токовое реле КА, присоединенное к трансформатору тока, включенному в статор двигателя М. Контакт этого реле включает реле времени КТ2. В цепи катушки промежуточного реле KL5 размыкается контакт КТ2 и подготавливает цепь включения контактора KM2 и магнитного пускателя KM4, включаемых через контакты KL5 промежуточного реле. По мере разгона двигателя ток в статоре его спадает и при подсинхронной скорости (0,95 – 0,98 синхронной) значительно уменьшается, реле КА при этом разомкнет свой замыкающий контакт в цепи КТ2. С выдержкой времени (около 0,9 с) замкнется контакт реле КТ2 в цепи

катушки KL5. Контакт КМ2 включается и подключает к обмотке возбуждения М постоянный ток и одновременно с этим через замыкающий контакт КМ4 (пускатель КМ4 включается одновременно с контактором КМ2) получает питание электромагнит включения YAC2 масляного выключателя Q2. Выключателем Q2 шунтируется реактор LR и к статору двигателя прикладывается полное напряжение сети, двигатель входит в синхронизм. При включении КМ2 размыкается цепь разрядного резистора R_p.

С целью облегчения вхождения М в синхронизм, если напряжение питающей сети понижено, в схеме управления предусмотрен узел форсирования возбуждения.

Форсировка может выполняться двумя способами:

1) при помощи реле напряжения KV3, присоединяемого к вторичной обмотке трансформатора напряжения, используемого в схеме управления данного двигателя (индивидуальная форсировка);

2) при помощи реле напряжения KV4, подключаемого к шинам групповой форсировки на распределительном устройстве (групповая форсировка).

При индивидуальной форсировке реле KV3 размыкающим контактом (если напряжение сети снижено) включает контактор КМ1, шунтирующий своим контактом резистор регулятора возбуждения R_v, чем и обеспечивается форсированное возбуждение синхронного двигателя М.

Недостатком индивидуальной форсировки является возможность ложной форсировки в случае отключения автоматом цепей, отходящих от трансформатора напряжения, подключенного к распределительному устройству.

Более надежной является так называемая групповая форсировка, при которой контактор КМ1 включается замыкающим контактом реле KV4. Оно в свою очередь включается при подаче питания на шины групповой форсировки, когда напряжение высоковольтной сети снижается на 15-20%. В этом случае благодаря непосредственному подключению реле на выводы

вторичной обмотки трансформатора напряжения исключается возможность ложной форсировки.

Способ форсировки выбирается с помощью контактных накладок ХВ1 и ХВ2.

Отключение синхронного двигателя осуществляется:

- 1) нажатием на кнопку SB2 (SB4);
- 2) срабатыванием релейной защиты;
- 3) если после пуска насос не развивает необходимое давление (контакт SP в цепи отключения выключателя);
- 4) при срабатывании реле контроля заливки насоса.

7.2 Выбор аппаратов для схемы управления

Промежуточные реле.

Таблица 7.1

Обозначение на схеме	Параметры выбора		Каталожные данные			
	U _{уст} , В	Число контактов	Тип	U _н , В	I _{н.кон} , А	Число контактов
KL1	~220	2з + 2р	РП20М-217УЗ	~220	6	2з+2р
KL2	~220	1р	РП20М-217УЗ	~220	6	2з+2р
KL3	~220	1р	РП20М-217УЗ	~220	6	2з+2р
KL4	~220	1з	РП20М-217УЗ	~220	6	2з
KL5	~220	2з	РП20М-217УЗ	~220	6	2з

Потребляемая мощность включающей катушки при питании переменным током с числом контактов реле не более 4 не превышает 4 ВА.

Реле времени.

Таблица 7.2.

Обозначение на схеме	Параметры выбора		Каталожные данные		
	U _{уст} , В	Выдержка с.	Тип	U _н , В	Диапазон выдержек, с

КТ1	~220	$t_{AX} \approx 1 \text{ с}$	ВЛ-59УХЛ4	~220	0,1-100 с
КТ2	~220	$T \approx 0,9 \text{ с}$	ВЛ-59УХЛ4	~220	0,1-100 с
КТ3	~220	$t_{пуска} \approx 20 \text{ с}$	ВЛ-59УХЛ4	~220	0,1-100 с

Потребляемая мощность на переменном и постоянном токе не более 6 ВА.

Контакторы и пускатели.

Таблица 7.3

Обозначение на схеме	Параметры выбора		Каталожные данные				
	$U_{уст}, \text{ В}$	$I_{м,р}, \text{ А}$	Тип	$U_n, \text{ В}$	$U_n, \text{ В}$	$I_{н,кон}, \text{ А}$	$S_{в.кат}, \text{ ВА}$
КМ1	=76	$0,03 \cdot 275 = 8,25 =$	МК 1 - 10	=220	=220	40	40 Вт
КМ2	=76	275	КПВ – 602	=220	=220	630	-
КМ3	~220	60	ПМЛ - 410002	~220	~220	63	200
КМ4	~220	60	ПМЛ - 410002	~220	~220	63	200

Указательные реле.

Таблица 7.4

Обозначение на схеме	Параметры выбора	Каталожные данные	
	$U_{уст}, \text{ В}$	Тип	$U_n, \text{ В}$
КН1-КН7	~220	РЭУ 11-	~220

Мощность, потребляемая реле переменного тока с катушкой тока не более 2ВА.

Каталожные данные для промежуточных реле, реле времени, контакторов и указательных реле взяты из справочной литературы [19].

Сигнальные лампы.

Обозначение на схеме HL1-HL5.

Выбираем светосигнальное устройство типа АСШВ 035У2 [20]: $U_n = 220 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$, $P_n = 10 \text{ Вт}$, светофильтр красный.

Кнопочные посты управления.

Обозначение на схеме: SB1-SB4.

Выбираем кнопочные посты управления ПКЕ 712-2 [20]: $U_n = 220\text{В}$, $I_n = 6\text{А}$.

Резисторы.

Разрядное сопротивление:

$$R_p = (10 \div 12) \cdot R_{OB} = (10 \div 12) \cdot \frac{U_{BH}}{I_{BH}} = (10 \div 12) \frac{81}{280} = (2,89 \div 3,47) \text{ Ом}$$

где U_{BH} - номинальное напряжение возбуждения, В;

I_{BH} - номинальный ток возбуждения, А.

Выбираем резистор, регулируемый проволочный типа ПЭВР с диапазоном регулирования 3 - 220 Ом.

Резистор регулятора возбуждения.

$$R_{B(\text{при } I_{BH})} = \left(\frac{1}{0,03} - \frac{1}{0,03 \cdot 1,8} \right) \frac{U_{BH}}{I_{BH}} = \left(\frac{1}{0,03} - \frac{1}{0,03 \cdot 1,8} \right) \frac{81}{280} = 4,2 \text{ Ом}$$

$$R_B = 2 \cdot R_{B(\text{при } I_{BH})} = 2 \cdot 4,2 = 8,4 \text{ Ом.}$$

Выбираем резистор, регулируемый проволочный типа ПЭВР с диапазоном регулирования 3 - 220 Ом.

Электроконтактный манометр.

Обозначение на схеме: SP.

Электроконтактный манометр типа ЭКМ-1У предназначен для измерения и сигнализации или позиционного регулирования избыточного давления нейтральных жидкостей и газов. В нашем случае, электроконтактный манометр контролирует давление жидкости (воды) в нагнетающем трубопроводе.

Напряжение манометра 220 В; разрывная мощность 10 ВА - класс точности 1,5.

Верхние пределы измерения избыточного давления ЭКМ-1У [20]: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0 МПа.

Реле контроля заливки.

Обозначение на схеме: SL.

Реле контроля заливки предназначено для контроля заполнения водой насоса. Выбираем реле контроля заливки типа РЗН-67.

Накладки контактные.

Обозначение на схеме: XB1, XB2.

Выбираем накладки контактные типа НКР-3.

Автоматический выключатель.

Обозначение на схеме: SF.

Максимальный расчетный ток:

$$I_{м.р} = \frac{\sum_{i=1}^{17} S_{АППАРАТА.i} + \sum_{i=1}^5 P_{ЛАМПЫ.i}}{U_{сети}} = \frac{5 \cdot 4 + 3 \cdot 6 + 2 \cdot 200 + 7 \cdot 2 + 5 \cdot 10}{220} = 2,3 \text{ A}$$

Предварительно выбираем автоматический выключатель типа АП-50 [15].

Уставка тока срабатывания защиты:

$$I_{расц} \geq (1,1-1,3)I_{м.р}.$$

$$I_{расц} \geq (2,53 - 2,99) \text{ A}.$$

Принимаем уставку $I_{расц.н} = 10 \text{ A}$.

$$I_{ср.авт.КЗ} = 10 \cdot I_{расц.н} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ A}.$$

Окончательно выбираем автоматический выключатель типа АП-50.

Типы реле, применяемые в схеме защиты СД.

Реле тока.

Таблица 7.5

Обозначение на схеме	Тип реле
КА	РТ-40
КА1-КА4	РТ-40

КА5	РТ-80
КА6	РТ-40
КА7	РЭВ-830
КА8	РЭВ-830

Реле напряжения.

Таблица 7.6

Обозначение на схеме	Тип реле
KV1, KV2	PH-50
KV3	PH-50
KV4	PH-50

8 ОХРАНА ТРУДА

8.1 Анализ опасных и вредных факторов на рабочем месте

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 опасными и вредными факторами по природе действия в помещениях мастерской и машинного зала является наиболее опасным физическое воздействие установленного оборудования на человека.

К физическим факторам насосной станции относятся следующие подгруппы:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- прямая и отражённая блескость;
- повышенная пульсация светового потока.

Чтобы обеспечить нормальные условия работы, в соответствии с нормативными документами, предусмотрены нормы параметров опасных и вредных производственных факторов в помещении насосной станции:

- 1) Микроклимат. ГОСТ12.1.012-90, СН 2.2.4/2.1.8.548-96. Таблица 2.
- 2) Производственный шум. ГОСТ12.1.003-83, СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Таблица 8.1

Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука в дБА
	31,5	83	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

В зависимости от физической природы шумов могут быть:

- механического происхождения, возникающие при вибрации поверхностей машин и оборудования, а также при одиночных или периодических ударах в сочленениях деталей или конструкциях в целом;

- электромагнитного происхождения, возникающие в следствии колебательных элементов (ротора, статора, сердечника, трансформатора и др.) электромеханических устройств под действием магнитного поля;

- гидродинамического происхождения, возникающие вследствие происходящих гидродинамических процессов (гидродинамические удары, кавитация, турбулентность потока и др.)

Приблизённо действие шума, в зависимости от его уровня можно охарактеризовать следующим образом. Шум уровня 50-65 дБ может вызвать раздражение, однако его воздействие носит лишь психологический характер. Особенно отрицательно сказывается воздействие шума малой интенсивности при умственной работе.

При уровне шума 65-90 дБ возможно его физиологическое воздействие. Пульс и давление крови повышается, сосуды сужаются, что снижает снабжение организма кровью, и человек быстрее устаёт.

Воздействие шума уровнем 90 дБ и выше приводит к нарушениям органов слуха, усиливается его влияние на систему кровообращения, ухудшается деятельность желудка и кишечника, появляется ощущение тошноты, головной боли и шума в ушах.

При уровне шума 120 дБ и выше он может механически воздействовать на органы слуха – лопаются барабанные перепонки, нарушаются связи между отдельными частями внутреннего уха. Потеря слуха.

Шум уровня выше 120 дБ оказывает воздействие не только на органы слуха, но и на весь организм. Звук проникая через кожу, вызывает механические повреждения тканей, в результате чего происходит разрушение нервных клеток, разрывы мелких кровеносных сосудов и др.

Таблица 8.2

Оптимальные нормы температуры, относительная влажность и скорость движения воздуха в рабочей зоне насосной станции

Период года	Категория работ	Оптимальная температура, °С	Оптимальная влажность, %	Оптимальная скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая I-б	21-23	40-60	0,1
	Средней тяжести II-б	17-19	40-60	0,2
Тёплый	Лёгкая I-б	22-24	40-60	0,2
	Средней тяжести II-б	20-24	40-60	0,3

I-б категория. Виды деятельности с расходом энергии не более 150 ккал/ч (174 Вт). Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторыми физическими напряжениями.

II-б категория. Виды деятельности с расходом энергии в пределах 151-250 ккал/ч (175 - 290 Вт).

3) Электрическое поле. ГОСТ12.1.002-84.

Электрическое поле оказывает отрицательное воздействие на организм человека. Это поле создаётся по крайней мере между двумя электродами (телами), которые несут заряды разных знаков. Поле электрических установок неравномерное и вместе с тем оно обычно несимметричное, поскольку возникает между электродами различной формы, например между токоведущей частью и землёй. В нашем случае источником электрического поля является КТП. Предполагается, что фактором изменения в организме человека является индуцируемый в теле ток, который несёт с собой некоторый потенциал. И при определённых условиях (например, при прикосновении человека, имеющего контакт с землёй, к металлическому предмету, изолированному от земли) сопровождается прохождением через человека в землю разрядного тока, который приводит к болезненным ощущениям или опасен для жизни.

Предельный допустимый уровень напряжённости электрического поля должен находиться в пределах 0,2 – 0,5 В/м при времени нахождения в ЭП от 0,5 до 8 часов.

4) Освещение. СНиП 23.05.95.

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Возникает необходимость освещения как естественным, так и искусственным светом. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же, наоборот, отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека, это приводит к тому, что начинает возникать неустойчивость зрительных процессов, которые из-за большей частоты сменяемости световых условий накладываются друг на друга, не давая глазу времени адаптироваться к новым условиям. От усиленной деятельности приспособляемых механизмов глаза быстро утомляются, что вызывает физическую усталость организма.

В насосной станции используется комбинированное освещение (общее освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно или применительно к расположению оборудования) и местное (локализованное).

Таблица 8.3

Рекомендуемые источники света для насосной станции

Характеристика зрительных работ по требованиям к цветоразличию	Освещённость по СНиП, лк	Типы светильников
Требования к цветоразличию отсутствуют: Машинный зал	150	ДРЛ 1000-2

Таблица 8.4

Характеристика зрительных работ	Наименьший или эквивалентный размер объекта различия, мм	Разряд зрительных работ	Искусственное освещение		
			Комбинированная система освещения	Сочетание нормативных величин показателя ослеплённости и коэффициента пульсации	
				P	К _п , %
Общее наблюдение за ходом производственного процесса	Более 0,5	VIII	150	40	20

8.2 Меры по снижению и устранению опасных и вредных факторов

В помещении машинного зала находятся 8 насосов, которые являются источниками шума (ИШ) и вибраций.

Защита от шума:

1. Замена шумного, устаревшего оборудования на оборудование с лучшими шумовыми характеристиками.
2. Правильная ориентация ИШ или места излучающегося шума по отношению к РТ для снижения показателя направленности Ф.
3. Размещение ИШ на возможно удалённом от РТ расстоянии.
4. Использование средств звукопоглощения при выполнении акустической обработки шумных помещений.
5. Использование средств звукоизоляции путём применения таких материалов и конструкций для наружных стен, окон, ворот, дверей, трубопроводов и коммуникаций, которые могут обеспечить требуемую звукоизоляцию; применение экранов, препятствующих распространению звука от оборудования, размещённого в помещении насосной станции.

Защита от вибраций:

Для исключения воздействия вибраций на окружающую среду необходимо принимать меры по их снижению прежде всего в источнике их возникновения.

Причиной низкочастотных вибраций насосов, двигателей является диапазон вращающихся элементов (роторов), вызванный неоднородностью материала конструкции.

Для снижения уровня вибрации, возникающих из-за дисбаланса оборудования при монтаже и эксплуатации, должна применяться балансировка неуравновешенных роторов, колёс, лопаточных машин, валов двигателей и т. п.

Если не удаётся снизить вибрации в источнике возникновения, то применяют методы снижающие вибрацию на путях распространения, это – виброгашение (увеличение эффективной жёсткости и массы корпуса или станков за счёт объединения в единую замкнутую систему с фундаментом с помощью анкерных болтов или цементной подливки). Насосы устанавливают на опорные плиты и виброгасящие основания. Виброизоляция (резиновые и пластмассовые прокладки, листовые рессоры).

8.3 Определение шума в машинном зале в расчётной точке

Согласно генплану, в помещении машинного зала размером 55,5 x 22 м равномерно размещены 8 насосов 1000В-2,5/63 (источники шума). Отметим положение расчётной точки и определим на схеме расстояние от неё до оборудования. Расчётная точка находится в соседнем зале у щитов управления.

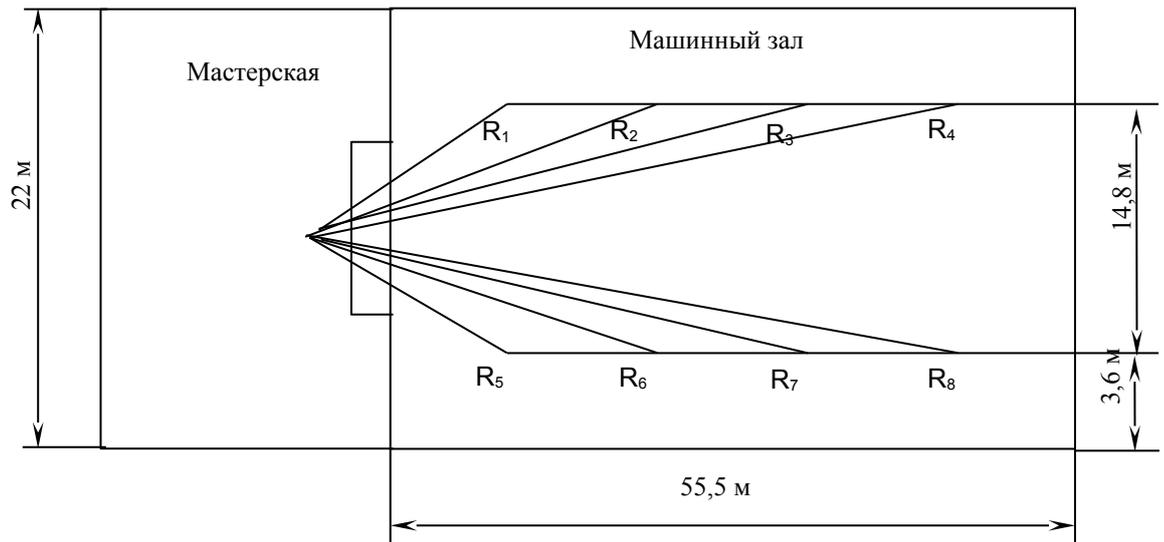


Рис. 1 : $r_1 = 17,94$ м; $r_2 = 27,6$ м; $r_3 = 37,8$ м; $r_4 = 48,3$ м; $r_5 = 17,94$ м;
 $r_6 = 27,6$ м; $r_7 = 37,8$ м; $r_8 = 48,3$ м.

Определение шума при наличии нескольких источников шума в зоне прямого и отражённого звука.

$$L_p = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{Z_i \cdot \lambda_i \cdot \Phi_i}{S_i} + \frac{4 \cdot \psi}{B} \sum_{i=1}^n Z_i \right) \quad (8.1)$$

где $Z_i = 10^{0,1L_{wi}}$

L_{wi} – октавный уровень звуковой мощности (дБ) источника шума, для насоса равен 84 дБ при частоте 1000 Гц;

λ_i - коэффициент, учитывающий влияние акустического поля источника, определяется по графику [20] и зависит от отношения r_i / l_{\max} ;

l_{\max} – длина источника шума, $l_{\max} = 6,79$ м;

Φ_i – фактор направленности, $\Phi_i = 2$ [20];

S_i – площадь, m^2 , воображаемой поверхности правильной геометрической формы, радиусом r_i , окружающей источник и проходящей через расчётную точку:

$$S_i = \pi r_i^2 \quad (8.2)$$

где $k = 4$, когда источник шума находится на колонне или в помещении;

$$S_1 = 4 \times 3,14 \times 17,94^2 = 4042 \text{ м}^2;$$

V – постоянная помещения в октавных полосах:

$$V = V_{1000} \mu \tag{8.3}$$

V_{1000} – постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц [20] в зависимости от V объёма помещения (м^3) и его типа, $V_{1000} = V/20$;

μ - частотный множитель, $\mu_{1000} = 1$ [20];

ψ - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении и зависит от отношения $V/S_{\text{огр}}$;

где $S_{\text{огр}}$ – площадь ограничивающих помещение поверхностей;

n – общее количество источников шума в помещении, $n = 8$ шт;

m - количество источников шума, ближайших к расчётной точке т.е. тех, для которых $r_i \leq 5 r_{\text{min}}$ ($r_4 = 17,94 \text{ м}$), где r_{min} ($r_4 = 17,94 \text{ м}$) – расстояние, м, от расчётной точки до ближайшего источника шума, $m = 8$ шт.

Таблица 2

i	1	2	3	4	5	6	7	8
$r_i, \text{ м}$	17,94	27,6	37,8	48,3	17,94	27,6	37,8	48,3
r_i / l_{max}	2,6	4,1	5,6	7,1	2,6	4,1	5,6	7,1
λ_i	1	1	1	1	1	1	1	1
$S_i, \text{ м}^2$	4042	9568	17946	29301	4042	9568	17946	29301

Объём помещения $V = a \times b \times h = 55,5 \times 22 \times 16 = 19536 \text{ м}^3$, согласно формуле (8.3)

$$V_{1000} = 19536/20 = 976,8 \text{ м}^2;$$

$$V = 976,8 \times 1 = 976,8 \text{ м}^2;$$

Площадь поверхностей, ограничивающих поверхность помещения:

$$S_{\text{орг}} = 2(a+b)h + 2ab = 2(55,5+22)16 + 2 \times 55,5 \times 22 = 4922 \text{ м}^2;$$

Отсюда коэффициент ψ согласно [20] будет:

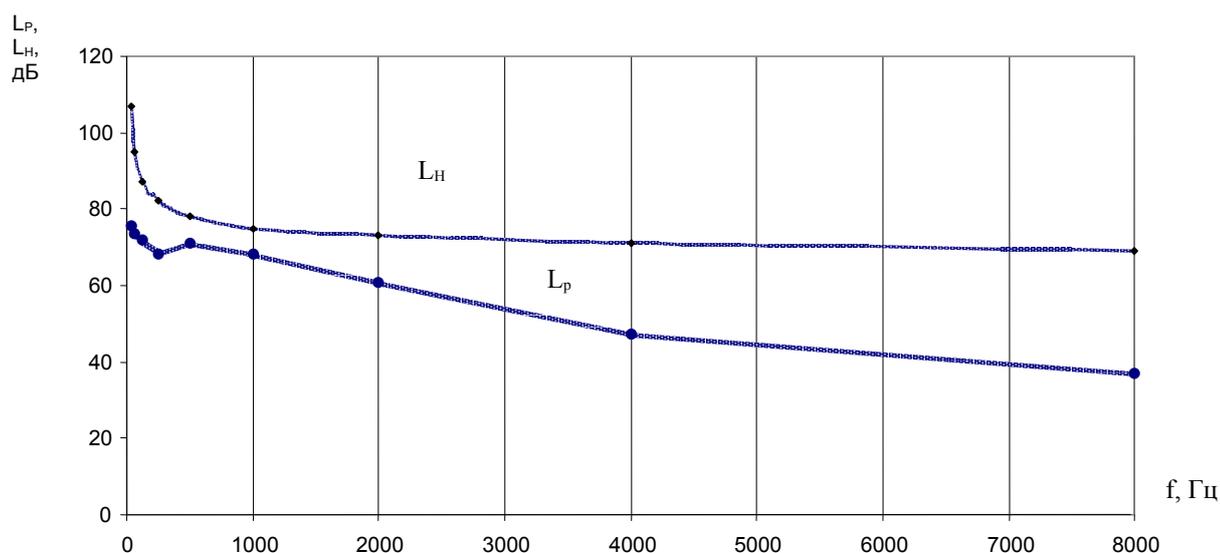
$$\psi = 0,825$$

Подставим полученные данные в формулу (1) и сведём в таблицу (3) для остальных частот спектра.

$$\Delta L_{P1000} = 10 \cdot \lg \left[10^{0,184} \cdot 1 \cdot 2 \left(\frac{8}{4042 + 9568 + 17946 + 29301 + 4042 + 9568 + 17946 + 29301} \right) + \frac{4 \cdot 0,825}{976,8} \cdot 8 \cdot 10^{0,184} \right] = 68 \text{ дБ}$$

Таблица 3

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L _p , дБ	76	74	72	68	71	68	61	47	37
L _н , дБ	107	95	87	82	78	75	73	71	69



Превышение шума ни в одном диапазоне частот не наблюдается, вследствие этого дополнительно снижение шума не требуется.

8.4 Пожарная безопасность

Опасными факторами, воздействующими на обслуживающий персонал и материальные ценности насосной станции, является:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- токсичные продукты горения и термические разложения;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

К вторичным проявлениям опасных факторов пожара, воздействующих на рабочий персонал и материальные ценности, относятся:

- осколки, части разрушающихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций;
- электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов;
- огнетушащие вещества.

Для предотвращения пожара в рабочей зоне насосной станции необходимо предотвратить образование горючей среды и воздействие на неё источников зажигания. Для этого необходимо обеспечить предотвращение следующими способами:

- максимально возможным применением негорючих и трудногорючих веществ и материалов;
- изоляцией горючей среды (применение изолированных отсеков, камер, кабин и т.п.);
- поддержание температуры и давления среды, при которых распространение пламени исключается;
- установкой пожароопасного оборудования по возможности в изолированных помещениях или на открытых площадках;
- применение машин, механизмов, оборудования, устройств, при эксплуатации которых не образуются источники зажигания;

- применение в конструкции быстродействующих средств защитного отключения возможных источников зажигания;

- поддержание температуры нагрева поверхности машин, механизмов оборудования, устройств, веществ и материалов, которые могут войти в контакт с горючей средой.

В здании насосной станции находятся несколько рабочих зон, которые относятся к следующим категориям:

- рабочая зона со станками и машинный зал – к категории Д (помещения, в которых находятся негорючие вещества и материалы в холодном состоянии);

- рабочая зона КТП – к категории В (помещение, в котором находится оборудование использующее легко воспламеняющиеся жидкости); так как в этой зоне используется ГЖ, то она относится к зоне пожароопасности П-1.

Вся насосная станция относится по взрывоопасности к зоне класса В-1а т.к. в эту зону входят помещения, в которых взрывоопасные смеси не образуются при нормальных условиях эксплуатации оборудования, но могут образоваться при авариях и неисправностях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении дипломного проекта «Электроснабжение и электропривод насосной станции» были произведены все необходимые расчёты для определения всей нагрузки насосной станции.

Согласно заданию была скомплектована насосная станция, которая состоит из машинного зала и мастерской. После проведения расчёта по выбору мощности, типа и количества насосов принято решение установить восемь насосов типа 800В –2,5/63 единичной производительностью 2,5 м³/с.

По ходу расчётов определено, что насосная станция будет получать питание от энергосистемы по схеме УВН с выключателем на стороне высшего напряжения ПГВ на напряжение 35 кВ. Выбор производился согласно технико-экономическому расчёту.

Электроснабжение насосной станции осуществляется по двум воздушным ЛЭП – 35 кВ, выполненным проводом АС-70 на железобетонных опорах.

Подстанция глубокого ввода расположена справа от главных ворот машинного зала.

На ПГВ установлены два двухобмоточных трансформатора типа ТДН – 16000/35. На стороне 10 кВ одинарная система шин, секционированная масляным выключателем РУ – 10кВ. Распределительное устройство низкого напряжения выполнено ячейками КМ – 1 с выкатными тележками.

КТП расположена внутри машинного зала напротив главных ворот и укомплектована двухобмоточными трансформаторами на 160 кВА с вторичным напряжением 0,4 кВ. От этой подстанции получают питание силовые пункты (СП1 – СП2, ЯБПУ), через которые в свою очередь запитывается всё электрооборудование насосной станции напряжением до 1000 В.

Рассмотрены схемы защиты и управления синхронного двигателя насоса. Для этих схем был произведён выбор аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лопастные насосы: Справочник / В.А. Замницкий, А.В. Каплун, А.Н. Папир, В.А. Умов: Под ред. В.А. Замницкого и В.А. Умова – Л.: Машиностроение Ленинградское отделение, 1986-334с.: ил.
2. Каталог СДН.
3. Справочник по электротехническим машинам: В 2т. Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 456 с. ил.
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Кноринга Л. Энергия, 1976. 384 с.
5. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1987-368с.: ил.
6. Автоматизированный электропривод. Методические указания к курсовому проекту для студентов специальности 0303. А.И. Мирошник. – Омск. 1987. – 36 с.
7. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980.- 360с.: ил.
8. Абрамович И.И. Грузоподъемные краны промышленных предприятий: Справочник / И.И.Абрамович, В.Н.Березин, А.Г.Яуре.- М.: Машиностроение, 1989.- 360 с.: ил.
9. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети. 2-е изд., перераб. и доп./Под общ. ред. А.А. Фёдорова и Г.В. Сербиновского. – М.: Энергия. 1980-576с. ил.
10. Справочник по проектированию электроснабжения./Под ред. Ю.Г.Барыбина и др.-М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
11. Методические указания для выполнения курсового проекта по ЭСПП. Составители: С.Г. Диев, А.Я. Киржбаум; ОМГТУ, Омск.-1994 – 24 с.

12. Характерные ошибочные решения при курсовом проектировании по ЭСПП. Методические указания «Электроснабжение промышленных предприятий» для студентов дневной и вечерней формы обучения. /Составители: Вязигин В.Л., Диев С.Г., Карпов В.В. Омск 1989.-32с.
13. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. Для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков; Под ред. А.А. Васильева. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с: ил.
14. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов.-4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989.-608 с.:ил.
15. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация:/сост.: Т.В. Ангарова, В.В. Кашенева. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 624 с. ил.
16. Правила устройства электроустановок/ Минэнерго СССР – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648с. ил.
17. Справочник электротехнических материалов и оборудования, поставляемых фирмой «ЭлектроСпецКомплект». Подготовлено к печати фирмой «ЭлектроСпецКомплект» Санкт-Петербург, 1998г., типографией «Наука».
18. Справочник по охране труда в машиностроении под ред. Бектабекова.
19. Охрана труда в полиграфии. Чижевский В.Г.
20. Л.О. Штриплинг, Л.Г. Стищенко, Защита от производственного шума. Методические указания к практическим самостоятельным и лабораторным работам. – Омск: ОмГТУ, 1995 – 39 с.