

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Кийдан Ольга Вячеславовна
Должность: Заместитель директора по УР
Дата подписания: 26.01.2022 09:44:37
Уникальный программный идентификатор (ФПИ) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет»
a2a2319df162d74b91cd23ebb9334b717bafdfce

Лянторский нефтяной техникум
образовании «Югорский государственный университет»
(ЛНТ (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсового проекта по МДК01.03 Электрическое и
электромеханическое оборудование и выпускной квалификационной работы
(дипломного проекта)

специальность 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		4

Рассмотрено на заседании ПЦК
специальностей
38.02.01, 15.02.07, 13.02.11

Протокол заседания
№ 1 от « 01 » 09 2020г.
Председатель А.П. Димашкин

УТВЕРЖДЕНО

заседанием методсовета

Протокол № 1 от « 01 » 09

Председатель методсовета

Жуцал О.В. Кийдан

Разработал: Карпунина Л.Н. – преподаватель высшей квалификационной к.
ЛНТ (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ»

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		5

Содержание

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	5
1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЕ.....	8
1.1 Организация руководства курсовым и дипломным проектированием.....	8
1.2 Темы проектов и исходные данные для проектирования.....	9
1.3 Содержание курсового и дипломного проекта.....	15
2 РАСЧЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	19
2.1 Характеристика потребителей электроэнергии и определение категории надежности.....	19
2.2 Выбор схемы электроснабжения и величины питающих напряжений.....	20
2.3 Назначение и техническая характеристика производственных механизмов.....	22
2.4 Расчет мощности и выбор электродвигателей основных механизмов.....	33
2.4.1 Расчёт мощности и выбор электродвигателей главного привода металлорежущего станка.....	34
2.4.2 Расчет мощностей и выбор электродвигателей механизма подъема и механизма передвижения мостового крана.....	43
2.4.3 Расчета мощности и выбор двигателя поршневого компрессора.....	53
2.4.4 Расчета мощности и выбор двигателя насосной установки.....	59
2.4.5 Расчёт мощности и выбор ПЭД.....	61
2.5 Расчет электрических нагрузок.....	67
2.6 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов.....	73
2.7 Компенсация реактивной мощности.....	80
2.8 Расчет токов короткого замыкания.....	83
2.8.1 Система относительных единиц.....	85
2.8.2 Расчет токов короткого замыкания в системах электроснабжения напряжением до 100 В.....	89

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ

Лист

6

2.9 Выбор электрооборудования подстанций и РУ, проверка его на действие ТКЗ	95
2.10 Расчет и выбор питающей сети	107
2.11 Выбор схемы электроснабжения цеха, способа прокладки проводов и кабелей	110
2.12 Расчет и выбор распределительной сети и ее защиты	115
2.13 Расчет и выбор магистральной силовой сети и ее защиты	122
2.14 Расчет релейная защита элементов системы электроснабжения	126
2.15 Расчет заземляющих устройств	129
2.16 Расчет грозозащиты (открытого распреустройства, здания, подстанции).	137
2.17 Расчет электрического освещения цеха	140
2.18 Расчет и выбор элементов схемы управления электроприводом основных механизмов	152
2.19 Описание схемы управления механизмами	160
3 ОХРАНА ТРУДА И ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА	162
Список литературы	167

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания предназначены для обучающихся по специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) для выполнения курсового проекта по МДК 01.03 Электрическое и электромеханическое оборудование и Выпускной квалификационной работы в части организации руководства проектирования и выполнения расчетной части пояснительной записки.

В них предложена ориентировочная структура курсового проекта, которая снабжена расшифровкой отдельных пунктов, дается описание методики решения конкретных производственных ситуаций, представлены пример выполнения расчетов. Методические указания соответствуют написанию и оформлению пояснительной записки и служат образцом выполнения пояснительной записки, так сам материал оформлен как текстовый конструкторский документ по стандарту ЕСКД.

Курсовой проект – первая самостоятельная работа обучающийся. Выпускная квалификационная работа (дипломный проект) – итоговая работа, которая является заключительным этапом обучения и направлена на систематизацию и расширение теоретических знаний обучающихся, развитие аналитического и теоретического мышления, закрепления навыков использования современных технологий и выполнения графических работ.

Курсовое проектирование (КП) является обязательным этапом при изучении ПМ.01 Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования МДК.01.03 Электрическое и электромеханическое оборудование и позволяет систематизировать, расширить и закрепить теоретические знания и практические навыки обучающемуся, а также определить уровень его подготовленности к выполнению Выпускной квалификационной работы по специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		8

отраслям) и функциональных обязанностей в соответствии с полученной специальностью.

При выполнении курсового проекта обучающимися должны быть отражены следующие профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.2. Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.4. Составлять отчётную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

В процессе проектирования решаются задачи:

1) приобретение навыков работы с научно-технической и справочной литературой, нормативными и руководящими документами;

2) углубление и обобщение знаний, полученных обучающимися на лекциях, практических и лабораторных занятиях, при прохождении производственных практик;

3) развитие необходимых профессиональных и общих компетенции обучающихся;

4) развитие навыков самостоятельного творчества обучающихся при решении задач по выбору схем электроснабжения и электрооборудования;

5) приобретение опыта проведения простейших самостоятельных исследований и использование результатов в решении практических вопросов проектирования электрической части.

В процессе работы над проектом обучающийся должен:

1) стремиться к самостоятельности в решении всех вопросов выбора электрооборудования, автоматизации электропривода производственных механизмов, электроснабжения объекта, экономических обоснований и показателей;

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		9

2) показать способность правильного применения теоретических положений и практических методов расчетов;

3) уметь использовать передовые достижения науки и техники, обосновывать экономическую целесообразность их внедрения, четко и логично формулировать свои мысли и предложения.

Тема проекта выдается в соответствии со специальностью, по которой обучался обучающийся, и утверждается приказом по техникуму. Разработки по теме должна быть реальными и применимы к практическому использованию. Целесообразно выполнение проектов, в основе которых лежат элементы научно-исследовательского или научно-технического характера.

К дипломному проектированию допускаются обучающиеся, полностью выполнившие учебный план обучения специальности.

Расчетно-пояснительная записка к проекту должна быть оформлена в соответствии с методическими указаниями по выполнению курсовых и дипломных проектов по специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) и Едиными требованиями к оформлению отчетов по практике, курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ (методические указания).

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Организация руководства курсовым и дипломным проектированием

Обучающимся 4 курса перед прохождением производственной практики по ПМ01 Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования предлагается перечень тем для курсового проектирования. Темы для дипломного проектирования выдаются перед прохождением преддипломной практики.

После выбора места практики и темы проекта обучающийся должен получить консультацию и задание у руководителя проекта относительно содержания, порядка сбора материала, необходимой литературы и т.д. За время практики обучающийся должен собрать полноценный фактический материал по теме проекта.

В основу Выпускной квалификационной работы следует положить конкретный материал предприятия, являющегося базой преддипломной практики, при этом к установке нужно принимать перспективное электрооборудование и средства автоматизации. Дипломник должен изучить все новое, что появляется в теории и практике проектирования, организации производства монтажа, эксплуатации и ремонта электрооборудования и по мере возможности использовать это в своей работе.

Рекомендуется следующий общий порядок выполнения проекта:

- 1) подбор необходимого фактического материала и изучение рекомендуемой литературы по теме с конспектированием отдельных положений, составлением списка использованных первоисточников;
- 2) выполнение расчетно-пояснительной части проекта в последовательности, указанной в задании руководителем проекта;
- 3) оформление расчетно-пояснительной записки и графической части проекта.

Над проектом обучающийся должен работать систематически, самостоятельно, изучая лекции, техническую и справочную литературу. При

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		11

подготовке проекта обучающихся обязан неоднократно проконсультироваться по всем вопросам, представить работу в черновом варианте, а графику в тонких линиях. После внесения соответствующих исправлений проект, по решению руководителя, выполняется в чистовом варианте и представляется на окончательную проверку. Если проект удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, он допускается к защите.

Законченная Выпускная квалификационная работа (дипломный проект) с подписями обучающегося, руководителя, консультанта по экономическому разделу, нормоконтроля и рецензента на титульном листе пояснительной записки и чертежах передается в учебную часть.

1.2 Темы проектов и исходные данные для проектирования

Тематика проектов должна учитывать реальные нужды производства, где проходит практику обучающихся, и соответствовать профилю специальности.

Курсовые и дипломные проекты состоят из трех основных направлений:

1) Электроснабжение (промысла, цеха, куста, предприятия и т.д.) и электрооборудование подстанции.

2) Электрооборудование (цеха, пролета, насосной или компрессорной станции и т. д.).

3) Электропривод и электрооборудование станка (крана, насоса и т.д.).

Возможны темы по модернизации и созданию отдельных лабораторных установок.

Задание на проектирование (дипломное и курсовое) составляется руководителем проекта и содержит название темы, развернутое ее содержание; количество и содержание чертежей.

Тема курсового проекта по сравнению с дипломным проектом охватывает более узкий круг вопросов, обусловленных учебной программой дисциплин.

В качестве примеров приведем некоторые конкретные темы проектов.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		12

1) Электроснабжение участка промысла, (цеха, куста, предприятия) и электрооборудование подстанции

1) Трансформаторная подстанция на напряжение 110/35/6кВ для электроснабжения нефтяного промысла.

Нефтяной промысел состоит из нескольких участков. Крупные участки ДНС-КНС имеют потребители высокого напряжения и свои понизительные подстанции, питающие от шин 6 кВ главной понизительной подстанции (ГПП) и понижающие напряжения до 380/220В. Потребители различны по характеру и величине потребляемой мощности.

За исходные данные принимают: источник питания, величину установленной мощности по участкам, категорию потребителей электроэнергии; план расположения объектов промысла с размещением оборудования; особенности технологического процесса, характер производства отдельных цехов добычи, установок и их производственные площади; характеристики электроприемников по мощности и категории электроснабжения и источника питания.

2) Внутрицеховая подстанция 35/6 кВ для электроснабжения нефтяного промысла.

Предполагается, что подстанция имеет не менее 2-х трансформаторов (потребители I...III категории). При выполнении проекта за исходный материал принимать данные п.1 темы 1.

3) Реконструкция электроснабжения.

Необходимо дать обоснование предполагаемой реконструкции с обязательным использованием современных и новейших типов выпускаемого электрооборудования, а также их технико-экономическое обоснование. Предусмотреть автоматическое управление подстанций, телесигнализацию, при необходимости автоматический ввод резерва (АВР). При выполнении проекта за исходные данные принимать п.1 темы 1.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

4) Электроснабжение крупного административного здания.

Многоэтажное административное здание имеет потребители электроэнергии высокого и низкого напряжения с широко разветвленной электрической сетью. Потребители электроэнергии высокого напряжения - электродвигатели кондиционеров и насосов отопительной системы и водоснабжения, компрессоры, вентиляционные и осветительные установки, пожарные насосы; лифты, сигнализация; компьютерная и оргтехника - подключены к сети 380/220В. В здании или вне его имеются высоковольтное устройство (РУ) и понизительные подстанции преимущественно с автоматическим вводом резерва (АВР).

При выполнении проекта за исходный материал принимать план расположения потребителей электроэнергии на этаже, на котором расположено основное оборудование и аналогичные планы для других этажей, установленную мощность потребителей, этажность здания, категорию потребителей электроэнергии.

2) Электрооборудование цеха (пролета, насосной или компрессорной станции и т. д.)

1) Электрооборудование и электроснабжение цехов.

Проектируют электрооборудование и электроснабжение для цехов различных предприятий. Электрооборудование механических цехов, по ремонту оборудования состоит из электродвигателей станков, грузоподъемных механизмов, сушильных, нагревательных и осветительных установок, калориферного отопления, вспомогательных механизмов и оборудования электроосвещения. В основном оборудование работает на переменном токе напряжением до 1000 В. В цехах устанавливаются распределительные силовые и осветительные щиты, силовые шкафы, аппаратуру защиты и контроля, пускорегулирующие устройства, прокладывают электросети и сеть заземления.

При проектировании электрооборудования цеха за исходный материал принимают: план цеха с указанием габаритов расстояний между колоннами, характеристики окружающей среды; размещение технологического оборудования

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

и его паспортные данные; особенности технологического процесса; характер производства; число смен; требования по освещенности; охране труда и безопасности обслуживания механизмов; характеристику источника электроснабжения цеха - ГПП или ЦРП и ближайшей цеховой подстанции и их местоположение по отношению к цеху; ведомость установленного электрооборудования, содержащую их количество и наименование, установленную мощность (кВт),

2) Электрооборудование и электроснабжение насосной или компрессорной станции.

На насосной (компрессорной) станции используются высоковольтные и низковольтные двигатели. Для их питания сооружают понизительную подстанцию или распределительное устройство (РУ) высокого напряжения совместно с понижающими трансформаторами 6/0,4кВ мощностью 250...630 кВА. Станции также имеют вспомогательное электрооборудование для насосов (компрессоров), грузоподъемных устройств, вентиляционного оборудования и освещения.

Исходными данными для проекта являются: план площадки с указанием на нем подстанции или РУ и электрооборудования; электрических сетей и аппаратуры управления и защиты и контрольно - измерительных приборов; характеристики технологического оборудования.

3) Электрооборудование или электроснабжение производственного корпуса.

Производственный корпус, состоящий из нескольких цехов, расположенных в одном здании на различных этажах. Имеет разнообразное оборудование на напряжения до 1000В. Для обеспечения нормальной работы используют асинхронные электродвигатели, станочное оборудование, нагревательные печи, грузоподъемные устройства, испытательные, сварочные, осветительные и вентиляционные устройства, лифты.

При проектировании за исходный материал взять материал, приведенный в п.1 темы 2.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		15

4) Проектирование электрического освещения.

Несмотря на то, что объем работ по электрическому освещению цехов и предприятий может быть достаточно большим, не выделяют указанное проектное задание в самостоятельную тему. Вопросы освещения входят в состав проекта по электрооборудованию цеха.

При проектировании исходными данными являются: план и разрез цеха с расстановкой оборудования и размещением вспомогательных помещений и вентиляционных труб; характер производства; наличие кранов, перемещающихся вдоль цеха; освещенность; количество работающих; строительный чертеж или пояснения о конструкции ферм перекрытий, колонн и др.

3) Электропривод и электрооборудование производственного механизма или установки

1) Электропривод и электрооборудование крана.

Для дипломного проектирования используют мостовые краны грузоподъемностью 20 т и более. Кинематические схемы кранов могут быть как с одной, так и с двумя различными по грузоподъемности подъемными лебедками (например, 20/5, 50/12,5 и др.). Так же можно использовать и другие краны. Для кранов обязательно применять силовые и магнитные контролеры, имеющие достаточно сложную электрическую схему и позволяющие получать различные режимы работы привода.

При проектировании исходными данными являются: грузоподъемность, скорость и высота подъема груза; длина пути и скорость перемещения грузовой тележки; скорость перемещения крана и длина пролета цеха или подкрановых путей; конструкции и технические данные аналогичных кранов; угол поворота платформы, и вылет стрелы для поворотных кранов; диаметры барабанов подъемных лебедок и колес; кинематические схемы механизмов и общий вид крана с расположением электрооборудования на нем. В зависимости от заданных скоростей подъема груза и перемещения механизмов следует уточнить передаточные числа редукторов и подобрать новые модели электродвигателей с необходимой скоростью вращения.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

2) Электрооборудование и автоматизация компрессорной станции.

При проектировании используют компрессоры для сжатия воздуха газа достаточно большой производительности с применением электродвигателей, мощностью более 100 кВт. Компрессорные установки обязательно должны быть автоматизированы. Двигатель получает управление от станции, с которой увязывается система автоматизации установки и соответствующая сигнализация. Компрессорная станция обычно содержит несколько компрессоров, поочередно находящихся в рабочих и дежурных режимах, для чего предусматривают переключатели режимов и устройства автоматического запуска и остановки компрессоров. Компрессоры большой производительности имеют электродвигатели 6 кВ, поэтому компрессорная станция должна иметь соответствующие пути управления, высоковольтное распределительное устройство, а иногда и собственную подстанцию.

По усмотрению руководителя проекта (при сохранении общего объема работы) может быть сделан уклон на более детальную разработку автоматизации КС или на ее электроснабжение с полным рассмотрением вопросов по электрооборудованию подстанции.

При проектировании исходными материалами являются: производительность компрессора; величина рабочего давления воздуха или газа и давления всасывания; количество и тип компрессоров; технологическая схема установки; план и разрез КС с размещением оборудования.

3) Электрооборудование насосных установок.

Установки имеют нерегулируемый электропривод с асинхронным или синхронным электродвигателями. Поэтому для проектирования следует принимать установки значительной производительности и достаточно автоматизированные. Для управления двигателями надо применять комплектные устройства управления, которые дополняются устройствами автоматизации установки. Поэтому при проектировании электрооборудования насосной установки вопросам электроснабжения следует уделять значительное внимание.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		17

По усмотрению руководителя в проекте можно больше уделить внимание электроприводу и автоматизации установки или электроснабжению.

При проектировании исходными данными являются: производительность и тип установки; величина рабочего давления; диаметр, длина и конфигурация сети трубопровода; план и разрез помещения, в котором установлено оборудование; количество насосов; степень автоматизации установки, план размещения и типы задвижек на трубопроводе.

4) Электрооборудование металлорежущих станков.

Для проектирования используют токарные, токарно-револьверные, карусельные, расточные, фрезерные, строгальные, шлифовальные и агрегатные станки, кузнечнопрессовые машины и автоматические линии. Станки с несложным электрооборудованием входят обычно в состав проекта по электрооборудованию цеха как специальный вопрос темы 2.

При проектировании исходными данными являются: тип станка или машины; основные технические данные; количество и назначение электродвигателей; их примерная мощность и скорость вращения; наличие реверса и торможения; диапазон и плавность регулирования скорости электрическим путем; последовательность операций (циклограммы); необходимые электрические блокировки; диаграмма тяговых усилий для продольно-строгальных станков; максимально допустимые нагрузки на наиболее слабые звенья привода станка; электрические и гидравлические схемы станков соответствующих моделей.

1.3 Содержание курсового и дипломного проекта

Содержание задания может быть следующим в зависимости от темы проектов и вопросов, подлежащих разработке:

По теме 1 - Электроснабжение участка промысла (цеха, куста, предприятия) и электрооборудование подстанции

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		18

- 1) Характеристика потребителей электроэнергии и определение категории электроснабжения.
- 2) Выбор схемы электроснабжения и величины питающих напряжений.
- 3) Расчет электрических нагрузок.
- 4) Компенсация реактивной мощности и определение места установки компенсирующего устройства.
- 5) Выбор типа и числа подстанций, числа и мощности силовых трансформаторов.
- 6) Расчет токов короткого замыкания.
- 7) Выбор электрооборудования подстанций.
- 8) Выбор питающих кабелей.
- 9) Выбор низковольтной (до 1000В) магистральной силовой сети.
- 10) Выбор и расчет релейной защиты.
- 11) Выбор схемы с автоматическим повторным включением (АПВ) подстанции.
- 12) Выбор схемы АВР подстанции.
- 13) Расчет заземлений.
- 14) Расчет грозозащиты (открытого распределительного устройства, здания, подстанции).

По теме 2 - Электрооборудование цеха и т.п.

- 1) Характеристика потребителей электроэнергии и определение категории электроснабжения.
- 2) Выбор величины питающего напряжения.
- 3) Назначение и техническая характеристика производственных механизмов.
- 4) Расчет и выбор электродвигателей основных механизмов.
- 5) Выбор схемы электроснабжения цеха, типа силовых сборок, проводов (кабелей) и способа их прокладки.
- 6) Расчет электрических нагрузок.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		19

7) Компенсация реактивной мощности и определение места установки компенсирующего устройства.

8) Выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховой подстанции.

9) Расчет и выбор распредсети и ее защита с составлением сводной таблицы.

10) Расчет и выбор магистральной силовой сети и ее защита.

11) Расчет токов короткого замыкания, выбор питающего кабеля и оборудования подстанции.

12) Расчет заземления.

13) Выбор элементов схемы управления и электропривода основными механизмами.

14) Описание схемы управления механизмами.

По теме 2.4 - Электрическое освещение (цеха, корпуса, кабинета, территории)

1) Характеристика помещений (объекта), оценка зрительных работ.

2) Выбор освещенности, системы освещения к источников света.

3) Выбор типа осветительных приборов, их размещения и высоты подвеса.

4) Расчет мощности и выбор ламп.

5) Составление сводной таблицы светотехнического расчета.

6) Выбор схемы питания, типа осветительных щитов, проводов и способа их прокладки.

7) Расчет и выбор сечений питающей и распределительной сети, их защита с проверкой на потерю напряжения.

8) Ремонтное и аварийное освещение.

По теме 3 - Электропривод и электрооборудование установок

1) Краткая техническая характеристика и описание основных узлов установки или механизма и технологических особенностей.

2) Описание режимов и циклов работы отдельных механизмов.

3) Анализ недостатков существующей схемы управления.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		20

- 4) Требования к электроприводу и автоматике.
- 5) Выбор рода тока и величины питающих напряжений.
- 6) Выбор системы электропривода, методов регулирования и торможения.
- 7) Внесение изменений в схему управления отдельных механизмов.
- 8) Расчет и проверка мощности электродвигателей и их выбор.
- 9) Расчет рабочих характеристик отдельных электродвигателей.
- 10) Расчет и выбор пусковых, регулировочных и тормозных резисторов.
- 11) Выбор аппаратов защиты и автоматики, плавких вставок и нагревателей тепловых реле.
- 12) Расчет уставок реле и автоматов.
- 13) Выбор элементов схемы управления (дросселей, потенциометров, добавочных сопротивлений).
- 14) Выбор проводов и питающих кабелей.
- 15) Подробное описание запроектированной схемы управления.
- 16) Расчет местного электрического освещения.

Расчетно-пояснительная записка к проекту должна быть написана в той же последовательности, которая предложена в задании и выполнена грамотно, с правильным применением технически терминов, определений и буквенных обозначений физических и математических величин. Расчеты, приводимые в записке, должны быть выполнены в системе единиц СИ. Рассмотрим содержание перечисленных в задании пунктов расчетно-пояснительной записки по теме проекта.

2 РАСЧЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Характеристика потребителей электроэнергии и определение категории надежности

Приемником электроэнергии является электрическая часть технологической установки или механизма, получающая энергию из сети и расходующая ее на выполнение технологических процессов.

Электроприемники промышленных предприятий классифицируются по следующим признакам: напряжению, роду тока, его частоте, единичной мощности, надежности электроснабжения, режиму работы, технологическому назначению, производственным связям, территориальному размещению, (6, С. 14).

По напряжению электроприемники разделяются на две группы: до 1000В и свыше 1000В. По роду тока электроприёмники подразделяются на приёмники переменного тока промышленной частоты (50 Гц), постоянного тока и переменного тока частотой, отличной от 50 Гц (повышенной или пониженной).

Единичные мощности отдельных электроприёмников и потребителей электроэнергии различны – от десяти долей киловатт до нескольких десятков мегаватт.

По режиму работы электроприемники относятся к одному из трех режимов: продолжительному, кратковременному, повторно-кратковременному.

В зависимости от вида преобразования электроэнергии электроприемники подразделяются на электропривод, электротехнологические и электроосветительные установки.

По общности технологического процесса электроприемники можно подразделить на общепромышленные установки (вентиляторы, насосы, компрессоры, воздуходувки), производственные механизмы, подъемно-транспортное оборудование, преобразовательные установки, электросварочное оборудование, электронагревательные установки.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		22

По степени надежности электроснабжения ПУЭ (2, С. 18) предусматривают три основные категории.

Первая категория объединяет такие электроприемники, перерыв электроснабжения которых связан с опасностью для жизни людей, нанесением значительного ущерба народному хозяйству, расстройством сложного технологического процесса, повреждением оборудования, массовым браком продукции.

Перерыв в электроснабжении приемников первой категории допускается только на время автоматического ввода резервного питания.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа (нулевая категория) электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы для жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования.

Вторая категория надежности включает приемники, перерыв в электроснабжении которых может привести к массовому простоя, недоотпуску продукции - технологических механизмов, рабочих, промышленного транспорта. Перерыв в электроснабжении этой категории приемников допускается на время, необходимое для включения резервного питания силами эксплуатационного персонала не более 1 суток.

Третья категория объединяет электроприемники, которые не подходят под указанные выше характеристики. Приемники данной категории допускают перерыв в электроснабжении не более одних суток.

2.2 Выбор схемы электроснабжения и величины питающих напряжений

Выбор того или иного стандартного напряжения определяет построение всей системы электроснабжения промышленного предприятия, (5, С.41). Для получения наиболее экономичного варианта электроснабжения предприятия в целом напряжение каждого звена системы электроснабжения должно выбираться

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		23

прежде всего с учетом напряжений смежных звеньев. Выбор напряжений основывается на сравнении технико-экономических показателей различных вариантов в случаях когда:

- от источника питания можно получать энергию при двух напряжениях или более;
- при проектировании электроснабжения предприятий приходится расширять существующие подстанции и увеличивать мощность заводских электростанций;
- сети заводских электростанций связывать с сетями энергосистем.

Напряжение 35 кВ в основном рекомендуется использовать для распределения энергии на первой ступени средних предприятий при отсутствии значительного числа электродвигателей напряжением выше 1 кВ, а так же для частичного распределения энергии на крупных предприятий, где основное напряжение первой ступени равно 110...220 кВ. В частности, напряжение 35 кВ можно применять для полного или частичного внутризаводского распределения электроэнергии при наличии:

- мощных электроприемников на 35 кВ;
- электроприемников повышенного напряжения, значительно удаленных от источников питания;
- подстанций малой и средней мощности напряжением 35/0,4 кВ, включенных по схеме «глубокого ввода».

Напряжение 6 кВ (5, С. 42) применяются в питающих и распределительных сетях средних предприятий на второй и последующих ступенях распределительных сетей крупных предприятий при применении вводов на первой ступени электроснабжения. Применение напряжения 6 кВ должно обуславливаться наличием электрооборудования на 6 кВ и технико-экономическими показателями при выборе величины напряжения.

Вопросы выбора напряжения рассмотрены в § 3.2 и 3.3 (5, С. 41).

Схема электроснабжения определяется технологическим процессом производства, категорией надежности электроснабжения, взаимным

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		24

расположением трансформаторных подстанций или ввода питания и электроприемников, величин их мощности, расположение и конструктивное исполнение линий.

Для потребителей первой и второй категории предусматриваются двухцепные радиальные схемы (5, С. 14). Эти схемы применяют для питания сосредоточенных нагрузок большой мощности, при неравномерном размещении приемников на отдельных его участках, при исчезновении напряжения на одной из секций часть потребителей, восстанавливается автоматическим включением секционного выключателя. Эта схема удовлетворяет так же следующим условиям:

- сокращается число ступеней трансформации и приближается источник высшего напряжения к потребителю;
- не предусматриваются специальные резервные линии и трансформаторы;
- все элементы схемы в нормальном режиме находятся под нагрузкой и работают раздельно.

Достоинством радиальной схемы заключается в высокой надежности и в удобстве автоматизации. Она проста, безопасна и удобна в эксплуатации, экономична, удовлетворяет характеристике окружающей среды, обеспечивает применение индустриальных методов монтажа.

Выбор схемы электроснабжения дан в § 5.4, 5.5 с. 63...79, (1); § 5.1 с. 315...320, (4).

2.3 Назначение и техническая характеристика производственных механизмов

Известно, что любой производственный механизм, или установка, предназначается для определенных технологических операций. Например, кран - для подъема и перемещения грузов, токарный станок - для обтачивания деталей, пресс – для изготовления деталей давлением, компрессор - для подачи сжатого воздуха и т.д. в зависимости от масштабов производства и количества

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		25

необходимой продукции (деталей, сжатого воздуха и пр.) в цехах устанавливаются определенного типа станки, краны соответствующей грузоподъемности, компрессоры определенной производительности и тому подобное оборудование и механизмы. При этом каждый производственный механизм имеет свои технические данные, по которым он выбирается для определенной работы.

Поэтому в самом начале проектирования необходимо охарактеризовать проектируемый производственный механизм по назначению, производительности, размеру устанавливаемых заготовок, грузоподъемности и пр., т. е. привести все технические данные, которые характеризуют этот механизм и могут быть использованы при расчетах в процессе проектирования. Подробное описание всех узлов и деталей машины приводить не следует, так как это перегрузит проект и вообще не входит в задание на проектирование электрооборудования. Затем следует дать краткое описание технологических операций, выполняемых данной машиной или механизмом, указать их последовательность, распределение по времени и другие специфические особенности работы этой машины по отдельным узлам и механизмам.

Далее приведем характеристики некоторых производственных механизмов.

1) Металлорежущие станки, глава 4 (11, С. 289-370). Станки токарной группы относятся к наиболее распространенным металлорежущим станкам и широко применяются на промышленных предприятиях, в ремонтных мастерских и т. п. В эту группу входят: универсальные токарные и токарно-винторезные, револьверные, токарно-лобовые, карусельные, токарно-копировальные станки, токарные автоматы и полуавтоматы.

Токарный станок, станок для обработки преимущественно тел вращения путём снятия с них стружки при точении. Токарный станок – один из древнейших станков, на основе которого создавались станки сверлильной, расточной и других групп. Токарные станки составляют значительную группу металлорежущих станков, отличаются большим разнообразием. На токарном станке можно выполнять различные виды токарной обработки: обтачивание цилиндрических,

конических, фасонных поверхностей, подрезку торцов, отрезку, растачивание, а также сверление и развёртывание отверстий, нарезание резьбы и накатку рифлений, притирку. Основные узлы токарного станка: основание с корытом для сбора охлаждающей жидкости и стружки, станина направляющими суппорта и задней бабки; неподвижная передняя бабка со шпинделем и коробкой скоростей, которая может располагаться и в др. месте, например в основании; передвижная задняя бабка, закрепляемая на станине в определённом положении; коробка пода соединённая муфтами с ходовым валиком и ходовым винтом; фартук с механизмом передачи движения от ходового валика к рейке или к винту подачи поперечных салазок и с механизмом соединения маточной гайки с ходовым винтом; суппорт, состоящий из каретки движущейся по направляющим станины, поперечных салазок, перемещающихся по направляющим каретки; поворотная часть с направляющими для верхней каретки. Каретка и поперечные салазки перемещаются вручную или автоматически. В токарных станках некоторых моделей верхняя каретка также перемещается автоматически. В механизме фартука предусмотрена блокировка, исключающая одновременное включение подачи от ходового валика и ходового винта и одновременное включение каретки и поперечных салазок. Для быстрого хода суппорта служит дополнительный привод ходового валика от электродвигателя через обгонную муфту.

Заточный станок служит для затачивания металлорежущего инструмента. Различают заточные станки для абразивного и без абразивного затачивания. Преимущественное распространение имеют абразивные заточные станки. К ним относятся простые точила, специальные станки для резцов, свёрл, протяжек, плашек, некоторых зуборезных инструментов, универсальные станки для многолезвийного инструмента (фрез, зенкеров, развёрток, метчиков). Инструмент для абразивного затачивания - шлифовальный круг. Точильные заточные станки могут быть выполнены с одним или двумя шлифовальными кругами. Заточный станок для резцов, как правило, имеют подвижный суппорт, в котором закрепляется затачиваемый резец, или перемещающуюся относительно суппорта шлифовальную бабку; для установки резца под требуемым углом станок снабжен

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		27

шкалой. Заточный станок для свёрл оснащены приспособлениями для получения заданных углов затачивания. Универсальные заточные станки имеют бабки, между центрами которых можно закреплять различный затачиваемый инструмент. Стол универсального заточного станка совершает возвратно-поступательное движение относительно вращающегося шлифовального круга. Заточный станок для без абразивного затачивания могут быть анодно-механическими электроискровыми и ультразвуковыми.

Фрезерные станки предназначены для обработки наружных и внутренних плоских и фасонных поверхностей, прорезки прямых и винтовых канавок, нарезки резьб наружных и внутренних, зубчатых колес и т. п. Характерная особенность фрезерных станков - работа вращающимися многолезвийными режущими инструментами - фрезами. Главным движением v_z является вращение фрезы, движением подачи $v_{п}$ - перемещение изделия.

Фрезерные станки делятся на две основные группы: 1) станки общего назначения, к которым относятся горизонтальные, вертикальные и продольно-фрезерные станки; 2) специализированные станки - зубофрезерные, копировально-фрезерные и др.

2) Калорифер, прибор для нагревания воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции и в сушилках, (7, С.185). Калориферы бывают пластинчатые, из гладких труб, спирально-ребристые, лепестковые и др. Широко распространены радиаторы - пластинчатые калориферы, в которых теплоноситель (водяной пар или горячая вода) протекает по трубкам с пластинками снаружи, нагревающими проходящий между ними воздух. Применяют также электрические и огневоздушные калориферы.

3) Вентиляторы вытяжек, (11, С. 174). Вентиляторы - основа любой системы искусственной вентиляции. Вентиляторы подбирается с учетом двух основных параметров: производительности и полном давлении.

На промышленных предприятиях часто используется вытяжная и приточная вытяжная вентиляция, при которой из помещения не только удаляется воздух, но и подается приточный, прошедший предварительную обработку (очистка,

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		28

увлажнение и нагревание). Главная задача этой системы – удаление вредных веществ, образованных вследствие производственной деятельности.

При всем многообразии систем вентиляции, обусловленном назначением помещений, характером технологического процесса, видом вредных выделений и

т. п., их можно классифицировать по следующим характерным признакам:

- по способу создания давления для перемещения воздуха: с естественным и искусственным (механическим) побуждением.
- по назначению: приточные и вытяжные.
- по зоне обслуживания: местные и общеобменные.
- по конструктивному исполнению: канальные и моноблочные.

Чаще всего в мастерских применяется приточное вентиляционное оборудование. Оно способно создать комфортные условия для работы. А при помощи теплообменников и воздухоохладителей гарантирует подходящий микроклимат, с оптимальной температурой и влажностью.

Приточная вентиляция работает по следующему принципу: воздухообмен и замещение отработанного воздуха происходит за счет прибытия свежего. Строго она применяется для подачи чистого воздуха в воздуховоды с его последующим распределением. Встроенные вентиляционные калориферы, водяные калориферы, теплообменники и встроенные воздухоохладители позволяют фильтровать, подогревать, охлаждать и увлажнять поступающий воздух.

Вытяжная вентиляция требует монтажа отдельных вытяжных вентиляторов. Она применяется в «грязных» помещениях: цехах, промышленных объектах.

4) Грузоподъемные механизмы, глава 3, (11, С.210-265) . Кранами называются грузоподъемные устройства, служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов на небольшие расстояния. По особенностям конструкции, связанным с назначением и условиями работы, краны разделяются на мостовые, порталные, козловые, башенные и др. В цехах предприятий электромашиностроения наибольшее распространение получили мостовые краны, с помощью которых производятся подъем и опускание тяжелых заготовок, деталей и узлов машин, а также их перемещение вдоль и поперек цеха. Вид

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		29

мостового крана в основном определяется спецификой цеха и его технологией, однако многие узлы кранового оборудования, например механизмы подъема и передвижения, выполняются однотипными для различных разновидностей кранов.

У всех типов кранов основными механизмами для перемещения грузов являются подъемные лебедки и механизмы передвижения. Это позволяет выделить ряд общих вопросов электропривода кранов: расчет статических нагрузок, выбор двигателей по мощности, анализ режимов работы, выбор системы электропривода и другие.

Для подъема и перемещения грузов в цехах промышленных предприятий, на заводских территориях и складах широко применяются подвесные электротележки грузоподъемностью от 0,1 до 5 т. Они меньше мостовых кранов, что сокращает размеры промышленных зданий, а их обслуживание не требует квалифицированного персонала. В подвесных электротележках в качестве грузоподъемного механизма применяется электроталь, состоящая из грузового канатного барабана, приводимое во вращение двигателем через редуктор. С главным валом привода подъема связаны диски электромагнитного тормоза. Электроталь смонтирована на ходовой тележке, колеса которой опираются на нижние полки двутавровой палки – монорельса и приводятся в движение от двигателя через цилиндрический редуктор (небольшие электротележки не имеют этого двигателя и перемещаются вручную).

Движение крюка вверх ограничивается конечным выключателем. Перемещение тележки по монорельсу также ограничивается конечными выключателями. Ток к двигателям подводится от контактных проводов (троллеев), подвешенных на уровне монорельса, при помощи токосъемников, укрепленных на кронштейне ходовой тележки.

Подвесными электротележками оснащаются и кран-балки – легкие мостовые краны грузоподъемностью не более 5 т. Мост кран-балки, имеющий механизм перемещения с электроприводом, выполнен в виде одной балки, по которой движется ходовая электротележка.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

Для привода подвесных электротележек, как правило, применяются трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и лишь при большой грузоподъемности и необходимости регулирования скорости для плавной «посадки» грузов – асинхронные двигатели с фазным ротором. Электротележками с небольшой скоростью перемещения (0,2...0,5 м/с), имеющими привод от двигателей с короткозамкнутым ротором, обычно управляют с уровня пола (земли) при помощи подвесных кнопочных станций. В подвесных тележках и кранбалках с кабиной для оператора (при скорости движения 0,8...1,5 м/с) двигателями с фазным ротором управляют посредством контроллеров.

Режим работы двигателей подвесных электротележек зависит от их назначения. Если грузы перемещают на небольшие расстояния, то двигатели работают в повторно-кратковременном режиме (например, у тележек, обслуживающих участки цехов или складов). Для тележек, транспортирующих грузы на территории завода на относительно большие размеры, режимы работы двигателей подъема и перемещения различны: для первых характерен кратковременный режим, для вторых – длительный. Мощность двигателей подъема и перемещения подвесных тележек определяется так же, как для двигателей механизмов мостового крана.

5) Насосы. Наиболее распространенными во всех отраслях техники, в том же числе и в системах водоснабжения, являются центробежные насосы.

Устройство центробежного насоса, (11, С. 196). Внутри корпуса насоса, имеющего спиральную форму, на валу жестко закреплено рабочее колесо. Рабочее колесо состоит из заднего и переднего дисков, между которыми установлены лопасти, отогнутые от радиального направления в сторону, противоположную направлению вращения рабочего колеса. С помощью патрубков и корпус насоса соединен со всасывающим и напорным трубопроводами.

Если при наполненных жидкостью корпусе и всасывающем трубопроводе привести во вращение рабочее колесо, то жидкость, находящаяся в каналах

рабочего колеса (между его лопастями), под действием центробежной силы будет отбрасываться от центра колеса к периферии. В результате этого в центральной части колеса создается разрежение, а на периферии - повышенное давление. Под действием этого давления жидкость из насоса поступает в напорный трубопровод, а через всасывающий трубопровод под действием разрежения жидкость одновременно поступает в насос.

Центробежные насосы могут быть не только одноступенчатые (с одним рабочим колесом), но и многоступенчатыми (с несколькими рабочими колесами). При этом принцип их действия во всех случаях остается одним и тем же – жидкость перемещается под действием центробежной силы, развиваемой вращающимся рабочим колесом.

Некоторое распространение получили диагональные насосы, конструкция которых совмещает в себе признаки центробежных и осевых насосов. В отличие от центробежных насосов в диагональных насосах поток выходит из колеса под углом 90°, а около 45°. Как и осевые, диагональные насосы, как правило, выпускают с вертикальным исполнением.

б) Погружные насосы, (6, С. 22-25) . Для работы в сильно обводненных скважинах с содержанием в жидкости повышенных количеств песка были разработаны и внедрены в эксплуатацию специальные износостойчивые насосы УЭЦН с некоторыми конструктивными изменениями (применены резина, пластмасса, хромистые стали), что повысило стойкость насоса против износа и коррозии.

Для привода центробежных погружных насосов изготавливаются специальные погружные электродвигатели типа ПЭД, которые должны удовлетворять требованиям работы в скважине.

Установки погружных центробежных насосов предназначены для откачки из нефтяных скважин, в том числе и наклонных пластовой жидкости, содержащей нефть, воду и газ, и механические примеси. В зависимости от количества различных компонентов, содержащихся в откачиваемой жидкости, насосы

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		32

установок имеют исполнение обычное и повышенной коррозионно износостойкости.

В зависимости от диаметра эксплуатационной колонны, максимального поперечного габарита погружного агрегата, применяют ЭЦН различных групп – 5,5а, 6. Установка группы 5 с поперечным диаметром не менее 121,7 мм.

Установки группы 5а с поперечным габаритом 124 мм – в скважинах внутренним диаметром не менее 148,3 мм. Насосы также подразделяют на три условные группы – 5, 5 а, 6. Диаметры корпусов группы 5 – 92 мм, группы 5 а – 103 мм, группы 6 – 114 мм.

Установка УЭЦН состоит из погружного насосного агрегата (электродвигателя с гидрозащитой и насоса), кабельной линии (круглого плоского кабеля с муфтой кабельного ввода), колонны НКТ, оборудования устья скважины и наземного электрооборудования: трансформатора и станции управления (комплектного устройства). Трансформаторная подстанция преобразует напряжение промышленной сети до оптимальной величины на зажимах электродвигателя с учетом потерь напряжения в кабеле. Станция управления обеспечивает управление работой насосных агрегатов и его защиту при оптимальных режимах.

Погружной насосный агрегат, состоящий из насоса и электродвигателя с гидрозащитой и компенсатора, опускается в скважину по НКТ. Кабельная линия обеспечивает подвод электроэнергии к электродвигателю. Кабель крепится к НКТ, металлическими колесами. На длине насоса и протектора кабель плоский, прикреплен к ним металлическими колесами и защищен от повреждений кожухами и хомутами. Над секциями насоса устанавливаются обратный и сливной клапаны. Насос откачивает жидкость из скважины и подает ее на поверхность по колонне НКТ.

Оборудование устья скважины обеспечивает подвеску на фланце обсадной колонны НКТ с электронасосом и кабелем, герметизацию труб и кабеля, а также отвод добываемой жидкости в выходной трубопровод. Насос погружной, центробежный, секционный, многоступенчатый не отличается по принципу

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		33

действия от обычных центробежных насосов. Отличие его в том, что он секционный, многоступенчатый, с малым диаметром рабочих ступеней – рабочих колес и направляющих аппаратов. Выпускаемые для нефтяной промышленности погружные насосы содержат от 1300 до 415 ступеней.

Секции насоса, связанные фланцевыми соединениями, представляют собой металлический корпус. Изготовленный из стальной трубы длиной 5500 мм. Длина насоса определяется числом рабочих ступеней, число которых, в свою очередь, определяется основными параметрами насоса. – подачей и напором. Подача и напор ступеней зависят от поперечного сечения и конструкции проточной части (лопаток), а также от частоты вращения. В корпусе секций насоса вставляется пакет ступеней представляющих собой собрание на валу рабочих колес и направляющих аппаратов.

Рабочие колеса устанавливаются на валу на призматической шпонке по ходовой посадке и могут перемещаться в осевом направлении. Направляющие аппараты закреплены от поворота в корпусе ниппеля, расположенным в верхней части насоса. Снизу в корпус ввинчивают основание насоса с приемными отверстиями и фильтром, через которые жидкость из скважины поступает к первой ступени насоса. Верхний конец вала насоса вращается в подшипниках сальника и заканчивается специальной пяткой, воспринимающей нагрузку на вал и его вес через пружинное кольцо. Радиальные усилия в насосе воспринимаются подшипниками скольжения, устанавливаемыми в основании ниппеля и на валу насоса.

В верхней части насоса находится ловильная головка, в которой устанавливается обратный клапан и к которой крепится НКГ.

Электродвигатель погружной, трехфазовый, асинхронный, маслозаполненный с короткозамкнутым ротором в обычном исполнении и коррозионностойком исполнении ПЭДУ.

Гидрозащита ПЭД состоит из протектора и компенсатора. Она предназначена для предохранения внутренней полости электродвигателя от

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

попадания пластовой жидкости, а также компенсации температурных изменений объемов масла и его расхода.

Протектор двухкамерный, с резиновой диафрагмой и торцевыми уплотнениями вала, компенсатор с резиновой диафрагмой.

Кабель трехжильный с полиэтиленовой изоляцией, бронированный. Кабельная линия, т.е. кабель, намотанный на барабан, к основанию которого присоединен удлинитель – плоский кабель с муфтой кабельного ввода. Каждая жила кабеля имеет слой изоляции и оболочку, подушки из прорезиненной ткани и брони. Три изолированные жилы плоского кабеля уложены параллельно в ряд, а круглого скручены по винтовой линии. Кабель в сборе имеет унифицированную муфту кабельного ввода К 38, К 46 круглого типа. В металлическом корпусе муфты герметично заделаны с помощью резинового уплотнения, к токопроводящим жилам прикреплены наконечники.

7) Насосные установки (6, С.31-33) широко применяются на промышленных предприятиях для перекачивания (транспортировки) жидких сред – вязких жидкостей, а также технологической и охлаждающей воды.

Насосы ЦНС (рабочая температура до 45°C) и ЦНСГ (рабочая температура от 45°C до 105°C) предназначены для перекачивания воды, имеющей водородный показатель рН 7...8,5, с массовой долей механических примесей не более 0,1% (0,2% - для насосов с производительностью 105, 180, 300 м³/ч), размером твердых частиц не более 0,1 мм (0,2 мм – для насосов с производительностью 180, 300 м³/ч), микротвердостью не более 1,47 ГПа.

Насосы ЦНСМ предназначены для работы в масляной системе турбогенераторов для подачи масла в уплотняющие подшипники на период пуска, остановки и работы турбогенератора. Рабочая жидкость – масло турбинное Т22 ГОСТ 32-74, диапазон рабочих температур от 2°C до 60°C, вязкость кинематическая 20...23 сСт при температуре масла 50°C, плотность равна 0,9 г/см³ при температуре масла 20°C.

Насосы ЦНСн предназначены для перекачивания обводненной (до 90%) газо-насыщенной и товарной нефти с температурой до 45°C, с плотностью 10...4

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		35

м²/с, имеющей $\times 700 \dots 1050$ кг/м³, кинематической вязкостью не более 1,5 водородный показатель рН 7...8,5, давлением насыщенных паров не более 665 гПа, содержанием газа (объемное) не более 3%, парафина не более 20%, с содержанием механических примесей с размером твердых частиц до 0,2 мм и микротвердостью 1,47 ГПа – не более 0,2% в системах внутрипромыслового сбора, подготовки и транспорта нефти.

Насос ЦНСАн - горизонтальный электронасосный агрегат с центробежным многоступенчатым секционным насосом предназначен для перекачивания обводненной (до 90%) газонасыщенной и товарной нефти с температурой от 0 до 45 гр. С в системах внутрипромыслового сбора, подготовки и транспортировки нефти с плотностью 700...1050 кг/куб.м, кинематической вязкостью не более $1,5 \times 10^{-4}$ в минус 4-ой степени м.квдр./сек, с рН = 7...8,5, содержанием газа не более 3%, парафина не более 20%, с содержанием механических примесей не более 0,2%, с размером частиц до 0,2 мм.

2.4 Расчет мощности и выбор электродвигателей основных механизмов

Основным требованием, предъявляемым рабочими механизмами к приводным двигателям, является обеспечение заданной производительности механизма при надлежащей надежности и экономичности работы. Это требование может быть удовлетворено лишь при условии выбора двигателя соответствующей мощности. Для этого надо рассчитать нагрузки привода не только при установившейся работе, но и в периоды переходных режимов. С этой целью рассчитываются и строятся нагрузочные диаграммы, на основании которых производится расчет двигателя на нагрев и дается заключение о его пригодности в данном приводе.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		36

2.4.1 Расчёт мощности и выбор электродвигателей главного привода металлорежущего станка

Прежде чем приступить к расчету и выбору мощности электродвигателей главного привода металлорежущих станков, необходимо изучить главу 4 «Расчет и выбор ЭП металлорежущих станков», (8, С. 150... 178).

1) Расчёт мощности двигателя, работающего в длительном режиме с постоянной нагрузкой.

1.1) Мощность резания определяется по формуле (8, С. 150):

$$P_z = \frac{F_z v \cdot 10^{-3}}{60}, \text{кВт} \quad (2.1)$$

где F_z – усилие резания, Н;

$v/60$ – скорость резания, м/с;

1.2) КПД стенка определяется как произведение КПД отдельных звеньев кинематической цепи при работе на данной скорости по формуле (8, С. 150):

$$\eta_{ст} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (2.2)$$

1.3) Мощность на валу двигателя главного привода в установившемся режиме с учётом потерь в передачах определяется по формуле (8, С. 150):

$$P_o = \frac{P_z}{\eta_{ст}}, \text{кВт} \quad (2.3)$$

1.4) Выбор мощности двигателя производится по условию:

$$P_n > P_d \quad (2.4)$$

при заданной скорости n_c , об/мин.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		37

Технические данные двигателей серии 4А приведены в справочнике (10).

1.5) По данным расчётов строится нагрузочная диаграмма.

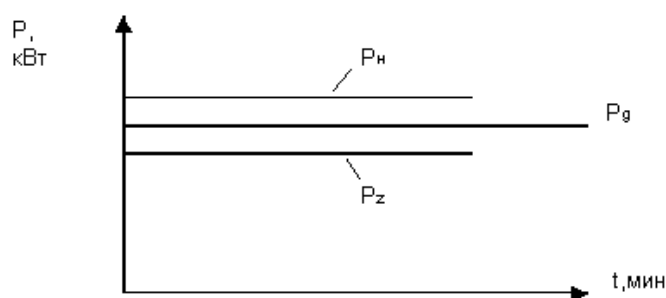


Рисунок 2.4.1 - Нагрузочная диаграмма

Проверка двигателя на перегрузочную способность в этом режиме не требуется, так как в течение всего времени работы $P_n > P_d$.

Проверка на нагрев также не требуется, так как нагрузка на валу двигателя не меняется и температура двигателя достигает установившегося значения.

Пример 1.

Скорость резания $v = 130$ м/мин; сила резания $F_z = 2700$ Н; КПД на каждом переходе $\eta_1 = 0,8$; $\eta_2 = 0,82$; $\eta_3 = 0,85$; $n_c = 3000$ об/мин

Выбрать двигатель главного привода станка, работающего в длительном режиме с постоянной нагрузкой. Построить нагрузочную диаграмму.

Решение

1) Определяем мощность резания по формуле (2.1):

$$P_z = F_z \cdot v \cdot 10^{-3}/60$$

$$P_z = 2700 \cdot 130 \cdot 10^{-3}/60 = 5,86 \text{ кВт}$$

2) Определяем КПД станка как произведение КПД отдельных звеньев кинематической цепи при работе на данной скорости по (2.2):

$$\eta_{ст} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

$$\eta_{\text{ст}} = 0,8 \cdot 0,82 \cdot 0,85 = 0,56$$

3) Определяем мощность на валу двигателя главного привода в установившемся режиме с учётом потерь в передачах по формуле (2.3):

$$P_{\text{д}} = P_z / \eta_{\text{ст}}$$

$$P_{\text{д}} = 5,86 / 0,56 = 10,5 \text{ кВт}$$

4) Производим выбор мощности двигателя по условию (2.4):

$$P_{\text{н}} = 11 \text{ кВт} > P_{\text{д}} = 10,5 \text{ кВт}$$

Условие выполняется. Принимаем двигатель 4A132M2У3, $P_{\text{н}} = 11 \text{ кВт}$, $n_{\text{н}} = 2900 \text{ об/мин}$ при заданной скорости $n_{\text{с}} = 3000 \text{ об/мин}$.

5) По данным расчётов строится нагрузочная диаграмма (рис. 2.3).

2) Расчёт мощности двигателя, работающего в длительном режиме с переменной нагрузкой.

2.1) Определяется мощность резания на каждом переходе по формуле (8, С. 150):

$$P_{zi} = \frac{F_z v \cdot 10^{-3}}{60}, \text{ кВт} \quad (2.5)$$

2.2) Определяется расчётная мощность на валу двигателя на каждом переходе по формуле (8, С. 150):

$$P_{oi} = \frac{P_{zi}}{\eta_i}, \text{ кВт} \quad (2.6)$$

где η_i - КПД станка на i – том переходе.

Для определения КПД на каждом переходе условно принимают максимальную мощность резания $P_{zi.max}$ за номинальную мощность P_n при номинальном КПД станка η_n (значение η_n принимается из исходных данных).

Затем рассчитывают коэффициенты загрузки на каждом переходе:

$$K_{zi} = \frac{P_{zi}}{P_n} \quad (2.7)$$

и определяют коэффициенты постоянных (a) и переменных (b) потерь по формуле (8, с. 152):

$$a + b = \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \quad (2.8)$$

Для практических расчётов можно принять, что:

$$a = 0,6 \cdot (a + b) \quad (2.9)$$

$$b = 0,4 \cdot (a + b) \quad (2.10)$$

Тогда КПД станка на каждом переходе определится по выражению:

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \frac{a}{K_{zi}} + b} \quad (2.11)$$

Далее определяются расчетная мощность на валу двигателя на каждом переходе по формуле (2.6).

2.3) Мощность на валу двигателя в периоды пауз определяется из выражения (8, С. 154):

$$P_0 = a \cdot P_{zi \max}, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

где a – коэффициент постоянных потерь,

$P_{zi \max}$ – максимальная мощность резания, определённые в п. 2.2;

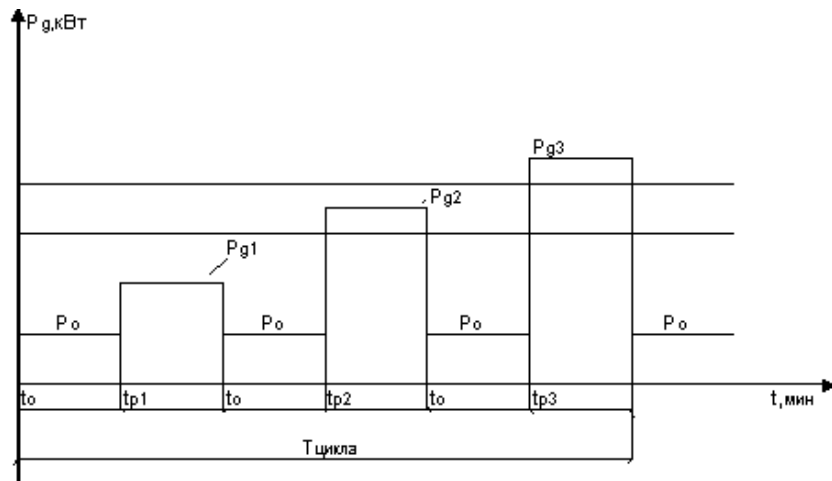


Рисунок 2.4.2 - Нагрузочная диаграмма

2.4) По результатам расчётов строится нагрузочная диаграмма (см. рисунок 2.4.2)

2.5) По построенной диаграмме определяется эквивалентная мощность двигателя за цикл работы:

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_{\text{д}1}^2 t_{\text{p}1} + P_{\text{д}2}^2 t_{\text{p}2} + P_{\text{д}3}^2 t_{\text{p}3} + P_{\text{д}0}^2 \sum t_0}{T_{\text{ц}}}}, \text{ кВт} \quad (2.13)$$

2.6) Выбор мощности двигателя по условию нагрева производится так:

$$P_{\text{н}} > P_{\text{экв}} \quad (2.14)$$

Технические данные двигателя принимаются по справочнику (10).

2.7) Проверка двигателя на перегрузочную способность необходима в том случае, если его номинальная мощность меньше расчётной мощности $P_{\text{д},i}$ хотя бы на одном из переходов.

Проверка состоит в сравнении максимального статического момента двигателя ($M_{\text{ст.макс}}$), определённого по мощности $P_{\text{д},i,\text{макс}}$ наиболее загруженного перехода, с максимальным допустимым моментом для данного двигателя ($M_{\text{макс}}$) с учётом возможного снижения напряжения в сети на 10%.

При условии

$$M_{\text{макс}} > M_{\text{ст.макс}} \quad (2.15)$$

Выбранный двигатель устойчив к перегрузке.

Определение $M_{\text{макс}}$ и $M_{\text{ст.макс}}$ производится по формулам:

$$M_{\text{макс}} = M_{\text{н}} \cdot \lambda' \quad (2.16)$$

где

$$M_{\text{н}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{н}}}{n_{\text{н}}}, \text{H} \cdot \text{м} \quad (2.17)$$

$$\lambda' = 0,81 \lambda \quad (2.18)$$

$$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{н}}} \quad (2.19)$$

Значения $P_{\text{н}}$, $n_{\text{н}}$, $\lambda = M_{\text{макс}}/M_{\text{н}}$ берутся из каталога на электродвигатель.

0,81 – коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения в сети на 10%.

$$M_{\text{ст.макс}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{дл.макс}}}{n_{\text{н}}}, \text{H} \cdot \text{м} \quad (2.20)$$

Если условие (2.15) не выполняется, то необходимо принять двигатель с ближайшей большей мощностью к $P_{\text{н}}$ и вновь выполнить проверку двигателя на перегрузочную способность.

Пример 2.

Выбрать двигатель главного привода станка, работающего в длительном режиме с переменной нагрузкой. Скорость резания на переходах - $v_1 = 200$ м/мин; $v_2 = 220$ м/мин; $v_3 = 250$ м/мин. Усилия резания на переходах: $F_{z1} = 2500$ Н; $F_{z2} = 3000$ Н; $F_{z3} = 3500$ Н. КПД станка при полной нагрузке $\eta_n = 0,87$. Время резания на переходах: $t_0 = 1,2$ мин; время паузы $t_p = 1,5$ мин. Синхронная скорость двигателя - $n_c = 750$ об/мин. Проверить двигатель на перегрузочную способность.

Решение

1) Определяем мощность резания на каждом переходе по формуле (2.5):

$$P_{z1} = \frac{2500 \cdot 200 \cdot 10^{-3}}{60} = 8,3 \text{ кВт}$$

$$P_{z2} = \frac{3000 \cdot 200 \cdot 10^{-3}}{60} = 10 \text{ кВт}$$

$$P_{z3} = \frac{3500 \cdot 200 \cdot 10^{-3}}{60} = 11,7 \text{ кВт}$$

Для определения КПД на каждом переходе условно принимаем максимальную мощность резания $P_{zi.max}$ за номинальную мощность P_n при номинальном КПД станка η_n (значение η_n принимаем из исходных данных).

2) Рассчитываем коэффициенты загрузки на каждом переходе по формуле (2.7):

$$K_{z1} = 8,3/11,7 = 0,71$$

$$K_{z2} = 10/11,7 = 0,85$$

$$K_{z3} = 11,7/11,7 = 1$$

3) Определяем коэффициенты постоянных (a) и переменных (b) потерь по (2.8):

$$a + b = (1 - 0,87)/0,87 = 0,15$$

4) Для практических расчётов можно принять согласно (2.9) и (2.10):

$$a = 0,6 \cdot 0,15 = 0,09$$

$$b = 0,4 \cdot 0,15 = 0,06$$

5) Тогда КПД станка на каждом переходе определится по выражению (2.11):

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \frac{0,09}{0,57} + 0,06} = 0,83$$

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \frac{0,09}{0,75} + 0,06} = 0,85$$

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \frac{0,09}{1} + 0,06} = 0,87$$

6) Определяем расчётная мощность на валу двигателя на каждом переходе по формуле (2.6):

$$P_{д1} = 8,3 / 0,83 = 10 \text{ кВт}$$

$$P_{д2} = 11 / 0,85 = 12,9 \text{ кВт}$$

$$P_{д3} = 14,6 / 0,87 = 16,8 \text{ кВт}$$

7) Определяем мощность на валу двигателя в периоды пауз по формуле (2.12):

$$P_o = 0,09 \cdot 14,6 = 1,5 \text{ кВт}$$

8) Определяем эквивалентную мощность двигателя за цикл работы по формуле (2.13):

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{10^2 \cdot 1,5 + 12,9^2 \cdot 1,5 + 16,8^2 \cdot 1,5 + 1,5^2 \cdot 3,6_0}{8,1}} = 10,4 \text{ кВт}$$

9) Выбор мощности двигателя по условию нагрева производим по условию (2.14):

$$P_{\text{н}} = 10,5 \text{ кВт} > P_{\text{экв}} = 10,1 \text{ кВт}$$

Принимаем двигатель марки 4АНК180М8У3. Технические данные двигателя: $P_{\text{н}} = 10,5 \text{ кВт}$, $n_{\text{ном}} = 1460 \text{ об/мин}$, $M_{\text{макс}} / M_{\text{ном}} = 3,0$.

10) Проверка двигателя на перегрузочную способность произведем по условию (2.15): определим $M_{\text{макс}}$ и $M_{\text{ст.макс}}$

$$M_{\text{ном}} = 9550 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9550 \frac{10,5}{1460} = 69,2 \text{ Нм}$$

$$\lambda' = 0,81 \lambda = 0,81 \cdot 3,0 = 2,4$$

$$M_{\text{макс}} = M_{\text{н}} \cdot \lambda' = 69,2 \cdot 2,4 = 168,2 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{ном}} = 9550 \frac{P_{\text{д.макс}}}{n_{\text{ном}}} = 9550 \cdot \frac{16,8}{1460} = 110,65 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{макс}} = 168,2 \text{ Нм} > M_{\text{ст.макс}} = 110,65 \text{ Нм}$$

Двигатель выбран верно.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		45

2.4.2 Расчет мощностей и выбор электродвигателей механизма подъема и механизма передвижения мостового крана

Электродвигатели кранов работают в тяжелых условиях (ударная нагрузка, значительные перегрузки, повторно-кратковременный режим работы с частыми пусками и реверсами и т.д.), поэтому к ним предъявляются особые требования в отношении надежности и удобства эксплуатации.

Для привода механизмов кранов выпускаются специальные крановые двигатели повторно-кратковременного режима работы, отличающиеся от двигателей общего применения повышенной прочностью конструкции, увеличенной перегрузочной способностью, более нагревостойкой изоляцией и меньшим моментом инерции ротора за счет уменьшения его диаметра и увеличения длины. Основное конструктивное исполнение кранов двигателей - закрытое, с горизонтальным валом на лапах.

Для выполнения данного расчета необходимо знать главу 3 (8, С. 60-91), §4.2 (7, С. 62-65).

1) Расчёт мощности двигателя механизма подъема мостового крана.

1.1) Определяется время подъема груза по формуле (время работы) по формуле (8, С. 86):

$$t_p = \frac{0,75 \cdot H}{v_n}, \text{ мин} \quad (2. 21)$$

где H - высота подъема, м;

v_n - скорость подъема;

0,75 - коэффициент, учитывающий среднюю высоту подъема.

Время подъёма крюка, спуска крюка и спуска груза принимаем равным времени подъема груза t_p (изменение скорости на этих операциях не учитываем, так как двигатель ещё не выбран).

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		46

1.2) Определяется продолжительность включения двигателя подъема. Цикл работы механизма подъема состоит из четырех операций: подъем и спуск груза; подъем и спуск пустого крюка. Эти операции разделяются паузами, во время которых работают механизмы передвижения моста и тележки (см. рисунок 2.43) (8, С. 83).

$$ПВ_{расч} = \frac{4t_p}{4t_p + 4t_0} \cdot 100\% \quad (2.22)$$

где t_p - время работы двигателя, мин;

t_0 - время одной паузы, мин;

К значению $ПВ_{расч}, \%$, подбирается ближайшее стандартное значение продолжительности включения $ПВ_{ном}, \%$ из следующего ряда: 15, 25, 40, 60, 100%.

1.3) Определяются статические нагрузки двигателя механизма подъема в следующих режимах:

а) при подъеме номинального груза по формуле (8, С. 84):

$$P_{н.н} = \frac{(G_n + G_0) \cdot v_n \cdot 10^{-3}}{60 \cdot \eta_n}, \text{кВт} \quad (2.23)$$

где $v_n / 60$ - скорость подъема в м/с;

G_n - номинальная грузоподъемность, кг;

G_0 - вес крюка, кг;

η_n - номинальный КПД механизма;

б) при подъеме пустого крюка по формуле с. 84, (7):

$$P_{н.0} = \frac{G_0 \cdot v_n \cdot 10^{-3}}{60 \cdot \eta_0}, \text{кВт} \quad (2.24)$$

где η_0 - КПД механизма подъема при неполной загрузке, определяется по рисунку

(2.6) в зависимости от коэффициента загрузки, равного $G_0 / (G_n + G_0)$ и номинального КПД механизма подъема η_n ;

в) при тормозном спуске номинального груза по формуле (8, С. 84):

$$P_{c.n} = \frac{(G_n + G_0) \cdot v_n \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_n}\right) \cdot 10^{-3}}{60}, \text{ кВт} \quad (2.25)$$

Тормозной спуск применяется при опускании средних и тяжелых грузов. Двигатель создает тормозной момент, предотвращающий свободное падение груза;

г) при силовом спуске пустого крюка по формуле (8, С. 84):

$$P_{c.0} = \frac{G_0 \cdot v_n \cdot \left(\frac{1}{\eta_0} - 2\right) \cdot 10^{-3}}{60}, \text{ кВт} \quad (2.26)$$

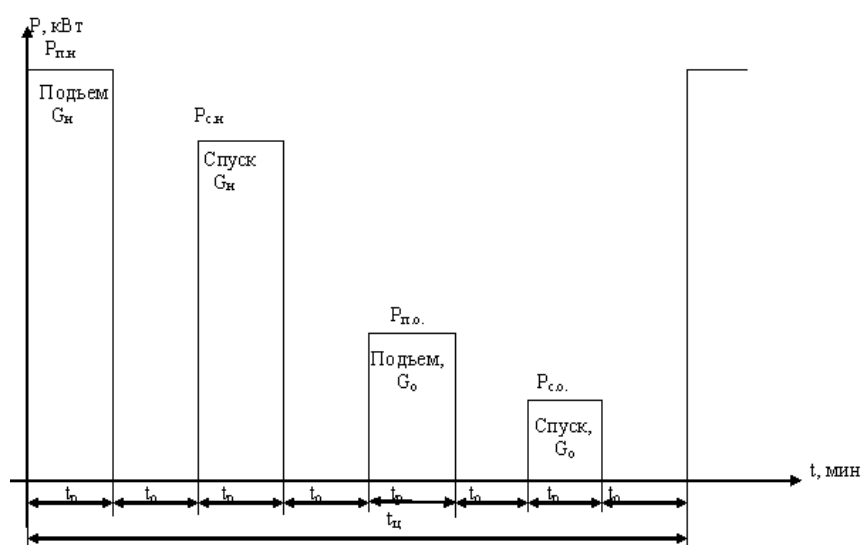


Рисунок 2.4.3 - Расчетная нагрузочная диаграмма механизма подъема

Силовой спуск имеет место при опускании пустого крана или легких грузов, сила тяжести которых не способна преодолеть силы трения в механизме. В этом случае опускание груза производится двигателем, который создает движущий момент.

1.4) По значениям $P_{н.н}$, $P_{н.о}$, $P_{с.н}$, $P_{с.о}$, t_p и t_0 строится нагрузочная диаграмма (см. рисунок 2.5), по которой рассчитывается эквивалентная мощность $P_{экр}$ за суммарное время рабочих операций, приведенная к $ПВ_{ном}$ % по формуле (8, С. 83):

$$P_{экр} = \sqrt{\frac{P_{н.н}^2 t_p + P_{н.о}^2 t_p + P_{с.н}^2 t_p + P_{с.о}^2 t_p}{4t_p}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{расч}}{ПВ_{ном}}}, кВт \quad (2.27)$$

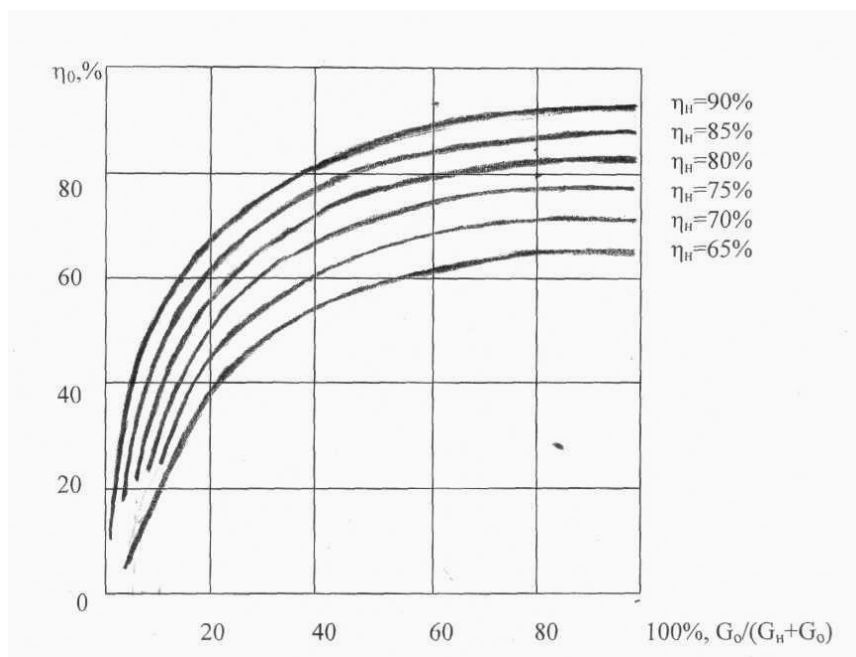


Рисунок 2.4.4 - Кривые зависимости КПД крановых механизмов от нагрузки

Выбор двигателя производится по условию (8, С. 86):

$$P_n > K_3 P_{экр} \quad (2.28)$$

При заданном значении n_c и принятом в п. 2 значении $ПВ_{ном}$ %.

где $K_3 = 1,1 \dots 1,4$ - коэффициент запаса, учитывающий дополнительную загрузку двигателя в периоды пуска и электрического торможения.

Технические данные двигателей серии МТФ, 4МТ, 4МТК приведены в справочнике (10).

1.5) Выбранный двигатель проверяется по условиям допустимой кратковременной перегрузки по выражению (8, С. 86):

$$0,75 \cdot M_{\max} > M_{\text{ст.мах}} \quad (2.29)$$

где M_{\max} - максимальный момент принятого двигателя, Нм;

0,75 - коэффициент, учитывающий для асинхронных двигателей снижение напряжения сети на (10...15) %;

$M_{\text{ст.мах}}$ - максимальное значение статического момента на валу двигателя, возможное при эксплуатации и испытаниях крана.

в данной задаче значение $M_{\text{ст.мах}}$ определяется по наибольшей из расчетных статических нагрузок $P_{\text{п.н}}$:

$$M_{\text{ст.мах}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{п.н}}}{n_n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.30)$$

где n_n - номинальная скорость принятого двигателя.

Пример 3.

Номинальная грузоподъемность $G_n = 75000$ кг; вес крюка $G_0 = 3500$ кг. Высота подъема $H = 10$ м; скорость подъема $v_n = 6,5$ м/мин. Номинальный КПД $\eta_n = 0,8$. Время одной паузы $t_0 = 2$ мин. Синхронная скорость двигателя $n_c = 1000$ об/мин. Напряжение сети 380 В. Рассчитать мощность двигателя механизма подъема мостового крана; выбрать двигатель по каталогу; проверить на перегрузочную способность.

Решение

1) Определяем время подъема груза по формуле (время работы) по формуле (2.21):

$$t_p = \frac{0,75 \cdot 10}{6,5} = 1,2 \text{ мин}$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		50

2) Определяем продолжительность включения двигателя подъема по формуле (2.22):

$$ПВ_{расч} = \frac{4 \cdot 1,2}{4 \cdot 1,2 + 4 \cdot 2} \cdot 100\% = 37,5\%$$

К значению $ПВ_{расч}$, %, подбираем стандартное ближайшее значение продолжительности включения, $ПВ_{ном} \% = 40 \%$.

3) Определяем статические нагрузки двигателя механизма подъема в следующих режимах:

а) при подъеме номинального груза по (2.23):

$$P_{н.н} = \frac{(75000 + 3500) \cdot 6,5 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,8} = 10,6 \text{ кВт}$$

б) при подъеме пустого крюка по (2.24):

$$P_{н.0} = \frac{3500 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,25} = 1,52 \text{ кВт}$$

где $\eta_0 = 0,25$ в зависимости от коэффициента загрузки, равного

$$\frac{G_0}{G_n + G_0} = \frac{3500}{3500 + 75000} = 4,5\%$$

и номинального КПД механизма подъема $\eta_n = 0,8$;

в) при тормозном спуске номинального груза по (2.25):

$$P_{с.н} = \frac{(75000 + 3500) \cdot 6,5 \cdot \left(2 - \frac{1}{0,8}\right) \cdot 10^{-3}}{60} = 6,28 \text{ кВт}$$

г) при силовом спуске пустого крюка по (2.26):

$$P_{c.0} = \frac{3500 \cdot 6,5 \cdot \left(\frac{1}{0,25} - 2 \right) \cdot 10^{-3}}{60} = 0,75 \text{ кВт}$$

4) По значениям $P_{п.н.}$, $P_{п.о.}$, $P_{с.н.}$, $P_{с.о.}$, t_p и t_o строим нагрузочная диаграмма (см. рисунок 2.5), по которой рассчитываем эквивалентную мощность $P_{эkv}$ за суммарное время рабочих операций, приведенная к ПВ_{ном} % по формуле (2.27):

$$P_{эkv} = \sqrt{\frac{10,6^2 \cdot 1,2 + 1,52^2 \cdot 1,2 + 6,28^2 \cdot 1,2 + 0,75^2 \cdot 1,2}{4 \cdot 1,2}} \cdot \sqrt{\frac{37,5}{40}} = 5,84 \text{ кВт}$$

Выбор двигателя производится по условию (2.28):

$$P_H = 11 \text{ кВт} > \kappa_3 P_{эkv} = 1,3 \cdot 5,84 = 7,6 \text{ кВт}$$

где $\kappa_3 = 1,3$.

При заданном значении n_c и принятом значении ПВ_{ном} % принимаем двигатель марки МТНЗ11-6; $P_H = 11$ кВт; ПВ = 40%; $n_H = 940$ об/мин;

$$M_{\text{макс}} = 320 \text{ Нм};$$

5) Выбранный двигатель проверяем по условиям допустимой кратковременной перегрузки по выражению (2.29):

определяем максимальный статический момент по (2.30):

$$M_{\text{ст.макс}} = \frac{9550 \cdot 11}{940} = 111,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$0,75 \cdot M_{\text{макс}} = 0,75 \cdot 320 = 224 \text{ Нм} > M_{\text{ст.макс}} = 111,76 \text{ Нм}$$

Двигатель выбран верно.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		52

2) Расчет мощности механизма передвижения мостового крана.

2.1) Определяется время передвижения тележки по формуле (8, С. 92):

$$t_p = \frac{0,5 \cdot L}{v_T}, \text{ мин} \quad (2.31)$$

где L - пролет моста, м;

v_T - скорость передвижения тележки;

2.2) Определяется продолжительность включения двигателя тележки:

$$ПВ_{расч} = \frac{4t_p}{4t_p + 4t_0} \cdot 100\% \quad (2.32)$$

где $4t_0$ - паузы, во время которых работают двигатели передвижения моста и подъема.

К значению $ПВ_{расч}$ подбирается ближайшее стандартное значение $ПВ_{ном}$ % из следующего ряда: 15, 25, 40, 60 и 100%.

2.3) Определяются статические нагрузки двигателя механизма передвижения тележки:

а) при передвижении с номинальным грузом по формуле (8, С. 92):

$$P_{с.н} = \frac{(G_n + G_0) \cdot (f + \mu r) \cdot v_T \cdot K \cdot 10^{-3}}{60 \cdot R_{хк} \cdot \eta_n}, \text{ кВт} \quad (2.33)$$

где $K = 1,8...2,5$ - коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению из-за трения реборд ходовых колес о рельсы;

f - коэффициент трения качения ходовых колес по рельсам;

μ - коэффициент трения в опорах ходовых колес;

r - радиус шейки оси ходового колеса, м;

$R_{хк}$ - радиус ходового колеса, м.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		53

б) при движении без груза

$$P_{c.0} = \frac{G_0 \cdot (f + \mu r) \cdot v_T \cdot K \cdot 10^{-3}}{60 \cdot R_{\text{хк}} \cdot \eta_0}, \text{кВт} \quad (2.34)$$

Значение η_0 определяется по рисунку 2.6 в зависимости от отношения $G_0/(G_p + G_0)$.

2.4) Определяется расчетная мощность двигателя:

$$P_{\text{расч}} = \frac{1,2(P_{c.н} + P_{c.0})}{2} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{расч}}}{ПВ_{\text{ном}}}}, \text{кВт} \quad (2.35)$$

Выбор двигателя производится по условию

$$P_{\text{н}} > P_{\text{расч}} \quad (2.36)$$

при принятом значении $ПВ_{\text{ном}}$ %.

Расчет мощности двигателя передвижения моста производится аналогично.

Пример 4.

Номинальная грузоподъемность $G_{\text{н}} - 7000$ кг; сила тяжести тележки с крюком $G_0 - 3000$ кг. Пролет моста 10 м, скорость передвижения тележки с крюком $v_{\text{н}} - 12$ м/мин. Радиус ходового колеса $R_{\text{хк}} - 0,25$ м; радиус шейки оси ходового колеса, $r - 0,02$ м. Коэффициент трения качения ходовых колес по рельсам, $f - 0,04$; коэффициент трения в опорах ходовых колес, $\mu - 0,12$; Номинальный КПД $\eta_{\text{н}} = 0,68$. Время одной паузы $t_0 = 1$ мин. Синхронная скорость двигателя $n_c = 1000$ об/мин. Напряжение сети 380 В.

Рассчитать мощность двигателя передвижения тележки мостового крана. Выбрать двигатель по каталогу.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		54

Решение

- 1) Определяем время передвижения тележки по формуле (2.31):

$$t_p = \frac{0,5 \cdot 10}{12} = 0,4 \text{ мин}$$

- 2) Определяем продолжительность включения двигателя тележки по (2.32):

$$ПВ_{расч} = \frac{4 \cdot 0,4}{4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 1,0} \cdot 100 = 28,6\%$$

К значению $ПВ_{расч}$ подбираем ближайшее стандартное значение $ПВ_{ном} = 25\%$.

- 3) Определяем статические нагрузки двигателя механизма передвижения тележки:

- а) при передвижении с номинальным грузом по (2.33):

$$P_{с.н} = \frac{(7000 + 3000) \cdot (0,04 + 0,12 \cdot 0,02) \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,25 \cdot 0,68} = 1,25 \text{ кВт}$$

- б) при движении без груза по (2.34):

$$P_{с.0} = \frac{3000 \cdot (0,04 + 0,12 \cdot 0,02) \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,25 \cdot 0,4} = 0,66 \text{ кВт}$$

где $\eta_0 = 0,25$ в зависимости от коэффициента загрузки, равного

$$\frac{G_0}{G_n + G_0} = \frac{3000}{3000 + 70000} \cdot 100 = 30\%$$

и номинального КПД механизма подъема $\eta_n = 0,68$; отсюда $\eta_0 = 0,4$.

- 4) Определяем расчетную мощность двигателя по формуле (2.35):

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		55

$$P_{расч} = \frac{1,2(1,25 + 0,66)}{2} \cdot \sqrt{\frac{28,6}{25}} = 1,23 \text{ кВт}$$

Выбор двигателя производится по условию (2.36):

$$P_H = 1,7 \text{ кВт} > P_{расч} = 1,23 \text{ кВт}$$

Выбираем крановый двигатель марки МТФ011-6, $P_H = 1,7 \text{ кВт}$ при значении $ПВ_{ном} = 25 \%$, $n_{ном} = 850 \text{ об/мин}$, $M_{макс} = 39 \text{ Нм}$.

5) Выбранный двигатель проверяем по условиям допустимой кратковременной перегрузки по выражению (2.29):

$$M_{ст.мах} = \frac{9550 \cdot 1,7}{850} = 19,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$0,75 \cdot M_{макс} = 0,75 \cdot 39 = 29,25 \text{ Нм} > M_{ст.мах} = 19,1 \text{ Нм}$$

Двигатель выбран верно.

2.4.3 Расчета мощности и выбор двигателя поршневого компрессора

Компрессоры работают, как правило, в длительном режиме с постоянной нагрузкой, поэтому их электроприводы нереверсивные с редкими пусками. Компрессоры имеют небольшие пусковые статические моменты до 20...25 % от номинального. Изучите §3.7 (8, С. 123...315); § 7.2 (7, С. 123-127).

1) Расчет мощности электродвигателя одноступенчатого поршневого компрессора.

1.1) Расчет мощности электродвигателя одноступенчатого поршневого компрессора производится по формуле (8, С. 126):

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		56

$$P_{расч} = \frac{\kappa_3 Q_A \cdot 10^{-3}}{60 \cdot \eta_\kappa \eta_n}, \text{ кВт} \quad (2.37)$$

где $A = \frac{A_{из} + A_{ад}}{2}$ – работа изотермического и адиабатического сжатия 1 м^3 газа от P_n

до P_κ ;

κ_3 – коэффициент запаса, равный 1,05...1,15 и учитывающий не поддающиеся расчету факторы;

$Q/60$ – производительность компрессора, $\text{м}^3/\text{с}$.

1.2) Изотермическое сжатие газа в компрессоре идет при $t^0 = \text{const}$ (в процессе сжатия от газа отводится все получающееся тепло, для чего необходимо применять весьма интенсивное охлаждение).

В этом случае работа, затрачиваемая на сжатие 1 м^3 газа, определяется по формуле

$$A_{из} = 2,303 P_n l q \frac{P_\kappa}{P_n}, \text{ Дж} / \text{ м}^3 \quad (2.38)$$

1.3) При адиабатическом сжатии к газу не подводится и от него не отводится тепло. При таком процессе работа, затрачиваемая на сжатие 1 м^3 газа, определяется по формуле

$$A_{ад} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot P_n \cdot \left[\left(\frac{P_\kappa}{P_n} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right], \text{ Дж} / \text{ м}^3 \quad (2.39)$$

где κ – показатель адиабаты (для воздуха $\kappa = 1,4$).

Следует отметить, что изотермический и адиабатический процессы идеальные. В реальном компрессоре можно только с той или иной степенью точности говорить о приближении процесса сжатия к изотермическому и

адиабатическому, поэтому величина работы и определяется полусуммой работ изотермического и адиабатического циклов.

Пример 5

Производительность одноступенчатого компрессора $Q = 10 \text{ м}^3/\text{мин}$; начальное давление $P_n = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$; конечное давление $P_k = 4,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. КПД компрессора $\eta_k = 0,85$; КПД передачи $\eta_{п} = 0,99$. Скорость вращения вала $n_c = 600 \text{ об/мин}$. Рассчитать мощность двигателя поршневого компрессора. Выбрать электродвигатель по каталогу.

Решение

- 1) Определим изотермическое сжатие газа в компрессоре по формуле (2.38):

$$A_{из} = 2,303 \cdot 1,0 \cdot 10^5 \text{ лг} \frac{4,0 \cdot 10^5}{1,0 \cdot 10^5} = 138654 \text{ Дж} / \text{м}^3$$

- 2) Определим адиабатическое сжатие газа в компрессоре по формуле (2.39):

$$A_{ад} = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 1,0 \cdot 10^5 \cdot \left[\left(\frac{4,0 \cdot 10^5}{1,0 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 170304 \text{ Дж} / \text{м}^3$$

- 3) Определим работу сжатия компрессора:

$$A = \frac{138654 + 170304}{2} = 154479 \text{ Дж} / \text{м}^3$$

- 4) Определим мощность электродвигателя одноступенчатого поршневого компрессора по формуле (2.37):

$$P_{расч} = \frac{1,15 \cdot 10 \cdot 154479 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,85 \cdot 0,99} = 34,8 \text{ кВт}$$

- 5) Выбираем двигатель по условию (2.46):

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		58

$$P_n = 37 \text{ кВт} \geq P_{\text{расч}} = 34,8 \text{ кВт}$$

Марка 4A250M10У3, $P_n = 37 \text{ кВт}$; $n_n = 590 \text{ об/мин}$;

2) Расчет мощности двигателя многоступенчатого поршневого компрессора.

2.1) Расчет мощности двигателя многоступенчатого поршневого компрессора производится по формуле (8, С. 126):

$$P_{\text{расч}} = \frac{\kappa_3 Q \cdot 10^{-3}}{60 \cdot \eta_k \eta_n} \cdot \frac{\sum A_{\text{из},i} + \sum A_{\text{ад},i}}{2}, \text{ кВт} \quad (2.40)$$

где величины $A_{\text{из},i}$ и $A_{\text{ад},i}$ определяются по формулам (2.44) и (2.45) соответственно для каждой ступени компрессора. Чтобы найти начальное ($P_{\text{н},i}$) и конечное ($P_{\text{к},i}$) давление каждой ступени, определяют сначала степень сжатия ε

$$\varepsilon = \sqrt[\kappa]{\frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{н}}}} \quad (2.41)$$

2.2) Зная ε , можно определить конечное давление промежуточных ступеней. Например, конечное давление первой ступени

$$P_{1\text{к}} = P_{\text{н}} \varepsilon \quad (2.42)$$

2.3) Начальное давление второй ступени $P_{2\text{н}} = P_{1\text{к}}$ (если пренебречь утечкой газа). Конечное давление второй ступени

$$P_{2\text{к}} = P_{2\text{н}} \varepsilon = P_{\text{н}} \varepsilon^2 \quad (2.43)$$

и т.д.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		59

2.4) Зная для каждой i -той ступени $P_{н.i}$ и $P_{к.i}$ можно определить значения $A_{из.i}$ и $A_{ад.i}$

$$A_{из.i} = 2,303 P_{н.i} \lg \frac{P_{к.i}}{P_{н.i}}, \text{Джс} / \text{м}^3 \quad (2.44)$$

$$A_{ад.i} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot P_{н.i} \cdot \left[\left(\frac{P_{к.i}}{P_{н.i}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right], \text{Джс} / \text{м}^3 \quad (2.45)$$

По расчетной мощности двигателей выбирается из каталога его номинальная мощность по условию

$$P_{н} \geq P_{расч} \quad (2.46)$$

Вопрос о выборе типа двигателя окончательно решается с учетом общих положений и полученной расчетной мощности $P_{расч}$.

Двигатель работает в длительном режиме с практически постоянной нагрузкой, поэтому нагрузочная диаграмма будет иметь вид на рисунке 2.7.

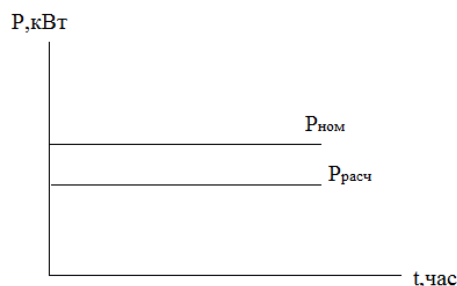


Рисунок 2.4.5 – Нагрузочная диаграмма

Пример 6.

Производительность двухступенчатого компрессора $Q = 30 \text{ м}^3/\text{мин}$; начальное давление $P_{н} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$; конечное давление $P_{к} = 8,08 \cdot 10^5 \text{ Па}$. КПД компрессора $\eta_{к} = 0,8$; КПД передачи $\eta_{п} = 1,0$. Скорость вращения вала $n_{с} = 500$

об/мин. Рассчитать мощность двигателя компрессора. Выбрать электродвигатель по каталогу.

Решение

1) Определим степень сжатия по формуле (2.41):

$$\varepsilon = \sqrt[1.4]{\frac{8,08 \cdot 10^5}{1,01 \cdot 10^5}} = 2,8$$

2) Определим конечное давление промежуточной ступени по формуле (2.42):

$$P_{1к} = 1,01 \cdot 10^5 \cdot 2,8 = 2,86 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

3) Определим начальное давление второй ступени $P_{2н} = P_{1к} = 2,86 \cdot 10^5$ Па (если пренебречь утечкой газа). Конечное давление второй ступени по (2.43):

$$P_{2к} = P_{2н} \varepsilon = 2,86 \cdot 10^5 \cdot 2,8 = 8,08 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

4) Определим работу при изотермическом сжатии газа на каждой ступени по (2.44):

$$A_{из.1} = 2,303 \cdot 1,01 \cdot 10^5 \ln \frac{2,86 \cdot 10^5}{1,01 \cdot 10^5} = 105147 \text{ Дж} / \text{м}^3$$

$$A_{из.2} = 2,303 \cdot 2,86 \cdot 10^5 \ln \frac{8,08 \cdot 10^5}{2,86 \cdot 10^5} = 297085 \text{ Дж} / \text{м}^3$$

5) Определим работу при адиабатическом сжатии газа на каждой ступени по (2.45):

$$A_{ад.1} = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 1,01 \cdot 10^5 \left[\left(\frac{2,86 \cdot 10^5}{1,01 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 122573 \text{ Дж} / \text{м}^3$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		61

$$A_{ад.2} = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 2,86 \cdot 10^5 \left[\left(\frac{8,08 \cdot 10^5}{2,86 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] = 346203 \text{ Дж} / \text{м}^3$$

6) Определим мощность двигателя многоступенчатого поршневого компрессора по формуле (2.40):

$$P_{расч} = \frac{1,3 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot (105147 + 122573) + (297085 + 346203)}{60 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 2} = 227,3 \text{ кВт}$$

7) По расчетной мощности двигателей выбирается из каталога его номинальная мощность по условию (2.46):

$$P_H = 250 \text{ кВт} \geq P_{расч} = 227,3 \text{ кВт}$$

Принимаем двигатель серии А4 мощностью $P_H = 250 \text{ кВт}$, $n_H = 500 \text{ об/мин}$.

2.4.4 Расчета мощности и выбор двигателя насосной установки

Насосы относятся к числу механизмов с продолжительным режимом работы и постоянной нагрузкой. При отсутствии электрического регулирования скорости в насосных агрегатах небольшой мощности обычно применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, питаемые от сети 380 В. Для привода насосов мощностью свыше 100 кВт устанавливают асинхронные и синхронные двигатели на 6 и 10 кВ с прямым пуском, т.е. с включением на полное напряжение сети. Для выбора мощности двигателей насосов изучите §3.6 (8, С. 118...123); § 7,2 (7, С. 123-127).

1) Мощность двигателя насоса $P_{дв}$, кВт, определяется по формуле (8, С. 118):

$$P_{дв} = \frac{\kappa_3 \rho g Q H \cdot 10^{-3}}{3600 \eta_n \eta_m} \quad (2.47)$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		62

где ρ - плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

$g = 9,81$ - ускорение свободного падения, м/с²;

Q - производительность насоса, м³/с;

H - статический напор, м;

η_n - КПД насоса, принимаемый: для поршневых насосов - 0,7...0,9; для центробежных насосов с давлением свыше $0,4 \cdot 10^5$ Па - 0,6...0,75; с давлением до $0,4 \cdot 10^5$ Па - 0,45...0,6;

$\eta_{п}$ - КПД передачи, равный 0,9...0,95;

k_3 - коэффициент запаса; рекомендуется принимать его 1,1...1,3 в зависимости от мощности двигателя;

3600 – переводной коэффициент из час в с.

2) По расчетной мощности двигателей выбирается из каталога его номинальная мощность по условию (2.46).

Вопрос о выборе типа двигателя окончательно решается с учетом общих положений и полученной расчетной мощности $P_{расч}$.

Технические данные синхронных двигателей серии СДК и асинхронных двигателей серий, 4А и АИ приведены в справочнике (10).

Двигатель работает в длительном режиме с практически постоянной нагрузкой, поэтому нагрузочная диаграмма будет иметь вид такой же как на рисунке 2.7.

Пример 7

Производительность насоса $Q = 500$ м³/час; напор $H = 120$ м КПД насоса $\eta_n = 85$ %, КПД передачи $\eta_{п} = 100$ %. Плотность перекачиваемой жидкости $\rho = 800$ кг/м³. Скорость вращения вала насоса $n_c = 1500$ об/мин. Рассчитать мощность электродвигателя центробежного насоса. Выбрать двигатель по каталогу.

Решение

1) Мощность двигателя насоса $P_{дв}$, кВт, определяется по формуле (2.47):

$$P_{дв} = \frac{1,3 \cdot 800 \cdot 9,8 \cdot 500 \cdot 120 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 0,85 \cdot 1,0} = 199,8 \text{ кВт}$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		63

2) По расчетной мощности двигателей выбирается из каталога его номинальная мощность по условию (2.46).

$$P_n = 250 \text{ кВт} \geq P_{\text{расч}} = 227,3 \text{ кВт}$$

Принимаем двигатель серии 5АНК315А4 мощностью $P_n = 200 \text{ кВт}$, $n_c = 1500 \text{ об/мин}$.

2.4.5 Расчёт мощности и выбор ПЭД

При выборе электрического оборудования для бештанговой насосной установки в первую очередь определяют мощность погружного электродвигателя, которая должна соответствовать параметрам выбранного насоса.

Номинальная подача и напор, развиваемые насосом, должны соответствовать оптимальному дебиту скважины и полному напору необходимому для подъёма жидкости. Выбор электрооборудования бештанговой насосной установки проводится в следующем порядке.

1) Полезная мощность двигателя (кВт), необходимая для работы насоса определяется по формуле (12, С. 141):

$$P_{\text{пол}} = \frac{\rho Q H \cdot 10^3}{86400 \cdot 102 \cdot \eta_n} \quad (2.48)$$

где Q - дебит скважины в сутки, в т/сут;

H - необходимый напор в м;

η_n - КПД насоса, определяется по рабочей характеристике;

$\rho = 0,85$ - относительная плотность.

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пол}} + \frac{\Delta P_{\kappa} L}{100}, \text{ кВт} \quad (2.49)$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		64

где ΔP_k - потери мощности в кабеле длиной 100 м, кВт;

L - общая длина кабеля от станции управления до двигателя, м.

2) Кабель выбирается по нагрузке (силе тока). По длине насоса и протектора (6...12 м) выбирают плоский трехжильный кабель КРБП сечением на один размер меньше, чем сечение круглого кабеля. От сечения и длины кабеля зависят потери электроэнергии в нём и КПД установки. Эти потери мощности (кВт) в кабеле длиной 100 г определяются по формуле (12, С. 141):

$$\Delta P_k = 3I^2 R \cdot 10^{-3}, \text{кВт} \quad (2.50)$$

где I - рабочий ток в статоре электродвигателя, А;

R - сопротивление в кабеле, в Ом.

3) Сопротивление в кабеле длиной 100 м может быть определено по формуле (12, С. 141):

$$R = \frac{\rho_t \cdot 100}{q}, \text{Ом/м} \quad (2.51)$$

где ρ_t - удельное сопротивление кабеля при температуре t_k в скважине, Ом/мм² · м;

q - сечение жилы кабеля, мм;

Удельное сопротивление равно по формуле (12, С. 141):

$$\rho_t = \rho [1 + \alpha(t_k - t_{20})] \quad (2.52)$$

где $\rho = 0,0175$ Ом/мм² · м - удельное сопротивление кабеля при

$t = 20^0$ С;

$\alpha = 0,004$ - температурный коэффициент для медных жил;

t_k - температура в скважине, ⁰С.

3) Для поддержания необходимого напряжения на зажимах погружного двигателя при изменениях потерь напряжения в кабеле и других элементах

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		65

питающей сети, а также для питания двигателей ПЭД с различными номинальными напряжениями при стандартных напряжениях промышленной сети применяются трансформаторы и автотрансформаторы. Зажимы низшего напряжения (первичные) присоединяются к промышленной сети, а вторичные – кабелю КРБК (КПБК).

Применяемые автотрансформаторы выполняются сухими, трехфазными с шестью выводами у каждой фазной обмотки на стороне вторичного напряжения. Силовые трансформаторы типов ТМП и ТМПН мощностью от 40 до 400 кВА выпускаются масляными трехфазными двухобмоточными. Разработаны и изготовлены специальные подстанции типа КТППН-82 мощностью 63...400 кВА для питания одиночных скважин и кустов скважин в условиях холодного климата с масляными трехобмоточными трансформаторами типа ТМТПН.

Для выбора трансформатора или автотрансформатора и определения величины напряжения в его вторичной обмотке необходимо найти падение напряжения в кабеле по формуле (12, С. 143):

$$\Delta U = \sqrt{3}(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)IL, B \quad (2.53)$$

где r_0 - активное удельное сопротивление в кабеле, Ом/км;

x_0 - индуктивное удельное сопротивление в кабеле, Ом/км;

(для кабелей КРБК 3×25 и КРБК 3×35 $\approx 0,1$ Ом/км);

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности установки;

$\sin \varphi$ - коэффициент реактивной мощности;

I - рабочий ток статора, А;

L - длина кабеля, км

Активное удельное сопротивление кабеля определяется по формуле (12, С. 144):

$$r_0 = \frac{\rho_i \cdot 10^3}{q}, \text{ Ом / км} \quad (2.54)$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		66

Напряжение во вторичной обмотке трансформатора будет равно сумме напряжения электродвигателя и величины потерь напряжения в кабеле. В случае неполной загрузки, напряжение электродвигателя следует определить по кривым зависимости тока статора от напряжения и полезной мощности.

По величине напряжения во вторичной обмотке выбирают автотрансформатор и определяют положение клемм (перемычек) с учётом подводимого к первичной обмотке напряжения сети. Если напряжение в сети отличается от номинального, действительное напряжение на зажим вторичной обмотки втотрансформатора U'_2 определяется в зависимости (12, С. 144):

$$U'_2 = \frac{U_{\text{сети}} U_2}{U_n} \quad (2.55)$$

где $U_{\text{сети}}$ - действительное напряжение в сети, В;

$U_n = 380$ В - номинальное напряжение сети;

U_2 - напряжение во вторичной обмотке автотрансформатора, В.

Характеристики автотрансформаторов типа АТС и двухобмоточных трехфазных трансформаторов типа ТМП, применяемых для погружных электродвигателей приведены в Приложении 15 (12, С.263) и в методических указаниях по проведению практических работ.

Пример 8.

Исходные данные для расчета мощности погружного двигателя:

Марка насоса	ЭЦН6-100-1500
Производительность, Q	100 м ³ /сут
Напор	1480 Н, м
КПД η_n	48,5%
Температура в скважине	55°
Длина кабеля, L	800 м

Решение

1) Определяем полезную мощность двигателя, необходимую для работы насоса по формуле (2.48):

$$P_{пол} = \frac{0,85 \cdot 100 \cdot 1480 \cdot 10^3}{86400 \cdot 102 \cdot 0,485} = 29,4 \text{ кВт}$$

2) Предварительно выбираем электродвигатель и записываем его технические характеристики.

Тип электродвигателя ПЭД-35-123

Мощность, P_n 35 кВт

Напряжение U , 165 В

Сила тока, I 70,0 А

КПД, $\eta_{дв}$ 76,0 %

$\cos\varphi$ 0,82

Частота вращения $n_c = 3000$ об/мин.

3) Выбираем марку кабеля и выписываем его техническую характеристику

Выбираем кабель марки КРБП - число и сечение жил 3×25 мм²;

Номинальные наружные размеры сечения кабеля - $14,2 \times 35,6$ мм;

Номинальное напряжение – 1000 В.

4) Определяем удельное сопротивление кабеля при температуре в скважине t_k по формуле (2.52):

$$\rho_t = 0,0175[1 + 0,04(55 - 20)] = 0,01995 \text{ Ом} / \text{мм}^2 \text{ м}$$

5) Определим сопротивление в кабеле длиной 100 м по формуле (2.51):

$$R = \frac{0,01995 \cdot 100}{25} = 0,0798 \text{ Ом} / \text{м}$$

6) Определяем потери мощности в кабеле длиной 100 м по формуле (2.50):

$$\Delta P_k = 3 \cdot 70^2 \cdot 0,0798 \cdot 10^{-3} = 1,173 \text{ кВт}$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		68

7) Определяем потребляемую мощность двигателя по формуле и уточняем мощность и марку электродвигателя по (2.49).

$$P_{ном} = 29,4 + \frac{1,173 \cdot 800}{100} = 30,4 \text{ кВт}$$

Мощность двигателя выбрана правильно.

8) Определяем активное удельное сопротивление кабеля по формуле (2.54):

$$r_0 = \frac{0,01995 \cdot 10^3}{25} = 0,798 \text{ Ом/км}$$

9) Определяем падение напряжения в кабеле по формуле (2.53):

$$\Delta U = \sqrt{3}(0,798 \cdot 0,82 + 0,1 \cdot 0,572) \cdot 70 \cdot 0,8 = 68,9 \text{ В}$$

Что составляет 6 % от мощности погружного электродвигателя.

10) Напряжение во вторичной обмотке трансформатора будет равно сумме напряжения электродвигателя и величины потерь напряжения в кабеле.

$$U_2 = U_{ном} + \Delta U$$

$$U_2 = 1000 + 68,9 = 1069,9 \text{ В}$$

Выбираем трансформатор:

Марка трансформатора	ТМП-100/1170
Номинальная мощность, кВА	100
Напряжение х.х вторичной обмотки	920-1170 В
Степень регулирования	63
Потери х.х	0,365 кВт
Потери к.з.	1,97 кВт
Ток х.х, % номинального	2,6 %

2.5 Расчет электрических нагрузок цеха

Прежде чем приступить к расчету электрических нагрузок силового электрооборудования цеха, установки, необходимо изучить главу 5 Электрические нагрузки (5, С.112-133); главу 3 Электрические нагрузки (6, С.91-109); § 1.5 «Расчет электрических нагрузок цеха» (9, С. 22...32).

2.5.1 Метод коэффициента максимума. В качестве основного метода определения электрических нагрузок принят метод упорядоченных диаграмм, установленный Руководящими указаниями по определению электрических нагрузок.

По этому методу расчетные нагрузки на всех ступенях распределительных и питающих сетей определяются по формуле (5, С. 125):

$$P_{\text{макс}} = K_{\text{м.а}} \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{у}} = K_{\text{м.а}} \cdot P_{\text{см}}, \text{ кВт} \quad (2.56)$$

где $K_{\text{м.а}}$ – коэффициент максимума активной мощности, определяется по таблице 5.2 (5, С. 117);

$K_{\text{и}}$ – групповой коэффициент использования активной мощности за наиболее загруженную смену, принимается по таблице 5.3 (5, С. 122- 124).

$P_{\text{у}} = P_{\text{н}} \cdot n$ – установленная мощность группы ЭП, кВт;

$P_{\text{см}} = P_{\text{у}} \cdot K_{\text{и}}$ – среднесменная активная нагрузка, кВт.

При определении установленной мощности электроприемников повторно-кратковременного режима мощности электродвигателей должны быть приведены к ПВ = 100% по формуле (5, С. 124):

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{ном.ПВ}} \sqrt{\text{ПВ}}, \text{ кВт} \quad (2.57)$$

где $P_{\text{ном.ПВ}}$ – заданная мощность электродвигателей при ПВ = 15, 25, 40, 60%.

Средние активные и реактивные нагрузки за наиболее загруженную смену составляют согласно (5, С. 125):

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		70

$$P_{см} = P_y \cdot K_{и}; \quad Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.58)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ соответствует расчетному $\cos \varphi$.

Коэффициент максимума активной мощности $K_{м.а}$ определяется по среднему значению коэффициента использования $K_{и.ср}$ и эффективному (расчетному) числу электроприемников $n_э$ по формуле (5, С. 119):

$$K_{и.ср} = \sum P_{см} / \sum P_{н} \quad (2.59)$$

где $\sum P_{см}$ – активная суммарная сменная мощность, кВт;

$\sum P_{н}$ – сумма номинальных мощностей электроприемников, кВт;

При рассмотрении этого метода следует привести подробные расчеты всех величин с соответствующими пояснениями и обоснованиями принятой методики определения величин, например эффективного числа электроприемников $n_э = f(n, m, K_{и.ср}, P_{н})$, которое может быть определено по упрощенным формулам (таблица 2.1).

Коэффициента силовой сборки в группе по формуле (9. С. 22):

$$m = \frac{P_{ном.мах}}{P_{ном.мин}} \quad (2.60)$$

где $P_{ном.мах}$ и $P_{ном.мин}$ – номинальная мощность наибольшего и наименьшего приемника в группе, кВт.

Расчетная реактивная нагрузка принимается равной по формуле (9, С. 23) при $n_э \leq 10$ $Q_M = 1,1Q_{см}$; при $n_э > 10$ $Q_M = Q_{см}$.

Реактивная мощность электроприемников, работающих с опережающим током (синхронные двигатели), вычитается из общей реактивной мощности.

После определения $P_{мах}$ и $Q_{мах}$ определяются полные максимальные расчетные мощность по формуле (6, С. 109):

$$S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}, \text{кВа} \quad (2.61)$$

и ток по формуле (9, С. 10):

$$I = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}, \text{А} \quad (2.62)$$

Для определения электрических нагрузок цехов составляется сводная ведомость электроприемников.

Силовые нагрузки рассчитывают с помощью метода упорядоченных диаграмм, применяя для каждой группы соответствующий коэффициент использования, табл. 5.3 (5, С. 122-124).

Таблица 2.5.1 – Упрощенные варианты определения n_3

п	$K_{и.ср}$	т	P_n	формула для n_3
< 5	$\geq 0,2$	≥ 3	переменная	$n_3 = \frac{\left(\sum_1^n P_n\right)^2}{\sum_1^n P_n^2}$
≥ 5	$\geq 0,2$	≥ 3	постоянная	$n_3 = n$
≥ 5	$\geq 0,2$	< 3	переменная	$n_3 = n$
≥ 5	< 0,2	< 3		n_3 не определяется, а $P_M = K_3 P_{н\Sigma}$, где $K_{3(пкр)} = 0,75$ (повторно-кратковременный режим); $K_{3(др)} = 0,9$ (длительный режим); $K_{3(ар)} = 1$ (автоматический режим)
≥ 5	$\geq 0,2$	≥ 3		$n_3 = \frac{2\sum P_n}{P_{н.мах}}$
≥ 5	< 0,2	≥ 3		Применяются относительные единицы $n_3 = n^* n$; $n_3 = f(n^*, P^*)$; $n^* = \frac{n_1}{n}; \quad P^* = \frac{P_{n1}}{P_{н.л}}$
> 300	$\geq 0,2$	≥ 3	-	$n_3 = n$

Примечание.

κ_3 – коэффициент загрузки – это отношение фактической потребляемой активной мощности (P_ϕ) к номинальной активной мощности (P_n) электроприемника;

n^*_3 – относительное эффективного числа электроприемников определяется по таблице 2.14 (5);

n_1 – число электроприемников с единичной мощностью более или равной $0,5P_{n,нб}$;

n^* – относительное число наибольших по мощности электроприемников;

P^* – относительная мощность наибольших по мощности электроприемников;

Осветительные нагрузки рассчитывают с помощью метода удельной мощности.

Все расчеты должны быть сведены в таблицы, а по наиболее характерным электроприемникам для данного цеха, установки, завода - приведены пояснения к расчетам перед включением их в сводные таблицы.

Пример 9.

Определить максимальную расчетную нагрузку цеха. Наименование электроприемников и их мощности приведены в таблице.

Наименование ЭП	кол ЭП n	единичная мощность ЭП, $P_{ном}$ кВт	$\Sigma P_{ном}$ кВт	K_n	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Компрессорная установка	2	28,0	56,0	0,65	0,8	0,75
Станок фрезерный	3	11,5	34,5	0,14	0,5	1,73
Станок токарный	2	14	28,0	0,14	0,5	1,73
Печь индукционная	1	8,0	8,0	0,75	0,35	2,67
Кран мостовой, ПВ = 25%	1	30,0	30,0/15,0	0,05	0,5	1,73
Вентиляторы вытяжек	7	4,0	28,0	0,70	0,8	0,75
	16		169,5			

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ

Лист

73

Решение

1) Приведем к номинальной мощности мощность крана мостового с ПВ = 25 по формуле (2.57):

$$P_{\text{ном}} = 30 \cdot \sqrt{0,25} = 15 \text{ кВт}$$

2) Определяем среднюю активную мощность за наиболее загруженную смену по формуле (2.58):

$$P_{\text{см1}} = 0,65 \cdot 56 = 36,4 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см2}} = 0,14 (34,5 + 28) = 8,75 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см3}} = 0,75 \cdot 8,0 = 6,0 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см4}} = 0,05 \cdot 15 = 0,75 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{см5}} = 0,7 \cdot 28 = 19,6 \text{ кВт}$$

$$\sum P_{\text{см}} = 36,4 + 8,75 + 6,0 + 0,75 + 19,6 = 71,5 \text{ кВт}$$

3) Определим среднесменную реактивную мощность по формуле (2.58):

$$Q_{\text{см1}} = 36,4 \cdot 0,75 = 27,3 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{см2}} = 8,75 \cdot 1,73 = 15,14 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{см3}} = 6,0 \cdot 2,67 = 16,02 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{см4}} = 0,75 \cdot 1,73 = 1,3 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{см5}} = 19,6 \cdot 0,75 = 14,7 \text{ кВар}$$

$$\sum Q_{\text{см}} = 27,3 + 15,14 + 16,02 + 1,3 + 14,7 = 74,46 \text{ кВар}$$

4) Определим коэффициент силовой сборки по формуле (2.60):

$$m = 28/4 = 7 > 3$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		74

5) Определим средний коэффициент использования по формуле (2.59):

$$K_{и.ср} = 71,5/169,5 = 0,42 > 0,2;$$

6) В зависимости от m и $K_{и.ср}$ определим эффективное число электроприемника, если $m > 3$ и $K_{и} > 0,2$; $n > 10$, то $n_{эф}$ определяется по формуле:

$$n_{эф} = \frac{2 \sum P_{ном}}{P_{max}}$$
$$n_{эф} = \frac{2 \cdot 169,5}{28} = 12$$

7) Определим коэффициент максимума по таблице 1.5.3 с.26, (1) при $n_{эф} = 12$ и $K_{и.ср} = 0,4$ коэффициент максимума $K_{max} = 1,36$.

8) Определим максимальную активную нагрузку по формуле (2.56):

$$P_{max} = 1,36 \cdot 71,5 = 97,24 \text{ кВт}$$

8) Определим максимальную реактивную нагрузку по формуле при $n_{эф} > 10$

$$Q_{max} = \sum Q_{см} = 74,46 \text{ кВар}$$

9) Рассчитаем полную нагрузку по (2.61):

$$S_{max} = \sqrt{97,24^2 + 74,46^2} = 122,5 \text{ кВА}$$

2.5.2 Метод коэффициента спроса. Метод используется при определении общезаводских и цеховых нагрузок при достаточно высоких значениях числа приемников.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		75

Значения коэффициента спроса K_c рекомендуется принимать по отраслевым нормам для нефтяной промышленности.

Активная расчетная максимальная нагрузка определяется по формуле (5, С. 121):

$$P_{\max} = K_c \cdot P_y, \text{ кВт} \quad (2.63)$$

где P_y - установленная мощность электроприемника, кВт;

K_c - коэффициент спроса.

Реактивная расчетная максимальная нагрузка по формуле (5, С. 126):

$$Q_{\max} = P_{\max} \cdot \text{tg } \varphi, \text{ кВар} \quad (2.64)$$

где $\text{tg } \varphi$ - соответствует характерному для данной группы коэффициенту мощности.

Полная расчетная максимальная нагрузка по формуле (2.61) и расчетный ток по (2.62).

2.6 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов

Правильный выбор числа и мощности трансформаторов на подстанциях промышленных предприятий является одним из основных вопросов рационального построения системы электроснабжения. Для выполнения данного пункта необходимо знать §7.6 (5, С. 181); § 5.6 (6, С.161), § 1.1, 1.5 (9, С. 5).

При выборе количества и мощности трансформаторов подстанций исходят из следующих соображений:

1) Практикой проектирования систем электроснабжения заводов и цехов установлено, что по технико-экономическим показателям равноценными вариантами являются: а) большее число одотрансформаторных подстанций с трансформаторами до 630 кВ·А; б) меньшее число подстанций с

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		76

трансформаторами до 1600 кВ·А.

2) Трансформаторы более 1000 кВ·А следует применять в исключительных случаях: электропечи большой мощности или однофазные приемники большой мощности с большими пиками нагрузки, например электросварочные установки.

3) Следует стремиться к трансформаторам заводских и цеховых подстанций одной мощности.

4) В цехах с расчетной мощностью более 1000 кВ·А целесообразно иметь не менее двух трансформаторов, даже при отсутствии потребителей первой категории.

5) При одно- и двухтрансформаторных подстанциях с магистральной схемой электроснабжения мощность каждого трансформатора выбирается с таким расчетом, чтобы при выходе из строя одного трансформатора оставшийся в работе трансформатор мог нести нагрузку потребителей первой и второй категории с учетом нормальных и аварийных перегрузок, потребители же третьей категории могут отключаться. Для этого номинальная мощность каждого трансформатора двухтрансформаторной подстанции принимается равной 70% от полной расчетной нагрузки проектируемого объекта. Тогда при выходе из строя одного трансформатора второй трансформатор на время ликвидации аварии будет загружен не более чем на 140% номинальной мощности, что допустимо по нормам.

Электроснабжение потребителей цеха, группы цехов или всего предприятия может быть обеспечено от одной или нескольких трансформаторных подстанций. Практикой проектирования электроснабжения установлена технико-экономическая целесообразность сооружения одно- или двухтрансформаторных цеховых подстанций с питанием их по схеме трансформатор - магистраль.

Чтобы выбрать наиболее рациональный вариант электроснабжения, рассматривают обычно два варианта числа и мощности трансформаторов на подстанциях, сравнивая их по технико-экономическим показателям, с учетом капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Выбор числа мощности силовых трансформаторов зависит от категории

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		77

потребителя. Двухтрансформаторная подстанция, применяется при преобладании потребителей первой и второй категории.

Число и мощность трансформатора выбирают по трем пунктам:

- по графику потребителя и подсчитанным величинам средней максимальной мощности;
- по технико-экономическим показателям отдельных вариантов системы электроснабжения;
- по условию обеспечения режима и работы системы электроснабжения с минимум потерь электроэнергии при заданном графике нагрузки.

Количество и мощность трансформаторов выбирают с учетом их перегрузочной способности. Для этого по суммарному суточному графику нагрузки находят продолжительность максимума нагрузки $t_{\text{ч}}$ и определяют коэффициент заполнения графика по формуле (5, С. 181):

$$\kappa_{\text{зз}} = \frac{S_{\text{ср}}}{S_{\text{max}}} = \frac{I_{\text{ср}}}{I_{\text{max}}} \quad (2.65)$$

Далее по значениям $K_{\text{зг}}$, $t_{\text{ч}}$ находят коэффициент кратности допустимой нагрузки:

$$\kappa_{\text{н}} = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном.т}}} \quad (2.66)$$

где с учетом компенсации реактивной мощности $Q_{\text{к}}$

$$S_{\text{ном.т}} = \sqrt{P_{\text{max}}^2 + (Q_{\text{max}} - Q_{\text{к}})^2} \quad (2.67)$$

Номинальная мощность трансформатора по формуле (5, С. 182):

$$S_{\text{ном}} = S_{\text{max}} / \kappa_{\text{н}} \quad (2.68)$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		78

Проверяем мощность трансформаторов в аварийном режиме, при этом должно выполняться условие (5, С. 183):

$$1,4 \cdot S_{\text{ном}} > 0,75 \cdot S_{\text{max}} \quad (2.69)$$

Если условие выполняется, то мощность трансформаторов выбрана правильно, следовательно, выбранные трансформаторы обеспечивают электро-снабжение подстанции, как в нормальном, так и в аварийном режиме.

Пример 10.

Максимальная нагрузка на шинах КТП – 10/04 кВ составляет $S_{\text{max}} = 249,5$ кВ·А при максимуме нагрузки 5 часов. Среднесуточные нагрузки $P_{\text{см}} = 92,2$ кВт, $Q_{\text{см}} = 102,8$ кВар. Потребители 2 и 3 категории составляют 75 % от максимальной нагрузки. Выбрать число и мощность трансформаторов.

Решение

- 1) Устанавливаем в КТП один трансформатор, учитывая, что потребители 2 и 3 категории, т.е $n = 1$.
- 2) Определяем среднесуточную потребляемую мощность за наиболее загруженную смену:

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} = \sqrt{92,2^2 + 102,8^2} = 138,1 \text{кВА}$$

- 3) Определяем коэффициент заполнения графика по формуле (2.65):

$$K_{3,2} = \frac{S_{\text{см}}}{S_{\text{max}}} = \frac{138,1}{249,5} = 0,55$$

- 4) По значениям $K_{3,Г}$ и продолжительности максимума нагрузки $t = 5$ часов определяем коэффициент кратности допустимой нагрузки $K_{3,Г} = 1,22$.
- 5) Определяем номинальную мощность трансформатора по формуле (2.68)

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		79

$$S_{ном} = \frac{S_{max}}{K_n} = \frac{249,5}{1,22} = 204,5 \text{ кВА}$$

Принимаем к установке трансформатор ТМ-400-10У1 $S_n = 400 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

б) Коэффициент нагрузки трансформатора в нормальном режиме равен по формуле (2.66):

$$K_n = \frac{S_{max}}{S_{ном}} = \frac{249,5}{400} = 0,62$$

что соответствует экономическому режиму.

Пример 11.

Максимальная нагрузка на шинах 6 кВ ПС-110/35/6 «Нижнесортымская» составляет $S_{max} = 29172,5 \text{ кВ} \cdot \text{А}$. Потребители 1 и 2 категории составляют 75 % от максимальной нагрузки. Выбрать число и мощность трансформаторов.

Решение

1) Согласно ПУЭ, эти приемники рекомендуется обеспечивать питанием от двух независимых источников, взаиморезервирующих друг друга. Для них допустимы перерывы в электроснабжении на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригадой.

2) Рассчитаем номинальную мощность трансформатора по формуле (2.68):

$$S_{н. min} = \frac{29172,2}{2 \cdot 0,6} = 2410,4 \text{ кВА}$$

$$S_{н. max} = \frac{29172,5}{2 \cdot 0,8} = 1823,8 \text{ кВА}$$

3) Номинальная мощность трансформатора находится в пределах $S_{ном} = 1823,8 \div 24310,4 \text{ кВА}$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		80

Выбираем мощность трансформаторов ТДТН – 25000/110, его основные параметры являются:

- номинальная мощность – 25000 кВА
- номинальное напряжение ВН – 115 кВ
- номинальное напряжение СН – 38,5 кВ
- номинальное напряжение НН – 6,6 кВ
- напряжение к.з $U_{ВН/СН}$ – 10,5 %
- $U_{ВН/НН}$ – 17,0 %
- $U_{СН/НН}$ – 6,0 %
- ток х.х – 1,0 %
- потери холостого хода $P_{х.х}$ – 45 кВт;
- потери короткого замыкания $P_{кз}$ – 145 кВт.

4) Рассчитаем коэффициент нагрузки для выбранного трансформатора по формуле (2.66):

$$k_n = \frac{29172,5}{2 \cdot 25000} = 0,6$$

8.5 Определим активные и реактивные потери холостого хода по формулам (9, С. 23):

$$\Delta P = P_{х.х} + (K_n^2 \cdot P_{кз}),$$

$$\Delta Q = i_0 \cdot S_{н.т} / 100,$$

где $P_{х.х}$ – потери в магнитопроводе трансформатора, кВт;

$P_{кз}$ – потери в обмотке трансформатора, кВт;

i_0 – ток холостого хода трансформатора, %.

$$\Delta P = 45 + (0,58^2 \cdot 145) = 93,8 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = (1,0 \cdot 25000) / 100 = 250 \text{ кВар}$$

6) Определим полные потери по формуле с. 23, (1):

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2}$$

$$\Delta S = \sqrt{93,8^2 + 250^2} = 267 \text{ кВА}$$

7) Определим коэффициент нагрузки трансформатора с учетом потерь

$$k'_n = \frac{S_{\max} + n \cdot \Delta S}{n \cdot S_{н.м}}$$

$$k'_n = \frac{29172,5 + (2 \cdot 267)}{2 \cdot 25000} = 0,6$$

8) Проверяем мощность трансформаторов в аварийном режиме, при этом должно выполняться условие (2.69):

$$1,4 S_{\text{НОМ}} \geq 0,75 S_{\text{МАХ}}$$

$$1,4 \cdot 25000 = 35000 \text{ кВа} \geq 0,75 \cdot 29172,5 = 21887,4 \text{ кВа}$$

Так как условие выполняется, то мощность трансформаторов выбрана правильно, следовательно, выбранные трансформаторы обеспечивают электроснабжение подстанции, как в нормальном, так и в аварийном режимах.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		82

2.7 Компенсация реактивной мощности

Если известны суммарные значения активной и реактивной мощностей и средневзвешенный коэффициент мощности, то можно определить, какая компенсирующая мощность должна быть установлена на предприятии по формуле (9, С. 33):

$$Q_k = \alpha P_{\max}(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = Q_p - Q_c \quad (2.70)$$

где α - коэффициент, равный 0,9; учитывающий возможное повышение коэффициента мощности способами, не требующими установки компенсирующих устройств;

P_{\max} - расчетная активная мощность предприятия;

$\operatorname{tg}\varphi_1$ - тангенс угла сдвига фаз, соответствующий средневзвешенному коэффициенту мощности предприятия без компенсации;

$\operatorname{tg}\varphi_2$ - тангенс угла сдвига фаз, соответствующий коэффициенту мощности, который должен быть получен после компенсации;

Q_p , Q_c - расчетная реактивная мощность предприятия и реактивная мощность, передаваемая от системы предприятию.

Компенсирующее устройство (статические конденсаторы или синхронные двигатели) выбирается на основании технико-экономических расчетов; при этом учитываются наличие избыточной мощности в синхронных двигателях, установленных на механизмах, и возможность их работы как компенсаторов реактивной мощности. Выбор средств компенсации производится для режима наибольшего потребления реактивной мощности в сети проектируемой установки.

Энергосистема должна выдать организации, проектирующей присоединяемую к сети энергосистемы электроустановку, значения величин реактивной мощности Q_c , передаваемых из сети системы для режимов наибольшей и наименьшей активной нагрузки системы, а также для

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		83

послеаварийных режимов. При выборе средств компенсации следует учитывать, что наибольший экономический эффект достигается при их размещении в непосредственной близости от потребляющих реактивную мощность электроприемников.

Передача реактивной мощности из сети 6...35 кВ в сеть до 1000 В может быть экономически невыгодной, если это приводит к увеличению числа цеховых трансформаторов. Для электроустановок мощности, присоединяемых к действующим сетям 6...10 кВ, экономически оправданной оказывается полная компенсация реактивной мощности на стороне до 1000 В.

Нерегулируемые конденсаторы установки в сетях до 1000 В размещаются в цехах у групповых распределительных пунктов, если окружающая среда допускает такую установку. Место установки регулируемых конденсаторных установок в сетях до 1000 В определяется с учетом требований регулирования напряжения в сети или регулирования реактивной мощности. Установка конденсаторных батарей на стороне 6...10 кВ цеховых подстанций не рекомендуется. Индивидуальная компенсация целесообразна лишь у крупных электроприемников с низким коэффициентом мощности и большим числом включений в год.

Для контроля наибольшей реактивной мощности, передаваемой из сетей системы потребителю в режиме наибольшей активной нагрузки системы, используются реактивные счетчики с указателями 30-минутного максимума и с реле времени. Для контроля «реактивной энергии», выдаваемой потребителем в сеть энергосистемы, в период ночного провала активных нагрузок системы используются счетные механизмы реактивных счетчиков со стопором.

Если на предприятии устанавливаются один-два трансформатора 6...10/0,4 кВ, то при изменении степени компенсации реактивной мощности в сети до 1000 В число трансформаторов обычно не может быть изменено, учитывая условия электроснабжения, размещения цехов, а также требования надежности электроснабжения. Технико-экономическое решение вопроса о степени компенсации реактивной мощности в сети до 1000 В связано с возможным изменением мощности трансформаторов. В этом случае сохраняется изложенная методика

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		84

расчета, но определяется не минимально возможное число трансформаторов, а их минимально возможная мощность при $\cos\varphi = 1$ из формулы (5, С. 294):

$$S_T = \frac{P}{\beta N \cos\varphi}, \text{кВа} \quad (2.71)$$

где P - расчетная активная мощность;

β - коэффициент загрузки;

N - количество трансформаторов.

При этом сравниваются варианты установки трансформатора с найденной минимально возможной мощностью и мощностью трансформатора на ступень выше. Обратитесь к главе 12 (5, С. 282-301); главе 10 (6, С.260-278).

Пример 12.

К шинам РП промышленного предприятия присоединяется один трансформатор 6/0,4 кВ для покрытия нагрузки $P_M = 0,9$ МВт, $Q_M = 0,8$ Мвар при коэффициенте загрузки $\beta = 1$. Компенсация реактивной мощности может быть осуществлена установкой БК на 6 или 380 В. Определить оптимальные мощности трансформатора и БК (батареи конденсаторов) на 6 кВ и 380 В.

Решение

1) Определяем минимально возможную мощность трансформатора по формуле (2.71) при $\cos\varphi = 1$, $\beta = 1$, $N = 1$:

$$S_T = 0,9/1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

принимается 1000 кВ·А.

2) Определяем реактивную мощность БК-6 кВ:

$$Q_T = \sqrt{1^2 - 0,9^2} = 0,44 \text{ МВар}$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		85

6.3 Мощность БК на стороне 380 В для полной компенсации по таблице (10, С. 124):

$$Q_2 = Q - Q_1 = 0,8 - 0,44 = 0,36 \text{ МВар}$$

2.8 Расчет токов короткого замыкания

Прежде чем приступить к расчету токов короткого замыкания необходимо изучить §9.1...9.3 (5, С. 208-225) «Токи короткого замыкания»; §7.1...7.3 (6, С. 187-207); §1.9 (9, С.58...67) «Расчет токов короткого замыкания». Основные положения из них приведены ниже.

Расчет токов короткого замыкания в проектируемой схеме электроснабжения должен выявить величины токов КЗ в точках расчетной схемы, где намечается установка соответствующих высоковольтных и низковольтных аппаратов и должен быть произведен выбор токоведущих частей (шин и кабелей).

При проектировании системы электроснабжения токи КЗ рассчитываются:

- от источника питания неограниченной мощности;
- по расчетным кривым;
- на понижающих подстанциях.

Для генераторов станций, мощных трансформаторов подстанций энергосистем и промышленных предприятий, высоковольтных воздушных линий обычно при расчетах токов КЗ принимаются во внимание только индуктивные сопротивления. Активные сопротивления кабельных линий и цеховых трансформаторов учитываются для удаленных точек КЗ, когда суммарное результирующее активное сопротивление составляет более 0,3 от суммарного индуктивного.

В схеме замещения результирующее сопротивление отдельных элементов цепи к. з. может выражаться в Омах, МОмах или в относительных единицах, приведенных к базисному напряжению или базисной мощности.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		86

Особенностью расчета токов КЗ в установках до 1000 В (на стороне низкого напряжения трансформаторных подстанций) заключается в том, что в них должны быть учтены все величины активных сопротивлений (кабельных линий, шин, переходных контактов аппаратов).

Ударный ток, соответствующий времени 0,01 с, т.е через полпериода после возникновения короткого замыкания определяется по формуле, (45, С. 210):

$$i_y = \kappa_y \sqrt{2} I_{no} \quad (2.72)$$

где κ_y - ударный коэффициент;

I_{no} - начальное действующее значение периодической составляющей ТКЗ.

Если ЭДС источника неизменна (например, при питании от сети неограниченной мощности), то и периодическая составляющая тока короткого замыкания будет неизменна (5, С. 212):

$$I'' = I_{п.о} = I_k \quad (2.73)$$

Наибольшее действующее значение полного тока короткого замыкания в течение первого периода короткого замыкания равно (9, С. 58):

$$I_y = I_k \sqrt{1 + 2(\kappa_y - 1)} \quad (2.74)$$

Величина ударного коэффициента i_y зависит от T_a и, следовательно, от соотношения активного и реактивного сопротивлений контура повреждения.

Для вычисления токов короткого замыкания составляют расчетную схему, соответствующую нормальному режиму работы системы электроснабжения, считая (для повышения надежности), что все источники питания включены параллельно. В расчетной схеме учитывают сопротивления питающих

генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий (воздушных и кабельных), реакторов.

По расчетной схеме составляют схему замещения, в которой указывают сопротивления источников и потребителей и намечают точки для расчета токов короткого замыкания.

Для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий и коротких участков распределительной сети обычно учитывают только индуктивные сопротивления. При значительной протяженности сети (кабельной и воздушной) учитывают также их активные сопротивления, так как в удаленных точках короткого замыкания сказывается снижение ударного коэффициента.

Целесообразно учитывать активное сопротивление, если $r_{\Sigma} > x_{\Sigma}/3$, где r_{Σ} , x_{Σ} - суммарные активные и реактивные сопротивления до места короткого замыкания.

В схеме замещения все указанные сопротивления выражают в именованных (Ом) или в относительных единицах (обозначают «*» в индексе).

2.8.1 Система относительных единиц

На практике расчет ТКЗ в сетях высокого напряжения наиболее часто ведут в относительных единицах. При этом все расчетные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности.

За базисное напряжение принимают среднономинальные напряжения $U_n = 0,23; 0,4; 0,69; 3,15; 6,3; 10,5; 20; 37; 115; 230$ кВ. За базисную мощность $S_б$ принимают (исходя из условий) мощность системы, суммарную номинальную мощность генераторов электростанций или удобное число, кратное ста (100, 200... 1000 МВА). Базисный ток определяется по формуле (6, С. 1983,):

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б} \quad (2.75)$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		88

Реактивное и активное сопротивления в относительных единицах (обозначаемые звездочками в индексах) представляют собой отношение падения напряжения на данном сопротивлении при номинальном токе к номинальному напряжению (5, С. 211):

$$x_* = \frac{\sqrt{3}I_n x}{U_n} = \frac{xS_n}{U_n^2} \quad (2.76)$$

$$r_* = \frac{\sqrt{3}I_n r}{U_n} = \frac{rS_n}{U_n^2} \quad (2.77)$$

Сопротивление элементов системы электроснабжения дано в относительных единицах.

Относительное сопротивление источника по формуле (5, С.211):

$$x_{*б} = \frac{x_c S_{б}}{S_n} \quad (2.78)$$

Относительное сопротивление питающей линии по формуле (5, С. 211):

$$x_{*б} = \frac{x_0 l S_{б}}{U_{ср.л}^2} \quad (2.79)$$

где $U_{ср.л}$ - среднее номинальное напряжение линии, кВ;

x_0, l - соответственно удельное сопротивление и длина линии, км.

Относительное сопротивление трансформатора по формулам (5, С. 211):

$$x_{*б.тр} = \frac{0,01u_k \% S_{б}}{S_{н.тр}} \quad (2.80)$$

$$r_{*б.тр} = \frac{P_{кз} S_{б}}{S_{н.тр}} \quad (2.81)$$

где $S_{н.тр}$ - номинальная мощность трансформатора;

$P_{кз}$ - потери меди трансформатора, т. е. мощность короткого замыкания, кВт.

Относительное сопротивление реактора по формуле (5, С. 211):

$$x_{*б.р} = \frac{0,01x_p \% I_b U_n}{I_{н.р} U_b} \quad (2.82)$$

где $I_{н.р}$ - номинальный ток реактора.

Пример 13.

Рассчитать токи КЗ в точке K по данным рисунка 1.

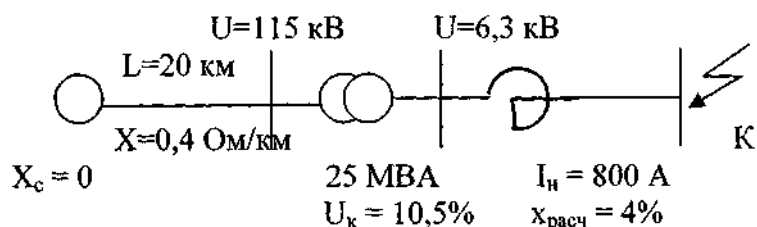


Рисунок 2.8.1 – Расчетная схема

Решение.

1) Задаемся базисной мощностью $S_b = 100$ КВА и базисными напряжениями $U_{б1} = 115$ кВ, $U_{б2} = 6,3$ кВ.

2) Составляем схему замещения.

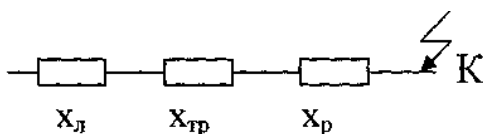


Рисунок 2.8.2 – Схема замещения

3) Определяем базисный ток по формуле (2.75):

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,175 \text{ кА}$$

4) Подсчитываем сопротивления питающей линии по формуле (2.79):

$$x_{*л} = \frac{x_0 l S_{\sigma}}{U_{cp.n}^2} = \frac{0,4 \cdot 20 \cdot 100}{115^2} = 0,061$$

сопротивление трансформатора по (2.80):

$$x_{*\delta.тр} = \frac{0,01 u_{\kappa} \% S_{\sigma}}{S_{н.тр}} = \frac{0,105 \cdot 100}{25} = 0,42$$

сопротивление реактора по (2.82):

$$x_{*\delta.p} = \frac{0,01 x_p \% I_{\delta} U_n}{I_{н.p} U_{\delta}} = \frac{0,04 \cdot 9,175 \cdot 6}{0,8 \cdot 6,3} = 0,44$$

5) Полное результирующее сопротивление до шин низкого напряжения силового трансформатора и до точки К:

$$x_{рез} = x_{*л} + x_{*тр} + x_{*p} = 0,061 + 0,42 + 0,44 = 0,921$$

6) Определяем значение токов короткого замыкания на шинах низкого напряжения силового трансформатора и в точке К по формуле (14.18) с. 205, (1):

$$I_{н.0} = \frac{I_{\delta}}{z_{рез}} = \frac{9,175}{0,921} = 9,96 \text{ кА}$$

7) Определяем ударный ток по формуле (2.72), где $\kappa_y = 1,8$

$$i_y = \kappa_y \sqrt{2} I_{но} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,96 = 25,3 \text{ кА}$$

8) Определяем значение I_y по формуле (2.74):

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		91

$$I_y = I_k \sqrt{1 + 2(k_y - 1)} = 9,96 \sqrt{1 + 2(1,8 - 1)} = 16,1 \text{ кА}$$

2.8.2 Расчет токов короткого замыкания в системах электроснабжения напряжением до 1000 В

Расчет токов короткого замыкания в системах электроснабжения напряжением до 1000 В требуется для проверки работы электроаппаратов и проводников в режиме сверхтоков, а также для проверки автоматического отключения линий в сетях до 1000 В с глухозаземленной нейтралью при возникновении замыканий на корпус.

В соответствии с ПУЭ по режиму КЗ в электроустановках напряжением до 1000 В проверяются только распределительные щиты, токопроводы и силовые шкафы. Стойкими при токах КЗ являются те аппараты и проводники, которые при расчетных условиях выдерживают воздействия этих токов, не подвергаясь электрическим, механическим и иным разрушениям. Для проверки коммутационной способности автоматов и предохранителей используется начальное значение периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания $I_{п0}$, кА по формуле (5, С. 217):

$$I_{п0} = \frac{U_{ср.н}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} \quad (2.83)$$

где $U_{ср.н}$ - среднее номинальное напряжение ступени, на которой находится точка короткого замыкания ($U_{ср.н} = 690, 525, 400, 230, 127 \text{ В}$);

r_{Σ}, x_{Σ} - суммарное активное и индуктивное сопротивления цепи короткого замыкания, мОм.

Активные и индуктивные сопротивления короткозамкнутой цепи определяются следующим образом:

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		92

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{T.T} + r_{K.B} + r_{Ш} + r_K + r_{каб} \quad (2.84)$$

$$x_{\Sigma} = x_T + x_{T.T} + x_{K.B} + x_{Ш} + x_{каб} + x_c, \quad (2.85)$$

где r_T , x_T - активное и индуктивное сопротивления понижающего трансформатора;

$r_{T.T}$, $x_{T.T}$ - активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока;

$r_{K.B}$, $x_{K.B}$ - активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей;

$r_{Ш}$, $x_{Ш}$ - активное и индуктивное сопротивления шинпроводов;

r_K - суммарное сопротивление различных контактных соединений;

$r_{каб}$, $x_{каб}$ - активное и индуктивное сопротивления кабелей.

Индуктивное сопротивление внешней системы до понижающего трансформатора, приведенное к ступени низшего напряжения, равно (6, С. 197):

$$x_c = \frac{x_c U_{cp.n}^2}{U_{cp.в}^2} \quad (2.86)$$

Здесь $U_{cp.в}^2$ - среднее номинальное напряжение ступени, соответствующей обмотке высшего напряжения трансформатора (6, С. 195):

$$x_c = \frac{U_{cp.в}^2}{S_{н.о}} \quad (2.87)$$

где $S_{н.о}$ - номинальная мощность отключения выключателя, установленного в сети питания понижающего трансформатора.

Значения r_T и x_T , мОм, принимаются по таблицам или определяются по формулам (5, С. 217):

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		93

$$r_T = \frac{\Delta P_k U_n^2}{S_n^2} ; \quad x_T = \sqrt{z_T^2 - x_T^2} ; \quad z_T = \frac{U_k U_n^2}{S_n} \quad (2.88)$$

где S_n - номинальная мощность трансформатора, кВА;

U_n - номинальное напряжение обмотки низшего напряжения, В

ΔP_k - потери короткого замыкания, кВт;

U_k - напряжение короткого замыкания, %,

Суммарное сопротивление различных контактных соединений r_k носит выраженный вероятностный характер и зависит от таких факторов, как состояние контактных поверхностей, степени затяжки болтов, силы сжатия пружины и др. При этом сопротивление контактных соединений может существенно влиять на ток трехфазного к.з., снижая его на 50 % и более.

Суммарное сопротивление контактов (активное) в соответствии с ПУЭ можно принимать:

- для распределительных щитов на подстанциях - 15 мОм;
- для первичных цеховых распределительных щитков и на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов трансформаторных подстанций или от магистралей, - 20 мОм;
- для вторичных цеховых распределительных пунктов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов, - 25 мОм;
- для аппаратуры, установленной непосредственно у приемников электрической энергии, получающих питание от вторичных распределительных пунктов, - 30 мОм.

При проектировании системы электроснабжения промышленных предприятий для проверки быстрого и надежного отключения однофазных к. з. в сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью (сеть 380/220 В) необходимо уметь рассчитывать минимальное значение тока однофазного КЗ $I_{п01}$. Очевидно, что при этом расчетная точка к. з. должна выбираться в конце каждого участка сети, защищаемого автоматом или предохранителем. В принятой проектной практике расчет однофазных к. з. для проверки их автоматического

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		94

отключения упрощается. В частности, ток однофазного к. з., кА, определяется лишь с учетом сопротивлений силового трансформатора и линий по формуле (5, С.197):

$$I_{н01} = \frac{U_{ср.н}}{\sqrt{3}(z_T / 3 + z_n)} \quad (2.89)$$

где $z_T/3$ - сопротивление фазы трансформатора, мОм;

z_n - полное сопротивление петли фаза-нуль линии от шин низшего напряжения трансформатора до точки к. з.

Для трансформаторов мощностью более 630 кВА сопротивление фазы трансформатора можно принять равным нулю.

Сопротивление, мОм, петли фаза-нуль состоит из ряда последовательно включенных сопротивлений и равно (5, С.215):

$$z_n = \sqrt{(r_\phi + r_0)^2 + (x_\phi + x_0 + x_n)^2} \quad (2.90)$$

где r_ϕ , r_0 - активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводов, мОм;

x_ϕ , x_0 - индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитного проводов, мОм;

x_n - сопротивление взаимной индукции петли фаза-нуль, мОм.

Активные и индуктивные сопротивления на единицу длины можно определить по таблицам.

Индуктивные сопротивления медных и алюминиевых проводов малы и ими можно пренебречь.

На основании расчета токов короткого замыкания проверяются предохранители и автоматические выключатели по предельно отключаемому току; шины примеряются на динамическую и термическую стойкость, если по причине наличия у автомата выдержки времени могут оказаться под действием

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		95

тока к. з. более одной секунды; трансформаторы тока напряжением до 1000 В на динамическую и термическую стойкость не проверяются при присоединении их к сетям, питаемым от трансформатора мощностью 1000 кВА.

Пример 14.

Определить ток короткого замыкания на шинах напряжения $U_{ном} = 0,4$ кВ. Трансформатор присоединен к щиту 0,4 кВ алюминиевыми шинами толщиной 50×5 и длиной 5 м через автомат АВМ-15. Расстояние между шинами 250 мм. Данные трансформатора $S_{н.т} = 630$ кВа; $u_k = 5,5\%$; $\Delta P = 8,5$ кВт. Т.т – 500/5.

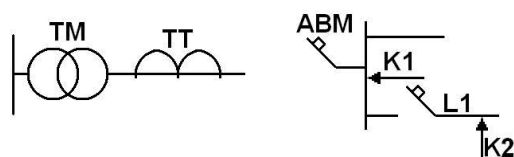


Рисунок 2.8.3 – Расчетная схема

Решение

1) Определяем сопротивление трансформатора мощностью 630 кВА по формулам (2.88):

$$r_T = \frac{\Delta P_k U_n^2}{S_n^2} = \frac{8,5 \cdot 0,4^2}{630^2} = 0,029 \text{ мОм}$$

$$z_T = \frac{U_k U_n^2}{S_n} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{630} = 0,14 \text{ мОм}$$

2) Определяем индуктивное сопротивление трансформатора по (2.86):

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{0,14^2 - 0,029^2} = 0,136 \text{ мОм}$$

Сопротивление трансформатора тока принимаем 500/5 $r_{т.т} = 0,05$ мОм; $x_{т.т} = 0,07$ мОм. по таблице 9.1 (5, С. 215).

Сопротивление автоматического выключателя принимаем АВМ-600 $r_{а.в} = 0,12$ мОм; $x_{а.в} = 0,084$ мОм. по таблице 9.2 (5, С. 215).

В качестве питающего кабеля применяем провод с алюминиевыми жилами сечением 70 мм^2 расстояние от трансформатора до распределительного щита 5 м. Сопротивление провода равно $r_0 = 0,18 \text{ мОм/м}$. $x_0 = 0,06 \text{ мОм/м}$

3) Определим активное сопротивление кабеля (9, С. 60):

$$R_k = r_0 \cdot L_k$$

где L_k – длина кабеля

$$R_k = 0,18 \cdot 5 = 0,9 \text{ мОм}$$

4) Определим индуктивное сопротивление кабеля по всей длине (9, С. 59):

$$X_k = x_0 \cdot L_k$$

$$X_k = 0,06 \cdot 5 = 3 \text{ мОм}$$

5) Определим активное сопротивление для алюминиевых плоских шин сечением $50 \times 5 \text{ мм}^2$ от трансформатора до РУ – 0,4 кВ при $r_0 = 0,142 \text{ мОм/м}$. $x_0 = 0,156 \text{ мОм/м}$ и длине 15 м. (9, С. 60)

$$r_{ш} = r_0 \cdot L_{ш}$$

где $L_{ш}$ – длина шины, м

$$r_{ш} = 0,142 \cdot 15 = 2,13 \text{ мОм}$$

6) Определим индуктивное сопротивление шины (9, С. 59)

$$x = x_0 \cdot L_{ш}$$

$$x_{ш} = 0,156 \cdot 15 = 2,34 \text{ мОм}$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		97

7) Определим общее сопротивление всего активного оборудования по (2.84):

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{TT} + r_a + r_{ш} + r_k$$

В соответствии с ПУЭ суммарное сопротивление контактов при КЗ около распределительного щита подстанции следует принять $r_k = 15$ мОм

$$r_{\Sigma} = 0,029 + 0,05 + 0,12 + 2,13 + 15 = 17,3 \text{ мОм}$$

8) Определяем общее индуктивное сопротивление (2.85)

$$x_{\Sigma} = x_T + x_{TT} + x_a + x_{ш}$$

$$x_{\Sigma} = 0,136 + 0,07 + 0,084 + 2,34 = 2,63 \text{ мОм}$$

9) Определим ток трехфазного короткого замыкания по формуле (2.83)

$$I_{кз} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}}$$

$$I_{кз} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{17,3^2 + 2,63^2}} = 12,5 \text{ кА}$$

10) Определим ток однофазного короткого замыкания по формуле (2.89)

$$I_{но} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{z_T}{3} + z_n \right)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{0,14}{3} + 25,5 \right)} = 8,6 \text{ кА}$$

2.9 Выбор электрооборудования подстанций и РУ, проверка его на действие ТКЗ

Прежде чем приступить выбору электрооборудования подстанций и распределительных устройств необходимо изучить § 9,3, 9.4 (5, С. 221-229)

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		98

«Действие токов короткого замыкания и ограничение их сил»; §73, 7.4 (6, С. 207-211), § 1.10, 1.11 (9, С. 68-79).

Токоведущие части (шины, кабели) и все виды аппаратов (выключатели, разъединители, предохранители, измерительные трансформаторы для электроустановок) выбираются в соответствии с вычисленными максимальными расчетными величинами (токами, напряжениями, мощностями отключения) для нормального режима и режима короткого замыкания. Для их выбора сравнивают указанные расчетные величины с допускаемыми значениями для токоведущих частей и высоковольтного оборудования. Составляют таблицу сравнения указанных расчетных и допустимых величин. При этом для обеспечения надежной безаварийной работы расчетные величины должны быть меньше допустимых.

Выбор шин. Выбор сечения шин производится по нагреву (по допустимому току). При этом учитываются не только нормальные, но и послеаварийные режимы, а также режимы в период ремонтов и возможность неравномерного распределения токов между секциями шин. Условие выбора по (5, С.225)

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}} \quad (2.91)$$

где $I_{\text{доп}}$ - допустимый ток на шины выбранного сечения с учетом поправки при расположении шин плашмя или температуре воздуха, отличной от принятой в таблицах ($\vartheta_{0.\text{ном}} = 25^\circ\text{C}$). В последнем случае по формуле равен:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.ном}} \sqrt{\frac{\vartheta_{\text{доп}} - \vartheta_0}{\vartheta_{\text{доп}} - \vartheta_{0.\text{ном}}}} \quad (2.92)$$

Для неизолированных проводов и окрашенных шин принято $\vartheta_{\text{доп}} = 70^\circ\text{C}$; $\vartheta_{0.\text{ном}} = 25^\circ\text{C}$, тогда по формуле:

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		99

$$I_{доп} = I_{доп.ном} \sqrt{\frac{70 - \vartheta_o}{45}} \quad (2.93)$$

где $I_{доп.ном}$ - допустимый ток по таблицам при температуре воздуха $\vartheta_{о.ном} = 25^\circ\text{C}$;

ϑ_o - действительная температура воздуха;

$\vartheta_{доп}$ - допустимая температура нагрева продолжительного режима (по ПУЭ для шин принято $+70^\circ\text{C}$).

Проверка шин на термическую стойкость при КЗ производится по условию (5, С. 225)

$$\vartheta_k \leq \vartheta_{к.доп} \quad (2.94)$$

$$\text{или } q_{min} \leq q \quad (2.95)$$

где ϑ_k - температура шин при нагреве током КЗ;

$\vartheta_{к.доп}$ - допустимая температура нагрева шин при КЗ;

q_{min} - минимальное сечение по термической стойкости;

q - выбранное сечение.

Механический расчет однополосных шин. Наибольшее удельное усилие при трехфазном КЗ, Н/м, определяется по формуле (9, С.69):

$$F^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \frac{i_y^{(3)2}}{a} \quad (2.96)$$

Так как расстояние между фазами значительно больше периметра шин $a \gg 2(b + h)$, то коэффициент формы $k_\phi = 1$.

Наибольшие электродинамические усилия возникают при трехфазном повреждении, поэтому в дальнейших расчетах учитывается ударный ток трехфазного КЗ. Индексы (3) для упрощения опускаются.

Равномерно распределенная сила F создает изгибающий момент, Н·м (шина рассматривается как многопролетная балка, свободно лежащая на опорах),

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		100

$$M = \frac{Fl^2}{10} \quad (2.97)$$

где l - длина пролета между опорными изоляторами шинной конструкции, м.

Напряжение в материале шины, возникающее при воздействии изгибающего момента, Мпа

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W} = \frac{Fl^2}{10W} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{i_y^2 l^2}{Wa} \quad (2.98)$$

где W - момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия, см³.

Шины механически прочны, если выполняется условие

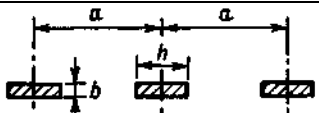

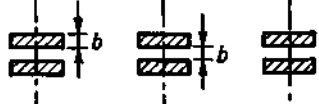

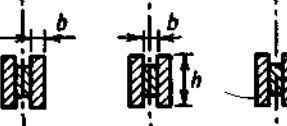


$$\sigma_{расч} \leq \sigma_{доп} \quad (2.99)$$

где $\sigma_{доп}$ - допустимое механическое напряжение в материале шин.

В электроустановках широко применяют шины прессованные (ГОСТ 15176 - 84) из алюминиевого сплава, закаленные и естественно состаренные (марка АД31Т) или закаленные и искусственно состаренные (марка АД31Т1). Согласно ПУЭ $\sigma_{доп} \leq 0,7 \sigma_{разр}$.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		01

Таблица 2.9.1 – Моменты сопротивления и инерции

Расположение шин	Момент инерции	Момент сопротивления
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$
	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{hb^2}{6}$
	$\frac{bh^3}{6}$	$\frac{bh^2}{3}$
	$\frac{hb^3}{6}$	$\frac{hb^2}{3}$
	$0,72b^3h$	$1,44b^2h$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$
	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$

Примечание: В расчетных формулах i - в амперах; l и a - в метрах; W - в кубических сантиметрах.

Пример 15.

Выбрать и проверить шины на динамическую устойчивость к токам короткого замыкания при расчетном токе нагрузки $I_n = 1400$ А, ударном токе $i_y = 25,5$ кА. Шины установлены на изоляторах плашмя, расстояние между фазами, 500 мм, расстояние между изоляторами в пролете 1200 мм.

Решение

1) Выбираем алюминиевые шины по расчетному току размером 100×8 мм² с допустимой нагрузкой по току

$$I_d = 1625 \text{ A} > I_n = 1400 \text{ A}.$$

2) Определяем момент сопротивления шин при установки их плашмя по формуле (9, С. 70):

$$\omega = \frac{0,8 \cdot 10^2}{6} = 13,3 \text{ см}^2$$

3) Определяем расчетное напряжение в металле шин согласно (2.98)

$$\sigma_p = \frac{1,76 \cdot 10^{-8} \cdot 1,2^2 \cdot 25500^2}{0,5 \cdot 13,3} = 2,48 \text{ МПа}$$

так как выполняется условие

$$\sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа} > \sigma_{\text{расч}} = 2,48 \text{ МПа}$$

шины динамически устойчивы.

Выбор гибких шин и токопроводов. В РУ 35 кВ и выше применяются гибкие шины, выполненные проводами АС. Гибкие токопроводы для соединения генераторов и трансформаторов с РУ 6...10 кВ выполняются пучком проводов, закрепленных по окружности в кольцах-обоймах. Два провода из пучка - сталеалюминевые - несут в основном механическую нагрузку от собственного веса, гололеда и ветра. Остальные провода - алюминиевые - являются только токоведущими. Сечения отдельных проводов в пучке рекомендуется выбирать возможно большими (500, 600 мм²), так как это уменьшает число проводов и стоимость токопровода.

Гибкие провода применяются для соединения блочных трансформаторов с ОРУ.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		03

Провода линий электропередач напряжением более 35 кВ, провода длинных связей блочных трансформаторов с ОРУ, гибкие токопроводы генераторного напряжения проверяются по экономической плотности тока по (5, С. 152):

$$S_3 = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{\text{эк}}} \quad (2.100)$$

где $I_{\text{норм}}$ - ток нормального режима (без перегрузок);

$j_{\text{эк}}$ - нормированная плотность тока, А/мм²; принимается по таблице 6.2 с. (5, С. 153).

Сечение, найденное по (2.100), округляется до ближайшего стандартного значения.

Проверка сечения на нагрев (по допустимому току) производится по (2.89):

Выбранное сечение проверяется на термическое действие тока КЗ по (2.92), где минимальное сечение проводника определяется по формуле, (5, С. 225):

$$g_k \leq g_{k.\text{доп}}; q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \leq q \quad (2.101)$$

При проверке на термическую стойкость проводников линий, оборудованных устройствами быстродействующего АПВ, должно учитываться повышение нагрева из-за увеличения продолжительности прохождения тока КЗ. Расщепленные провода ВЛ при проверке на нагрев в условиях КЗ рассматриваются как один провод суммарного сечения.

На электродинамическое действие тока КЗ проверяются гибкие шины РУ при $I_k^{(3)} \geq 20$ кА и провода ВЛ при $i_y > 50$ кА .

При больших токах КЗ провода в фазах в результате динамического взаимодействия могут настолько сблизиться, что произойдет схлестывание или пробой между фазами.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		104

Проверка по условиям короны необходима для гибких проводников при напряжении 35 кВ и выше. Разряд в короне возникает около провода при высоких напряженностях электрического поля и сопровождается потрескиванием и свечением. Правильный выбор проводников должен уменьшить действие короны до допустимых значений.

Разряд в виде короны возникает при максимальном значении начальной критической напряженности поля, кВ/см, и определяется по формуле:

$$E_0 = 30,3m \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right) \quad (2.102)$$

где m – коэффициент, учитывающий шероховатость провода (для многопроволочных проводов $m = 0,82$);

r_0 – радиус провода, см.

Напряженность электрического поля около поверхности нерасцепленного провода определяется по выражению, кВ/см

$$E = \frac{0,354U}{r_0 l q \frac{D_{cp}}{r_0}} \quad (2.103)$$

где U – линейное рабочее напряжение, кВ;

D_{cp} – среднее геометрическое расстояние между проводами фаз, см.

При горизонтальном расположении фаз

$$D_{cp} = 1,26 D$$

где D – расстояние между соседними фазами, см.

Провода не будут коронировать, если наибольшая напряженность поля у поверхности любого провода не более $0,9E_0$. Таким образом, условие образования короны можно записать в виде:

$$1,07 E \leq 0,9 E_0 \quad (2.104)$$

Марки неизолированных проводов приведены в справочных данных.

Пример 16.

Выбрать гибкие шины 110 кВ от сборных шин до выводов трансформатора ТДНС-40 МВА. $T_{\max} = 6000$ час. Токи на шинах 110 кВ $I_{п.0} = 14,2$ кА; $i_y = 34,6$ кА. Фазы расположены горизонтально с расстоянием между фазами 300 см.

Решение

1) Определяем расчетный ток на высокой стороне трансформатора по формуле (5, С.150):

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 210,2 A$$

2) Выбираем сечение по экономической плотности тока $j_{\text{эк}} = 1$ А/мм² по таблице 6.2 (5, С. 153)

$$q_s = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{210,2}{1} = 210,2 \text{ мм}^2$$

принимаем провод марки АС-240/32 мм², $s = 240$ мм², $d = 21,6$ мм, $I_{\text{доп}} = 605$ А.

3) Проверяем по допустимому току по условию (5, С. 150):

$$I_{\max} = 210,2 \text{ А} \leq I_{\text{доп}} = 605 \text{ А}$$

4) Выбранное сечение на термическое действие тока КЗ не проводится, т.к. шины выполнены голым проводом на открытом воздухе.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		06

4) Проверяем шины по условиям коронирования, по (2.102) начальная критическая напряженность

$$E_0 = 30,3m \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right) = 30,3 \cdot 0,82 \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,08}} \right) = 32 \text{кВ} / \text{см}$$

5) Определяем напряженность вокруг провода по (2.103), кВ/см:

$$E = \frac{0,354U}{r_0 l q \frac{D_{cp}}{r_0}} = \frac{0,345 \cdot 115}{1,08 \cdot l q \frac{1,26 \cdot 300}{1,08}} = 14,6 \text{кВ} / \text{см}$$

б) Выполняем условие проверки по (2.104)

$$1,07 E \leq 0,9 E_0$$

$$1,07 \cdot 14,6 = 15,622 \text{кВ} / \text{см} < 0,9 \cdot 32 = 28,8 \text{кВ} / \text{см}$$

таким образом, провод АС-240/32 по условиям короны проходит.

Выбор кабелей. Кабели, как и шины, выбирают по номинальным параметрам (току, напряжению) и проверяют на термическую устойчивость при коротких замыканиях.

Максимально допустимыми кратковременными превышениями температуры $t_{доп}$ при коротких замыканиях считаются: для силовых кабелей до 10 кВ с медными и алюминиевыми жилами и бумажной изоляцией - 200° С, на 20...35 кВ с медными жилами - 220° С.

Сечение кабеля на термическую устойчивость к токам короткого замыкания проверяют по формуле по формуле (5, С. 225):

$$S_{min} = \frac{I_{кз} \sqrt{t_{np}}}{C} \quad (2.105)$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		107

где $c = A_k - A_{нач}$ – коэффициент, соответствующий разности выделенной теплоты в проводнике после и до короткого замыкания (для кабелей напряжением 6...10 кВ с медными жилами $C = 141$; с алюминиевыми илами $C = 85$; для алюминиевых шин $C = 88$; для медных шин $C = 714$ для стальных шин $C = 60$).

$t_{пр} = t_{защ} + t_{выкл}$ – действительное время протекания ТКЗ.

Пример 17.

Выбрать кабель марки ААШв на напряжение 6 кВ по расчетному току нагрузки $I_n = 95$ А. Проверить кабель на термическую устойчивость к токам короткого замыкания при $I_k = 4500$ А. Расчетное (приведенное) время действия тока короткого замыкания $t_{пр} = t_{вкл} + t_{защ} = 0,15 + 0,45 = 0,6$ с.

Решение

1) Определим минимальное сечение кабеля, согласно (2.105):

$$S_{\min} = \frac{4500 \sqrt{0,6}}{85} = 41 \text{ мм}^2$$

выбираем кабель сечением 50 мм^2 с $I_{доп} = 110 \text{ А} > I_n = 95 \text{ А}$.

условие выбора проводника по допустимому нагреву электрическим током выполняется. Выбранный кабель термически устойчив.

Выбор высоковольтных выключателей напряжением более 1000 В. Такие выключатели выбирают по номинальным напряжению и току, конструктивному выполнению и месту установки, отключаемому току и мощности.

Высоковольтные аппараты выбирают на основании сравнения каталожных данных с соответствующими расчетными данными.

Условие устойчивости к токам короткого замыкания проверяют сравнением величины отключаемого выключателем тока $I_{откл}$ при данном напряжении с действующим током короткого замыкания I_k , для времени t , равного сумме времени срабатывания релейной защиты $t_{защ}$ и собственного времени действия выключателя $t_{выкл}$.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		108

При выборе высоковольтного выключателя должны выполняться следующие условия, указанные (5, С. 227) или (6, С. 208-209):

$$U_y \leq U_{\text{НОМ}} \quad (2.106)$$

$$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{НОМ}}$$

$$i_y \leq i_{\text{ДИН}}$$

$$I_k \leq I_{\text{ОТКЛ}}$$

$$B_k = I_k^2 t_{\text{пр}} \leq I_t^2 t_{\text{тер}}$$

$$S_k = \sqrt{3} U I_k \geq S_{\text{ОТКЛ}}$$

Пример 18.

Выбрать масляный выключатель для линии 6 кВ при $I_{\text{макс}} = 802,3 \text{ А}$; $I_k = 6,0 \text{ кА}$, $i_y = 8,8 \text{ кА}$, $t_{\text{пр}} = 5 \text{ с}$.

Решение

Выбираем высоковольтные масляный выключатель типа ВМПЭ-10 на ток 1600 А. Составляем сравнительную таблицу расчетных и каталожных данных, которые должны быть выше соответствующих расчетных данных.

Таблица 2.9.2 – Выбор выключателя высокого напряжения

Параметры	Расчетные данные	Каталожные данные
1) номинальное напряжение	$U_y = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$
2) номинальный длительный ток	$I_{\text{макс}} = 802,3 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 1600 \text{ А}$
3) допустимый ударный ток	$i_y = 8,8 \text{ кА}$	$i_{\text{макс}} = 52 \text{ кА}$
4) ток короткого замыкания	$I_k = 6,0 \text{ кА}$	$I_{\text{ОТК}} = 20 \text{ кА}$
5) термическая устойчивость	$I_k^2 t_{\text{пр}} = 6,0^2 \cdot 5 = 180 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_t^2 t = 20^2 \cdot 8 = 3200 \text{ кА}^2\text{с}$
6) отключающая способность	$S_k = \sqrt{3} U I_k = 1,73 \cdot 6 \cdot 6,0 = 62,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}$	$S_{\text{ОТК}} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 20 = 2076 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ

Лист

09

Выбор разъединителей. Разъединитель – это контактный коммутационный аппарат, предназначенный для отключения и включения электрической цепи без тока или с незначительным током, который для обеспечения безопасности имеет между контактами в отключенном положении изоляционный промежуток.

Разъединители играют важную роль в схемах электроустановок, от надёжности их работы зависит надёжность работы всей электроустановки, поэтому к ним предъявляются следующие требования:

- электродинамическая и термическая стойкость при протекании токов короткого замыкания;
- создание видимого разрыва в воздухе;
- исключение самопроизвольных отключений;
- чёткое включение и отключение при наихудших условиях работы (обледенение, снег, ветер)

Разъединители устанавливаемые в открытых распределительных устройствах, должны обладать соответствующей изоляцией и надёжно выполнять свои функции в неблагоприятных условиях окружающей среды.

При выборе разъединителя должны выполняться условия (5, С. 227) или, (6, С. 209):

$$U_y \leq U_{\text{ном}} \quad (2.107)$$

$$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$i_y \leq i_{\text{дин}}$$

$$B_k = I_k^2 t_{\text{пр}} \leq I_t^2 t_{\text{тер}}$$

Марки разъединителей можно принять по справочным данным.

2.10 Расчет и выбор питающей сети

Кабели широко применяются в электроустановках. Потребители 6...10 кВ как правило, получают питание по кабельным линиям, которые сначала прокладывают в кабельных туннелях в распределительном устройстве, а затем в

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		10

земле (в траншеях). Для присоединения потребителей 0,4 кВ цехов к шинам вводных устройств используют кабели 0,4 кВ. Питающим кабелем считается кабель, который идет от КПП до цеха или здания.

Расчётный ток определяется по формуле (5. С. 150):

$$I_p = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} \quad (2.108)$$

Затем выбирается марка и сечение кабеля и проверяется по условию выбора сечения проводника по допустимому току нагрева (5, С. 150):

$$I_d > I_{расч} \quad (2.109)$$

Кабель проверяется на потерю напряжения по формуле (5, С. 144):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I \cdot L}{U_n} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \quad (2.110)$$

где I – расчётный ток распределительного устройства, А;

U_n – номинальное напряжение, В;

L – длина кабеля, км;

r_0 – сопротивление по постоянному току, Ом/км;

x_0 – индуктивное сопротивление линии, Ом/км.

Величины допустимых потерь напряжения не нормируются. Однако, учитывая допустимые нормируемые отклонения напряжения от номинального у электроприемников и возможности его регулирования на подстанциях, можно считать, что потеря напряжения в силовых сетях до 1000 В не должна превышать 5..6 %. В послеаварийном режиме, до восстановления нормального питания, допустимая потеря напряжения может быть принята большей на 4...5 %.

Далее кабель проверяется на температуру нагрева в нормальном режиме по

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		11

формуле:

$$\tau_{нач} = \tau_0 + (\tau_{доп} - \tau_0) \left(\frac{I_{ном}}{I_{доп}} \right)^2 \quad (2.111)$$

где τ_0 – температура окружающей среды;

$\tau_{доп}$ – допустимая температура при нормальном режиме;

$I_{доп}$ – допустимый ток для выбранного кабеля, А;

Пример 19.

Выбрать питающий кабель для цеха, нагрузки которого рассчитаны в примере 7. Цех расположен от шин подстанции 6/0,4 кВ на расстоянии 100 м. Проверить кабель на потерю напряжения.

Решение

1) Определим расчетный ток по формуле (2.108):

$$I = \frac{122,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 177 \text{ А}$$

2) Выбираем кабель: марки АВВГ (3×35); $I_{доп} = 180$ А, при выборе должно выполняться условие (2.109):

$$I_{доп} = 180 \text{ А} > I_p = 177 \text{ А}$$

Условие выполняется.

3) Проверим кабель на потерю напряжения по формуле (2.110):

$$\Delta U = \frac{1,73 \cdot 100 \cdot 177 \cdot 0,1}{380} (0,88 \cdot 0,8 + 0,06 \cdot 0,6) = 5,96\%$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		12

что в пределах допустимого.

4) Проверяем на температуру нагрева в нормальном режиме по формуле (2.111):

$$\tau_{нач} = \tau_0 + (\tau_{дон} - \tau_0) \left(\frac{I_{ном}}{I_{дон}} \right)^2 = 25 + (65 - 25) \left(\frac{177}{180} \right)^2 = 63,6^0 \leq 65^0$$

Условие выполняется.

2.11 Выбор схемы электроснабжения цеха, способа прокладки проводов и кабелей

При выборе схемы электроснабжения, типа силовых сборок, проводов (кабелей) и способа их прокладки, следует принимать во внимание что схема силовой сети определяется технологическим процессом производства, категорией надежности электроснабжения, взаимным расположением цеховых трансформаторных подстанций или ввода питания и электроприемников, их единичной установленной мощностью и размещением по объектам. Схема должна быть проста, безопасна и удобна в эксплуатации, экономична, удовлетворять характеристики окружающей среды, обеспечивать применение промышленных методов монтажа.

Схемы сетей могут быть радиальными, магистральными и смешанными – с односторонним или двусторонним питанием.

Радиальные схемы характеризуются тем, что от источника питания отходят линии, питающие крупные электроприемники или групповые распределительные пункты, от которых в свою очередь, отходят самостоятельные линии, питающие прочие мелкие электроприемники. Радиальные схемы применяют для питания сосредоточенных нагрузок большой мощностью, при неравномерном размещении приемников в цехе или группами на отдельных его участках, а также для питания приемников во взрывоопасных, пожароопасных и пыльных помещениях. Выполняются радиальные схемы кабелями или проводами в трубах или коробах.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		13

Радиальные схемы обеспечивают высокую надежность питания; в них легко могут быть применены элементы автоматики. Однако радиальные схемы требуют больших затрат на установку распределительных щитов, проводку кабеля и проводов.

Магистральные схемы с распределительными шинопроводами применяются при питании приемников одной технологической линии или при равномерно распределенных по площади цеха приемниках. Такие схемы выполняются с применением шинопроводов, кабелей и проводов.

Достоинствами магистральных схем является упрощение щитов подстанции; высокая гибкость сети, использование унифицированных элементов.

К недостаткам магистральных сетей следует отнести то, что при повреждении магистральной сети отключаются все потребители, питаемые от нее.

Учитывая особенности радиальных и магистральных сетей, обычно применяют смешанные схемы электрических сетей в зависимости от характера производства, условий окружающей среды и т. д.

Магистралы могут присоединяться к распределительным щитам подстанций или к силовым РП либо непосредственно к трансформатору по схеме блока трансформатора - линия.

Силовые распределительные щиты типа ШС-0,4 предназначены для ввода, учета и распределения электроэнергии к однофазным и трехфазным потребителям; ЩО – осветительные щиты для питания сетей освещения.

Щиты обеспечивают:

- 1) ввод распределения электроэнергии и защиту от перегрузок и коротких замыканий каждого фидерного выхода;
- 2) учет энергии в трехфазной и однофазной цепях потребления – счетчик прямого включения (без ТТ);
- 3) защиту людей от поражения электрическим током, молниезащиту и защиту от токов утечки на землю, что позволяет предотвратить возникновение пожаров в связи с нарушением изоляции электропроводки.

Трехфазные сети выполняются трёхпроводными на напряжение свыше 1000 В и четырёхпроводными - до 1000В. Нулевой провод в четырёхпроводной сети обеспечивает равенство фазных напряжений при неравномерной нагрузке фаз однофазных электроприемников.

Трехфазные сети на напряжениях 380/220 В позволяют питать от одного трансформатора трех- и однофазные установки.

Вид электропроводки (открытая, скрытая, наружная) и способы прокладки кабеля (провода) выбирают исходя из

- условий окружающей среды;
- назначения, конструктивных и архитектурных особенностей помещения;
- требований пожарной безопасности;
- требований электробезопасности;

Согласно требованиям ПУЭ, выбор электропроводок и способа прокладки следует осуществлять в соответствии с таблицей 2.11.1 и 2.11.2.

Таблица 2.11.1 - Выбор видов электропроводок, способов прокладки и проводов и кабелей

Условия окружающей среды	Вид электропроводки и способ прокладки	Провода и кабели
Открытые электропроводки		
Сухие и влажные помещения	На роликах и клипах	Незащищенные одножильные провода
Сухие помещения	То же	Скрученные двухжильные провода
Помещения всех видов и наружные установки	На изоляторах, а также на роликах, предназначенных для применения в сырых местах. В наружных установках ролики для сырых мест (больших размеров) допускается применять только в местах, где исключена возможность непосредственного попадания на электропроводку дождя или снега (под навесами)	Незащищенные одножильные провода
Наружные установки	Непосредственно по поверхности стен, потолков и на струнах, полосах и других несущих конструкциях	Кабель в неметаллической и металлической оболочках

Помещения всех видов	То же	Незащищенные и защищенные одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической и металлической оболочках
Помещения всех видов и наружные установки	На лотках и в коробах с открываемыми крышками	То же
Помещения всех видов и наружные установки (только специальные провода с несущим тросом для наружных установок или кабели)	На тросах	Специальные провода с несущим тросом. Незащищенные и защищенные одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической и металлической оболочках

Скрытые электропроводки

Помещения всех видов и наружные установки	В неметаллических трубах из сгораемых материалов (несамозатухающий полиэтилен и т. п.). В замкнутых каналах строительных конструкций. Под штукатуркой. Исключения: 1. Запрещается применение изоляционных труб с металлической оболочкой в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках. 2. Запрещается применение стальных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках	Незащищенные и защищенные, одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической оболочке
Сухие, влажные и сырые помещения	Замоноличено в строительных конструкциях при их изготовлении	Незащищенные провода

Открытые и скрытые электропроводки

Помещения всех видов и наружные установки	В металлических гибких рукавах. В стальных трубах (обыкновенных и тонкостенных) и глухих стальных коробах. В неметаллических трубах и неметаллических глухих коробах из трудносгораемых материалов. В изоляционных трубах с металлической оболочкой. Исключения: 1. Запрещается применение изоляционных труб с металлической оболочкой в сырых, особо сырых помещениях и наружных	Незащищенные и защищенные одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической оболочке
---	---	---

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ

Лист

16

	установках. 2. Запрещается применение стальных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках	
--	---	--

При наличии одновременно двух или более условий, характеризующих окружающую среду, электропроводка должна соответствовать всем этим условиям.

Таблица 2.11.2 - Выбор видов электропроводок и способов прокладки проводов и кабелей по условиям пожарной безопасности

Вид электропроводки и способ прокладки по основаниям и конструкциям		Провода и кабели
из сгораемых материалов	из несгораемых или трудносгораемых материалов	
Открытые электропроводки		
На роликах, изоляторах или с подкладкой несгораемых материалов ¹	Непосредственно	Незащищенные провода; защищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых материалов
Непосредственно	-//-	Защищенные провода и кабели в оболочке из несгораемых и трудносгораемых материалов
В трубах и коробах из несгораемых материалов	В трубах и коробах из трудносгораемых и не сгораемых материалов	Незащищенные и защищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых, трудносгораемых материалов
Скрытые электропроводки		
С подкладкой несгораемых материалов ¹ и последующим оштукатуриванием или защитой со всех сторон сплошным слоем других несгораемых материалов	Непосредственно	Незащищенные провода; защищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых материалов
С подкладкой несгораемых материалов ¹	-//-	Защищенные провода и кабели в оболочке из трудносгораемых материалов
Непосредственно	-//-	То же из несгораемых
В трубах и коробах из трудносгораемых материалов - с подкладкой под трубы и короба несгораемых материалов ¹ и	В трубах и коробах: из сгораемых материалов - замоноличенно, в бороздах и т. п., в сплошном слое	Незащищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых, трудносгораемых и несгораемых материалов

последующим заштукатуриванием ²	несгораемых материалов ³	
То же из несгораемых материалов -непосредственно	То же из трудносгораемых и несгораемых материалов -непосредственно	

¹ Подкладка из несгораемых материалов должна выступать с каждой стороны провода, кабеля, трубы или короба не менее чем на 10 мм.

² Заштукатуривание трубы осуществляется сплошным слоем штукатурки, алебастра и т. п. толщиной не менее 10 мм над трубой.

³ Сплошным слоем несгораемого материала вокруг трубы (короба) может быть слой штукатурки, алебастрового, цементного раствора или бетона толщиной не менее 10 мм.

2.12 Расчет и выбор распределительной сети и ее защиты

2.12.1 Распределительная сеть выполняется проводом или кабелем, проложенными в трубе, в полу, в лотках, коробах, на кронштейнах и п.т. Сечение провода зависит от нагрузки потребителя и выбирается по току.

Расчетный ток жилы кабеля определяем по формуле расчетного тока (5, С. 273):

$$I_{расч} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}cos\varphi} \quad (2.112)$$

где P_n – номинальная мощность электроприемника, кВт;

U_n – номинальное напряжение, кВ;

$cos\varphi$ – коэффициент мощности.

По расчетному току выбираем по таблице из ПУЭ (таблицы 1.3.1...1.3.24) ближайшее стандартное сечение с допустимым током $I_{доп}$. Выбранные сечения проводов отходящих линий, должны удовлетворять условию нагрева провода (2.109) $I_{доп} > I_p$.

Все выбранные провода удовлетворяют условно, т.к. расчетный ток провода, во всех случаях, меньше, чем допустимый ток провода.

Выбранные сечения проводов проверяем по допустимому падению напряжения. В нормальном режиме сечение и длина кабеля должны обеспечивать отклонения напряжения на зажимах электродвигателей, должно быть не более 5%. Падение напряжения в проводе определяется по формуле (2.110).

Провода и кабели, выбранные по номинальному или максимальному току, в нормальном режиме могут испытывать нагрузки, значительно превышающие допустимые из-за перегрузок электроприемников, а так же при однофазных и межфазных коротких замыканиях, поэтому как электроприемники, так и участки сети должны защищаться защитными аппаратами: автоматическими выключателями и магнитными пускателями.

Главные функции аппаратуры управления и защиты: включение и отключение электроприемников и электрических цепей, электрическая защита их от перегрузки коротких замыканий, понижения напряжения или самозапуска, регулирование числа оборотов электродвигателей, электрическое торможение.

В качестве аппаратов защиты линии применяются предохранители с плавкими вставками и автоматические выключатели с тепловым и электромагнитным реле.

2.12.2 Первым защитным аппаратом, получившим широкое применение, стал предохранитель с плавкой вставкой. Его характеристика хорошо согласуется с характеристикой допустимого тока нагрузки.

Другие достоинства плавких предохранителей – простота, дешевизна, отсутствие необходимости технического обслуживания. Но они обладают и существенными недостатками:

- однократность действия и необходимость замены после каждого срабатывания;

- ограничения по току нагрузки, рабочему напряжению и отключающей мощности;

- сложность проверки соответствия заданной уставке;
- возникновение неполнофазного режима питания нагрузки при перегорании одного или двух предохранителей.

Изменение характеристики предохранителя в зависимости от температуры окружающей среды можно отнести как к недостаткам, так и к достоинствам. Достоинство - характеристика изменяется по тем же законам, что и характеристика допустимого тока защищаемого элемента, недостаток – трудность учета этого фактора в расчетах.

Условия выбора предохранителя в трёхфазных цепях (нагрузки):

1) Для трёхфазного электроприёмника без пусковых токов (нагреватель и др.) плавкая вставка не должна отключать длительный ток нагрузки (5, С. 266):

$$I_{п.в} \geq I_{дл.расч} \quad (2.113)$$

Для единичных электроприёмников $I_p = I_n$; для группы электроприёмников $I_p = I_{max}$.

2) Для трёхфазного электроприёмника с пусковым током (эл. двигатель) плавкая вставка не должна перегорать при кратковременных пиковых нагрузках, связанных спусковыми токами электроприемников (5, С. 267):

$$I_{п.в} \geq I_{пик}/\alpha = K_{п} I_{ном}/\alpha \quad (2.114)$$

где $I_{пик}$ – пиковый ток линии, питающий группу электродвигателей, А;

$K_{п} = 5...8$ (обычно 7) – коэффициент пуска ЭД ($I_{пуска} = K_{п} I_{ном}$);

α – коэффициент тяжести пуска: 1,6 – тяжёлый, 2 – средний, 2,5 – лёгкий пуск.

При этом должно выполняться неравенство:

$$I_{кз} \geq 3 I_{п.в} \quad (2.115)$$

где $I_{кз}$ - ток короткого замыкания (в защищаемом участке цепи)

Пример 20.

Рассчитать электрическую линию для питания трехфазного электродвигателя мощностью 10 кВт при напряжении питающей сети 220 В и протяженности линии 45 м. Коэффициент мощности двигателя $\cos \varphi = 0,97$. Условия прокладки линии в трубе и материал - алюминий. Выбрать предохранители и токи плавких вставок для защиты линии от токов короткого замыкания, проверить линию на потерю напряжения.

Решение

1) Определим номинальный ток двигателя по формуле (2.112):

$$I_{расч} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 0,97} = 33,3 \text{ А}$$

2) По таблице длительно допустимых токовых нагрузок на провода и кабели с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией с алюминиевыми жилами в столбце (один трехжильный в трубе) находим ближайший (с превышением) допустимый ток $I_{доп} = 38 \text{ А}$ для сечения $s = 10 \text{ мм}^2$. Принимаем сечение проводов $s = 10 \text{ мм}^2$, так как условие (2.109) соблюдено:

$$I_{доп} = 38 \text{ А} > 33,3 \text{ А} = I_{расч}$$

3) Проверим выбранный кабель на потерю напряжения:

по таблице определяем для $s = 10 \text{ мм}^2$ $r_0 = 3,12 \text{ Ом/км}$. Для всех сечений и материалов линий напряжением до 1000В можно брать $x_0 = 0,35 \text{ Ом/км}$.

$$\Delta U \% = \frac{1,73 \cdot 100 \cdot 33,3 \cdot 0,045}{220} \cdot (3,12 \cdot 0,79 + 0,35 \cdot 0,613) \cong 3,2\%$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		21

допустимая потеря напряжения 5 %.

4) Определяем ток плавкой вставки по условию (2.114):

$$I_{п.вст.} = \frac{I_{пуск}}{2,5} = \frac{I_n \cdot K_i}{2,5} = \frac{33,3 \cdot 7}{2,5} = 93,24 \text{ A}$$

По таблице принимаем стандартную плавкую вставку на ток $I_{п.вст} = 100 \text{ A}$ для предохранителя ПН2-250, номинальный ток патрона 250 А.

5) Проверяем выбранное сечение на защиту от токов короткого замыкания по (2.115):

$$\frac{I_{п.вст.}}{I_{дон}} = \frac{100}{38} = 2,6 \leq 3$$

Условие соблюдается, линия от действия токов короткого замыкания защищена.

2.12.3 Более сложное защитное устройство – автоматический выключатель, в повседневной практике именуемый автоматом. Простейшие из них АП-50 и тому подобные имеют два элемента: тепловой, действующий на отключение с выдержкой времени, зависящей от величины тока, и электромагнитный, отключающий автомат практически мгновенно при достижении током определенной величины.

Характеристика теплового элемента хорошо согласуется с характеристикой допустимого тока защищаемого элемента и защитной характеристикой предохранителя. Отсечка вступает в действие при существенном превышении тока над номинальным током автомата и отключает нагрузку без выдержки времени. Автоматические выключатели имеют возможность многократного действия, значительно больший допустимый ток нагрузки и отключающую мощность, возможна достаточно точная калибровка, отключение нагрузки выполняется одновременно тремя фазами. Существуют автоматы с дистанционным и автоматическим управлением, что позволяет быстро

восстанавливать питание отключенных потребителей. К недостаткам относится ограничение по рабочему напряжению, ограничение по отключаемой мощности, разброс в параметрах срабатывания защитных элементов.

При выборе автоматов должны соблюдаться следующие условия:

1) номинальный ток автомата не должен быть меньше расчетного (5, С. 269):

$$I_{н.а} \geq I_p \quad (2.116)$$

2) уставка тока мгновенного срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя принимается по пиковому току линии или по пусковому току электроприемника из условия (5, С. 269):

$$I_{у.э} \geq (1,25 \div 1,5) I_{пик} \quad (2.117)$$

3) уставки тепловых расцепителей с нерегулируемой обратозависимой от тока характеристикой выбираются по (5, С. 270). Для тепловых расцепителей с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой должно соблюдаться условие:

$$I_{у.т} \geq 1,6 I_p \quad (2.118)$$

Пиковый ток ответвления, идущего к одиночному двигателю, равен его пусковому току

$$I_{пик} = I_{пус} \quad (2.119)$$

Пиковый ток линии, питающей группы токоприемников (более трех), определяется из выражения

$$I_{\text{пик}} = \kappa_n I_{\text{н.б}} + \sum I'_{\text{ном}} \quad (2.120)$$

где $I_{\text{н.б}}$ - номинальный ток двигателя, имеющего наибольший пусковой ток, А;
 $\sum I'_{\text{н}}$ - сумма номинальных токов всех остальных двигателей группы без наибольшего двигателя, А;

$\kappa_{\text{п}} = I_{\text{пус}}/I_{\text{н.б}}$ - кратность пускового тока двигателя, имеющего пусковой ток.

Если автоматы установлены в закрытых шкафах, номинальный ток автомата, теплового или комбинированного расцепителя уменьшается до 85 % номинальных значений, указанных в каталогах. Технические данные автоматов приведены в таблицах (10).

Пример 21.

Рассчитать распределительную сеть для электроприемников, указанных в примере 9.

Решение

1) Определим расчетный ток для выбора сечения провода для электродвигателя компрессорной установки по формуле (2.112):

$$I_p = \frac{28}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 53,24 \text{ А}$$

2) Определим сечение кабеля по условию нагрева в зависимости от длительно допустимой токовой нагрузки по условию (2.109):

$$I_{\text{д}} = 60 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 53,24 \text{ А}$$

выбираем сечение провода 16 мм^2 , марка кабеля АВВГ $4 \times 6 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$.

3) При выборе автоматов должны соблюдаться условия (2.116)...(2.118):

$$I_{\text{н.а}} = 100 \text{ А} \geq I_p = 53,24 \text{ А}$$

$$I_{\text{у.т}} = 100 \text{ А} \geq 1,6 \cdot 53,24 = 85,2 \text{ А}$$

$$I_{отс} = 12 I_{н.т} = 12 \cdot 100 = 1200 \text{ А} \geq 1,5 \cdot 7 \cdot 53,24 = 560 \text{ А}$$

Так как условие выполняется, выбираем автомат серии АЕ-2000

$$I_n = 100 \text{ А}; I_{у.т} = 100 \text{ А}; I_{отс} = 1200 \text{ А}.$$

Остальные расчеты сводим в таблицу.

Таблица 2.12.1– Расчет и выбор распределительной сети и защитной аппаратуры

Наименование	I_p А	Марка и сечение кабеля мм ²	$I_{доп}$ А	серия АВ	$I_{н.а}$ А	$I_{у.т}$ А	$I_{отс}$ А
Компрессорная установка	53,24	АВВГ 4×6	60	АЕ-2000	100	100	1200
Станок фрезерный	13,29	АВВГ 4×4	27	АЕ-2000	25	25	300
Станок токарный	16,20	АВВГ 4×4	27	АЕ-2000	63	32	384
Печь индукционная	34,77	АВВГ 4×6	35	АЕ-2000	100	63	756
Кран мостовой, ПВ = 25%	45,63	ВВГ 4×10	55	АЕ-2000	100	80	960
Вентиляторы вытяжек	7,6	АВВГ 4×4	27	АЕ-2000	25	16	192

2.13 Расчет и выбор магистральной силовой сети и ее защиты

Схемы цеховых сетей делят на магистральные и радиальные. Линию цеховой электрической сети, отходящую от распределительного устройства низшего напряжения цеховой ТП и предназначенную для питания отдельных

наиболее мощных приемников электроэнергии и распределительной сети цеха, называют главной магистральной линией. Главные магистрали рассчитаны на большие рабочие токи (до 6300 А); они имеют небольшое количество присоединений.

Магистральные электрические сети выполняются изолированными проводами, кабелями и шинами. В отдельных случаях применяются голые провода. Род и способ прокладки сети должны соответствовать:

- а) состоянию окружающей среды;
- б) месту прокладки сети;
- в) принятой схеме сети.

Сечения проводников цеховых сетей выбирается:

- 1) по условиям нагрева током нагрузки;
- 2) по условиям защиты от токов КЗ и перегрузки;
- 3) по условиям механической прочности.

Выбранные сечения проводов проверяются:

- 1) по допустимой потере напряжения в сети рабочем режиме, в период прохождения по сети пусковых токов и в аварийном режиме;
- 2) по экономической плотности тока;
- 3) на динамическую и термическую устойчивость при токах КЗ.

Выбор сечений проводников по условиям нагрева производится следующим образом:

1) Определяют расчетный ток нагрузки.

а) За расчетный ток нагрузки принимается получасовая максимальная токовая нагрузка данного элемента сети за максимально загруженную смену и вычисляется по формуле (2.112) для электроприемников, имеющих в установке одиночный двигатель

б) Для электроприемников многодвигательного привода

$$I_{расч} = \frac{\Sigma P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi} \quad (2.121)$$

где ΣP - установленные мощности всех двигателей.

2) Исходя из условий нагрева, по таблицам выбирают минимально допустимое сечение линии так, чтобы было соблюдено условие (2.109).

3) Выбор защиты проводников. Провода и кабели, выбранные по номинальному или максимальному току, в нормальном режиме могут испытывать нагрузки, значительно превышающие допустимые из-за перегрузок электроприемников, а также при однофазных и межфазных коротких замыканиях, поэтому как электроприемники, так и участки сети должны защищаться защитными аппаратами: плавкими предохранителями, автоматическими выключателями, магнитными пускателями.

Плавкую вставку предохранителя выбирают из условий (2.113) или (2.114).

Уставку расцепителя автомата для защиты или для включения-выключения электроприемника выбираю исходя из условий (2.116), (2.117) и (2.118).

Для магистральных шинопроводов для защиты будет использоваться автоматические выключатели, так как для проходимых через них токов нет предохранителей.

4) Проверка выбранных проводников. Проверку проводников для силовых цепей производят по условиям (2.115).

Пример 22.

Рассчитать магистральную сеть для электроприемников, указанных в примере 9.

Решение

1) Распределим нагрузку на силовых щитах следующим образом:

№ щита	1	2	3	4
Потребитель	Компрессорные установки	Станки	Кран мостовой	Печь индукционная, вентиляторы, вытяжек
P_y , кВт	56,0	62,5	15,0	36,0
$\cos \varphi$	0,8	0,5	0,5	0,6

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ

Лист

27

2) Определим расчетный ток группы электроприемников, питающихся от щита № 1 по формуле (2.112):

$$I_p = 56,0/\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 = 106,5 \text{ A}$$

3) Определим сечение кабеля по условию нагрева в зависимости от длительно допустимой токовой нагрузки по условию (2.109):

$$I_{\text{доп}} = 120 \text{ A} > I_p = 106,5 \text{ A};$$

В соответствии с ПУЭ выбираем сечение провода 16 мм², марка провода ВВГ 5×35 мм², $I_{\text{доп}} = 120 \text{ A}$.

4) При выборе автоматического выключателя должны соблюдаться следующие условия (2.116...2.118):

$$I_{\text{н.а}} \geq I_p$$

$$I_{\text{у.т}} \geq 1,6 I_p$$

$$I_{\text{у.э}} \geq (1,25 \div 1,5) I_{\text{пик}}$$

$$I_{\text{н.а}} = 160 \text{ A} \geq I_p = 106,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{у.т}} = 200 \text{ A} \geq 1,6 \cdot 106,5 = 170,4 \text{ A}$$

$$I_{\text{отс}} = 840 \text{ A} \geq 1,5 \cdot 345,84 = 518,8 \text{ A}$$

где $I_{\text{пик}} = I_{\text{н.мах}} K_I + \sum I'_{\text{ол}} = 53,24 \cdot 5,5 + 53,24 = 345,84$

Принимаем выключатель серии А3130: $I_{\text{на}} = 200 \text{ A}$; $I_{\text{у.э}} = 840 \text{ A}$; $I_{\text{у.т}} = 200 \text{ A}$.
Остальные данные сведены в сводную таблицу.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		28

Таблица 2.13.1 – Расчет и выбор магистральной силовой сети

Наим. силового щита	$\Sigma P_{\text{ном}}$ кВт	I_p А	Сечение и марка кабеля мм ²	$I_{\text{доп}}$ А	Тип автомата	$I_{\text{н.А}}$ А	$I_{\text{у.т}}$ А	$I_{\text{отс}}$ А
ЩС-1	56,0	106,5	ВВГ5×35	120	A3130	200	200	840
ЩС-2	62,5	190,2	ВВГ5×70	180	A3140	600	350	1750
ШР-3	15,0	45,63	ВВГ 4×10	55	AE-2000	100	80	960
ШР-4	36,0	91,5	ВВГ 3×25	100	A3130	200	170	840

2.14 Расчет релейная защита элементов системы электроснабжения

В данном разделе записки излагаются вопросы защиты отдельных элементов системы электроснабжения, а также вопросы автоматизации работы и управления электроустановками.

Из разнообразных видов защит наиболее распространенными и универсальными являются максимальная токовая защита и токовая отсечка.

Ток срабатывания пусковых токовых реле выбирают таким, чтобы обеспечить выполнение следующих условий:

1) защита не должна приходить в действие при прохождении по защищаемому элементу максимального тока нагрузки;

2) защита должна надежно действовать при коротком замыкании, происшедшем на защищаемом участке, и иметь коэффициент чувствительности в конце этого участка не менее 1,5;

3) защита должна действовать при коротком замыкании, происшедшем на смежном (резервируемом) участке и иметь коэффициент чувствительности в конце смежного участка не менее 1,2.

Для выполнения первого условия ток срабатывания реле максимально-токовой защиты должен составлять (6, С. 221):

$$I_{\text{ср.защ}} = \frac{K_{\text{над}} K_{\text{сз}}}{K_{\text{взв}}} I_{\text{н.мах}} \quad (2.122)$$

где $K_{\text{над}}$ - коэффициент надежности, принимается равным 1,1...1,25;

$K_{\text{сз}} = 2...3$ - коэффициент самозапуска, учитывает увеличение тока нагрузки при самозапуске электродвигателей;

$K_{\text{взв}} = I_{\text{взв}}/I_{\text{ср}} = 0,8...0,85$ - коэффициент возврата ($I_{\text{взв}}$, $I_{\text{ср}}$ - токи возврата и срабатывания реле);

$I_{\text{снмакс}}$ - максимальный ток нагрузки.

Когда $K_{\text{сз}}$ неизвестен, рекомендуется принимать ток срабатывания

$$I_{\text{ср.з}} = 4 I_{\text{ном}} \quad (2.123)$$

где $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток защищаемого оборудования.

Ток срабатывания, т. е. уставка пусковых токовых реле:

$$I_{\text{ср.р}} = \frac{K_{\text{над}} K_{\text{сз}} K_{\text{сх}}}{K_{\text{взв}}} \cdot \frac{I_{\text{н.мах}}}{K_{\text{т.т}}} \quad (2.124)$$

где $K_{\text{сх}}$ - коэффициент схемы, определяемый схемой соединения трансформаторов тока;

$K_{\text{т.т}}$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Выполнение второго и третьего условий при выборе тока срабатывания максимально-токовой защиты проверяют по коэффициенту чувствительности в режиме, когда токи короткого замыкания минимальны.

Коэффициент чувствительности определяется по формуле (5, С. 239):

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{ср.защ}}} \quad (2.125)$$

Для защиты мощных источников (генераторов и трансформаторов) и потребителей (синхронных двигателей, электропечных установок и др.) применяется кроме максимальной токовой защиты также дифференциальная защита, работающая на принципе сравнения токов в начале и конце защищаемого участка, например тока обмоток силового трансформатора, генератора, двигателя.

Пример 23.

Выбрать типы защит и их уставки для защиты короткозамкнутого двигателя номинальной мощностью $P_n = 800$ кВт; $\cos \varphi = 0,89$; $\eta = 0,96$ при напряжении $U_{ном} = 6$ кВ. кратность пускового тока электродвигателя $\kappa_{пуск} = 5,3$; ток короткого замыкания $I_k = 12$ кА.

Решение

1) Принимаем максимально-токовую защиту двигателя от перегрузки и токовую отсечку для защиты от коротких замыканий.

Номинальный ток двигателя по (2.112):

$$I_{ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_{ном} \cos \varphi \eta} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,89 \cdot 0,96} = 90,2 \text{ А}$$

Пусковой ток

$$I_{п} = \kappa_{пуск} I_{ном} = 5,3 \cdot 90,2 = 478,1 \text{ А}$$

2) Ток срабатывания отсечки с отстройкой от пусковых токов при установке двух трансформаторов тока 400/5 ($\kappa_{т.т} = 80$), включенных на разность токов ($\kappa_{сх} = \sqrt{3}$) по (2.123):

$$I_{ср.п} = \kappa_{над} \kappa_{сх} \cdot \frac{I_n}{\kappa_{т.т}}$$

где $\kappa_{над}$ – коэффициент надежности - 1,8;

$\kappa_{сх}$ – коэффициент схемы = $\sqrt{3}$;

$\kappa_{т.т}$ – коэффициент трансформации т.т – 400/5 = 80

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		31

$$I_{ср.р} = 1,85 \cdot 1,73 \cdot \frac{478,1}{80} = 18,6A$$

3) Определяем коэффициент чувствительности отсечки по формуле (2.125)

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{ср.защ}}} = \frac{12000}{18,6 \cdot 80} = 8 > 2$$

Защита чувствительна

4) Ток срабатывания защиты двигателей от перегрузки при $k_H = 1,2$; $k_B = 0,8$ по формуле (2.124):

$$I_{ср.р} = \frac{K_{\text{над}} K_{\text{сз}} K_{\text{сх}}}{K_{\text{взв}}} \cdot \frac{I_{\text{н.мах}}}{K_{\text{т.т}}} = \frac{1,2 \cdot 1,73}{0,8} \cdot \frac{90,2}{80} = 2,9A$$

Принимаем для токовой отсечки и для защиты от перегрузки реле типа РТ-80 с уставкой тока срабатывания $I_{\text{отс}} = 18,6 A$; $I_{\text{пер}} = 2,9 A$.

2.15 Расчет заземляющих устройств

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

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

Заземление обязательно во всех электроустановках при напряжении 380В и выше переменного тока, 440В и выше постоянного тока, а в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках при

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		32

напряжении 42 В и выше переменного тока, 110 В и выше постоянного тока; при любых напряжениях во взрывоопасных помещениях.

В зависимости от места размещения заземлителей относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

В качестве заземлителей в первую очередь следует использовать естественные заземлители в виде проложенных под землей металлических коммуникаций (за исключением трубопроводов для горючих и взрывчатых веществ, труб теплотрасс), металлических конструкций зданий, соединенных с землей, свинцовых оболочек кабелей, обсадных труб артезианских колодцев, скважин, шурфов и т. д.

В качестве естественных заземлителей подстанций и распределительных устройств рекомендуется использовать заземлители опор отходящих воздушных линий электропередачи, соединенных с заземляющим устройством подстанции или распределительным устройством с помощью грозозащитных тросов линий.

Если сопротивление естественных заземлителей удовлетворяет требуемым нормам R_z , то устройство искусственных заземлителей не требуется.

Когда естественные заземлители отсутствуют или использование их не дает нужных результатов, применяют искусственные заземлители: стержни из угловой стали размером 50×50, 60×60, 75×75 мм с толщиной стенки не менее 4 мм, длиной 2,5...3 м; стальные трубы диаметром 50...60 мм, длиной 2,5...3 м с толщиной стенки не менее 3,5 мм; прутковая сталь диаметром не менее 10 мм, длиной до 10 м и более.

Заземлители забивают в ряд или по контуру на такую глубину, при которой от верхнего конца заземлителя до поверхности земли остается 0,5...0,8 м. Расстояние между вертикальными заземлителями должно быть не менее 2,5...3 м.

Для соединения вертикальных заземлителей между собой применяют стальные полосы толщиной не менее 4 мм и сечением не менее 48 мм² или стальной провод диаметром не менее 6 мм. Полосы (горизонтальные заземлители) соединяют с вертикальными заземлителями сваркой. Магистраль

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		33

заземления внутри зданий с электроустановками напряжением до 1000В выполняют стальной полосой сечением не менее 100 мм² или сталью круглого сечения той же проводимости. Ответвления от магистрали к электроустановкам выполняют стальной полосой сечением не менее 24 мм² или круглой сталью диаметром не менее 5 мм.

Для обеспечения допустимого напряжения прикосновения Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) установлены определенные величины допустимых значений сопротивлений заземления r_3 . В установках напряжением до 1000 В с изолированной и глухозаземленными нейтралью источников (генераторов, трансформаторов) $r_3 \leq 4$ Ом; если заземляющее устройство используется только для установки выше 1000 В, $r_3 = 250/I_3$; если заземляющее устройство используется одновременно для установки на напряжение до и выше 1000 В, $r_3=125/I_3$; в установках выше 1000 В с глухозаземленной нейтралью и большими токами замыкания на землю (более 500 А) $r_3 \leq 0,5$ Ом; в установках напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали (380/220 В) защитное заземление должно быть выполнено путем присоединения металлических нетоковедущих частей оборудования к наглухо заземленному нулевому проводу.

Расчет заземления методом коэффициентов использования производится следующим образом.

В соответствии с ПУЭ устанавливается необходимое сопротивление заземления R_3 .

Определяют путем замера, расчетом или на основе данных по работающим аналогичным заземлительным устройствам возможное сопротивление растеканию естественных заземлителей R_e .

Если $R_e < R_3$, то устройство искусственного заземления не требуется.

Если $R_e > R_3$, то необходимо устройство искусственного заземления.

Сопротивление, Ом, растекания искусственного заземления по формуле (5, С. 330)

$$R_{II} = \frac{R_3 R_e}{R_e - R_3} \quad (2.126)$$

Далее расчет ведется по R_{II} .

Определяют удельное сопротивление грунта ρ . При производстве расчетов эти значения должны умножаться на коэффициент сезонности, зависящий от климатических зон и вида заземлителя.

Расчетное удельное сопротивление грунта для стержневых заземлителей (вертикальных заземлителей $\rho_{расч.в} = k_c \rho$; для протяженного заземлителя (горизонтальных полос) $\rho_{расч.г} = k'_c \rho$).

Определяют сопротивление, Ом, растеканию одного вертикального заземлителя - стержневого круглого сечения (трубчатый или уголковый) в земле по (5, С. 330):

$$R_B = \frac{0,366 \rho_{расч.в}}{l} \cdot lq \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} lq \frac{4t' + l}{4t' - l} \quad (2.127)$$

при этом $l \gg d, t \gg 0,5$ м;

для уголка с шириной полки b получают $d = 0,95 b$.

Все размеры даны в метрах, а удельное сопротивление грунта в Ом·м.

Сопротивление, Ом, растеканию вертикального заземлителя можно определить по упрощенным формулам:

для уголка $50 \times 50 \times 5$ мм, $R_B = 0,348 \rho_{расч.в} k_c$;

для уголка $60 \times 60 \times 6$ мм, $R_B = 0,298 \rho_{расч.в} k_c$;

для уголка $75 \times 75 \times 8$ мм, $R_B = 0,292 \rho_{расч.в} k_c$;

для трубы диаметром 60 мм $l = 2 \dots 2,5$ м, $R_B = 0,302 \rho_{расч.в} k_c$;

Установив характер расположения заземлителей (в ряд или контуром), определяют число вертикальных заземлителей по формуле (5, С. 330):

$$n_B = \frac{R_B}{\eta_B R_{II}} \quad (2.128)$$

где η_b - коэффициент использования вертикальных заземлителей, зависящий от количества заземлителей и расстояния между ними.

Количество вертикальных заземлителей для определения η_b можно принять равным R_b/R_n .

При устройстве простых заземлителей в виде короткого ряда вертикальных стержней расчет на этом можно закончить и не определять проводимость соединяющей полосы, поскольку длина ее относительно невелика (в этом случае фактически сопротивление заземляющего устройства будет несколько завышено).

При устройстве заземлителей по контуру из ряда вертикальных заземлителей целесообразно учитывать и сопротивление растеканию полос (горизонтальный заземлитель). Для этого на площади установки заземления намечают, как будут размещены вертикальные заземлители n_b , и определяют длину, м, соединительной полосы $l_r = 1,05 n_b \cdot a$, где a - расстояние между вертикальными заземлителями (обычно отношение расстояния между вертикальными заземлителями к их длине принимают равным $a/l = 1; 2; 3$).

Определяют сопротивление, Ом, растеканию горизонтального заземлителя. Для стержневого круглого сечения (5, С. 331):

$$R_r = \frac{0,366 \rho_{расч.Г}}{l} l q \frac{l^2}{dt'} \quad (2.129)$$

где $l > d$; $l \gg 4t'$. Для полосы шириной b получают $d = 0,5b$. Действительное сопротивление, Ом, растеканию горизонтального заземлителя с учетом коэффициента использования по (5, С. 332)

$$R'_r = \frac{R_r}{\eta_r} \quad (2.130)$$

где η_r - коэффициент использования горизонтального заземлителя.

Уточняется сопротивление, Ом, растеканию заземлителей с учетом сопротивления горизонтального заземлителя

$$R_g = \frac{R'_Г R'_И}{R'_Г - R'_И} \quad (2.131)$$

Определяют уточненное количество вертикальных заземлителей. Здесь $n'_в$ округляется в сторону увеличения.

Пример 24.

Определить сопротивление заземления опор portalного типа ОРУ-110 кВ двухтрансформаторной подстанции. Размер стойки свайного фундамента: $d = 0,4$ м, $l = 2,3$ м; удельное сопротивление грунта $\rho = 1,0 \cdot 10^2$ Ом·м.

Решение

1) Определяем сопротивление одной сваи фундамента по формуле (2.127):

$$R_Г = \frac{0,366 \cdot 1,75 \rho}{l_c} l q \frac{4l}{d} = \frac{0,366 \cdot 1,75 \cdot 100}{2,3} l q \frac{4 \cdot 2,3}{0,4} = 42,1 \text{ Ом}$$

где ρ - удельное сопротивление грунта, Ом· м;

d - диаметр сваи, м;

l_c - длина сваи, м;

2) Определим сопротивление четырех свай под одной стойкой опоры по формуле (2.128)

$$R_{с.ф} = R_c / \eta n,$$

где $\eta = 0,7$ - для одностоечной опоры,

$\eta = 0,9$ - для порталных опор;

n - число свай в фундаменте.

$$R_{с.ф} = 42,1 / (4 \cdot 0,7) = 15 \text{ Ом}$$

3) Определим полное сопротивление заземления опоры из двух стоек по формуле:

$$R_{оп} = 15 / (2 \cdot 0,9) = 8,35 \text{ Ом}$$

4) При сооружении территории ОРУ-110 кВ четырех порталных опор общее сопротивление естественного заземлителя

$$R_{е.з} = 50 / 6 = 8,34 \text{ Ом}$$

5) Для обеспечения сопротивления заземляющего устройства $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$ необходимо выполнить дополнительный искусственный заземлитель, сопротивление которого исходя из формулы (2.126) составит

$$R_{II} = \frac{R_3 R_e}{R_e - R_3} = \frac{2,09 \cdot 0,5}{2,09 - 0,5} = 0,66 \text{ Ом}$$

Пример 25.

Определить число электродов заземления подстанции напряжением 6/0,4 кВ. на стороне с напряжением 6 кВ нейтраль изолирована, на стороне с 0,4 кВ – наглухо заземлена. Общая протяженность воздушных линий напряжением 6 кВ составляет $l_{в} = 10 \text{ км}$, кабельных линий напряжением 6 кВ - $l_{каб} = 20 \text{ км}$, расчетный коэффициент $\psi_2 = 1,5$. Измерение грунта, произведенные в июне месяце, показали значение удельного сопротивления $\rho_{из} = 0,6 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см} = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при сменной влажности.

Решение

1) Определяем ток однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ по формуле:

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		38

$$I_3 = \frac{U(35l_{\text{каб}} + l_6)}{350}$$

где U – линейное напряжение сети, кВ;

$l_{\text{каб}}$ и l_6 – суммарная длина электрически связанных между собой кабельных и воздушных линий, км.

$$I_3 = \frac{6 \cdot (35 \cdot 20 + 10)}{350} = 12,2 \text{ A}$$

2) Определим сопротивление заземляющего устройства для сети 6 кВ при общем заземлении по формуле:

$$R_3 \leq \frac{U_3}{I_3}$$

где $U_3 = 125$ В, если заземляющее устройство одновременно используется и для установок до 1000 В;

I_3 – расчетный ток замыкания на землю, А.

$$R_3 = \frac{125}{12,2} = 10,2 \text{ Ом}$$

Сопротивление заземляющего устройства для сети 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью должно быть не более 4 Ом. Принимаем наименьшее сопротивление заземляющего устройства при общем заземлении 4 Ом.

3) Определяем расчетное удельное сопротивление грунта по формуле (9, С. 89):

$$\rho = \rho_{\text{из}} \Psi$$

где $\rho_{\text{из}}$ – измеренное удельное сопротивление грунта;

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		39

ψ – коэффициент повышения сопротивления.

$$\rho = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Выбираем в качестве заземлителей прутковые электроды длиной $l = 5$ м.

4) Определяем сопротивление одиночного пруткового электрода по упрощенной формуле (5, С. 331):

$$R_{o.пр} = 0,00227\rho = 0,00227 \cdot 90 = 20,4 \text{ Ом}$$

5) Принимаем размещение заземлителей в ряд с расстоянием между ними $a = 0,6$ м. определяем число заземлителей по формуле (2.128):

$$n = \frac{R_{o.пр}}{\eta R_3}$$

где $\eta = 0,8$ при $a/l > 1$ по таблице 7.1 с.257, (6);

$R_3 = 4$ Ом (по нормам).

$$n = \frac{20,4}{0,8 \cdot 4} = 6шт$$

принимаем к установке 6 заземлителей.

2.16 Расчет грозозащиты (открытого распределительного устройства, здания, подстанции)

Все здания и сооружения подразделяются на три категории:

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		40

I – производственные здания и сооружения со взрывоопасными помещениями классов В – I и В – II по ПУЭ; здания электростанций и подстанций;

II – другие здания и сооружения со взрывоопасными помещениями, не относимые к I категории;

III – все остальные здания и сооружения, в том числе и пожароопасные помещения.

Молниезащита зданий и сооружений I категории выполняется: а) от прямых ударов молний отдельно стоящими стержневыми и тросовыми молниеотводами, обеспечивающими требуемую зону защиты от электростатической индукции – заземлением всех металлических корпусов, оборудования и аппаратов, установленных в защищаемых зданиях через специальные заземлители с сопротивлением растеканию тока не более 10 Ом; в) от электромагнитной индукции – для протяженных металлических предметов (трубопроводов, оболочек кабелей, каркасов сооружений). В местах сближения с источником индукции и через 20 м длины на параллельных трассах кабелей и трубопроводов ставят металлические перемычки, позволяющие избежать появления разомкнутых металлических контуров.

При расчете молниеотводов учитывается необходимость получения определенной зоны защиты, которая представляет собой пространство, защищаемое от прямых ударов молнии.

Определяют амплитудное импульсное значение:

$$U_{\max} = \left(\frac{I_M}{2} \right) \left(R_{\text{имп}} + \sqrt{R_{\text{имп}}^2 + h^2} \right) \quad (2.132)$$

где I_M - ток молнии, условно принимаем 150 кА;

$R_{\text{имп}}$ – импульсное сопротивление заземлителя, 10 Ом;

h - высота сооружения, 5 м

Определяют минимальное расстояние по воздуху и в земле по формулам:

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		41

$$S_B = U_{\text{макс}}/E_3 \quad (2.133)$$

$$S_3 = I_M R_M/E_3$$

Для расчетов принимают напряженность электрического поля $E_B = 500$ кВ/м, $E_3 = 300$ кВ/м.

Высота молниеотвода должна быть выбрана такой, чтобы защищаемое сооружение находилось в защитной зоне молниеотвода.

Определяют радиус конца защитной зоны над сооружением по формуле:

$$r_0 = S_3 + a \quad (2.134)$$

где S_3 – минимальное расстояние в земле;

a - размер стороны защищаемого объекта, $a = 10$ м;

Определяют значение r_0 , задаваясь высотой молниеотвода $h_M = 25$ м

$$r_0 = (1,1 - 0,02h)h \quad (2.135)$$

где h – высота молниеотвода.

Пример 26.

Определить защитную зону одиночного стержневого молниеотвода и его высоту при ударе молнии, если $I_M = 150$ кА, импульсное сопротивление заземлителя $R_{\text{имп}} = 10$ Ом, высота защищаемого сооружения $h_x = 10$ м, размеры сооружения $a \times b = 6 \times 6$ м.

Решение

1) Определяем амплитудное импульсное напряжение по формуле (2.132):

$$U_{\text{max}} = \left(\frac{I_M}{2} \right) \left(R_{\text{имп}} + \sqrt{R_{\text{имп}}^2 + h^2} \right) = \frac{150}{2} \left(10 + \sqrt{10^2 + 10^2} \right) = 1810 \text{ кВ}$$

2) Определим расстояние по воздуху по формуле (2.133), оно должно быть не менее

$$S_B = U_{\text{макс}}/E_3 = 1810/500 = 3,62 \text{ м.}$$

расстояние в земле

$$S_3 = I_M R_{\text{имп}}/E_3 = (150 \cdot 10)/300 = 5 \text{ м.}$$

При этих расстояниях не произойдет пробоя между молниеотводом и защищаемым сооружением.

3) Высота молниеотвода должна быть выбрана такой, чтобы защищаемое сооружение находилось в защитной зоне молниеотвода. Для этого при одиночном молниеотводе необходимо, чтобы радиус конца защитной зоны над сооружением был согласно (2.134):

$$r_0 = S_3 + a = 5 + 6 = 11 \text{ м}$$

где $a = 6 \text{ м}$ - размер стороны защищаемого объекта.

4) Приняв $r_M = 20 \text{ м}$ определяем высоту молниеотвода по формуле (2.135)

$$r_0 = (1,1 - 0,02h)h = 1,1 \cdot 20 - 0,02 \cdot 400 = 14 \text{ м}$$

следовательно, $r_0 = 14 \text{ м}$ больше $S_3 + a = 11 \text{ м}$ и защищаемое сооружение при высоте молниеотвода $h_M = 20 \text{ м}$ будет находиться в защищаемой зоне.

2.17 Расчет электрического освещения цеха

1) Искусственное освещение имеет очень большое значение, обеспечивая необходимые условия освещённости при проведении различных работ в любое

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		43

время суток. Создание благоприятных условий для глаза - залог обеспечения высокой производительности труда. Недостаточная освещённость рабочего места может привести к браку в работе, к быстрому утомлению работающего и, как следствие, к травматизму или к несчастному случаю. Поэтому в нашей стране уделяется очень большое внимание правильному проектированию, монтажу и эксплуатации осветительных установок.

В светотехнической части проекта ОУ излагаются основные технические решения и приводятся их обоснования. Рекомендуется следующая последовательность рассмотрения основных вопросов:

2) Искусственное освещение подразделяется на следующие виды:

- рабочее освещение, устройство которого обязательно во всех случаях;
- аварийное освещение, необходимое для временного продолжения работы при аварийном погасании рабочего освещения в тех помещениях, где прекращение работы может вызвать взрыв, пожар, длительное нарушение технологического процесса и т.д.;

- эвакуационное освещение, необходимое для безопасного выхода людей из помещения при аварийном погасании рабочего освещения (предусматривается в цехах, где более 50 работающих);

- охранное освещение, предусматриваемое вдоль границ территорий;

Искусственное освещение проектируется двух систем:

- общее (равномерное или локализованное);
- комбинированное (к общему освещению добавляется местное).

При выполнении в помещениях работ I-IV разрядов следует применять, как правило, систему комбинированного освещения.

3) Для освещения производственных помещений, как правило, должны применяться газоразрядные лампы низкого и высокого давления люминесцентные, ДРЛ, металлогалогенные, натриевые, ксеноновые). В случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения газоразрядных источников света допускается использовать лампы накаливания.

Применение ксеноновых ламп внутри помещений допускается в виде исключения, только по согласованию с Минздравом РФ.

Рекомендации по выбору источников света:

3.1) люминесцентные лампы применяются:

- для общего освещения помещений, в которых производятся работы разрядов I-V и VII;
- для общего освещения помещений с недостаточным или отсутствующим естественным освещением;
- для освещения помещений, в которых предъявляются повышенные требования к цветопередаче независимо от разряда работ.

Для местного освещения применение люминесцентных ламп не желательно.

При выборе люминесцентных ламп следует учитывать, что наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ, поэтому их следует применять во всех помещениях, где нет повышенных требований правильной цветопередачи. Если же такие требования есть, то рекомендуется применять лампы ЛДЦ-4 или ЛХБЦ (ЛЕ). Следует помнить, что в порядке лучшей цветопередачи к худшей люминесцентные лампы располагаются так: ЛЕ (ЛХБЦ), ЛДЦ-4, ЛХБ, ЛБ, ЛД, ЛТБ. В не отапливаемых помещениях люминесцентные лампы не применяются. Технические данные люминесцентных ламп мощностью 20...80 Вт приведены в таблице 4.8, 4.9, 4.10 и 4.11 (4, С. 77).

3.2) лампы ДРЛ применяются для общего освещения высоких производственных помещений ($H > 6...8$ м), в которых не требуется обеспечение правильной цветопередачи. Технические данные ламп ДРЛ приведены в таблице 4.12, 4.14 (4, С. 81).

3.3) лампы ДРИ (МГЛ) применяются для общего освещения высоких производственных помещений ($H > 6$ м). Технические данные ламп ДРЛ приведены в таблице 4.16, 4.17 (4, С. 84).

4) Выбор нормы освещённости по СНиП осуществляется в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном и коэффициента

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		45

отражения фона (рабочей поверхности). Кроме того, необходимо учитывать тип принятого источника света и систему освещения.

При проектировании ОУ следует иметь в виду, что в процессе эксплуатации ОУ освещённость на рабочих местах уменьшается за счёт уменьшения светового потока источников света, снижение КПД светильников в результате загрязнения ламп и арматуры, загрязнение стен освещаемого помещения.

По этому в расчёты вводится коэффициент запаса, k_z , который регламентирован СНиП в зависимости от запыления освещаемого помещения и типа источников света.

5) Выбор светильников определяется следующими основными условиями:

- характером окружающей среды;
- требованиями к светораспределению и ограничению слепящего действия;
- соображениями экономики.

Выбранные светильники должны быть расположены и установлены таким образом, чтобы обеспечивалось:

- а) безопасность и удобный доступ к светильникам для обслуживания;
- б) создание нормированной освещенности наиболее экономичным путем;
- в) соблюдение требований к качеству освещения (равномерность освещения, направление света, ограничение вредных факторов: теней, пульсаций освещенности, прямой и отраженной блескости;
- г) наименьшая протяженность и удобство монтажа групповой сети;
- д) надежность крепления светильников.

Основными факторами, определяющими выбор светильников являются:

а) условия окружающей среды (наличие пыли, влаги, химической агрессивности, пожароопасных и взрывоопасных зон);

б) строительная характеристика помещения (перепланировка жилых помещений, в том числе высота, наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля, отражающие свойства стен, потолка, пола и рабочих поверхностей);

в) требования к качеству освещения.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		46

Выбор конкретного типа светильника осуществляется по конструктивному исполнению, светораспределению и ограничению слепящего действия, экономическим соображениям.

б) Размещение светильников в плане и разрезе помещения определяется следующими размерами:

H - высота помещения;

h_c - расстояние светильника от перекрытия;

h_p - высота расчётной поверхности над полом;

$h = H - h_c - h_p$ - расчётная высота;

L - расстояние между соседними светильниками или рядами светильников (если по длине и ширине расстояния различны, то они обозначаются L_a и L_b);

l - расстояние от крайних светильников или рядов светильников до стены.

Основное требование при расположении светильников - доступность их для обслуживания. Кроме этого, размещение светильников определяется условием экономичности. Важную роль при размещении светильников играет величина $\lambda = L/h$.

6.1) Размещение светильников с люминесцентными лампами.

Светильники с ЛЛ рекомендуется устанавливать рядами преимущественно параллельно длинной стороне помещения или стене с окнами (в этом случае L - расстояние между рядами).

Зная высоту помещения H , приняв значение h_p в зависимости от того, какие работы производятся в цехе, и задавшись величиной h_c , можно определить расчётную высоту:

$$h = H - h_c - h_p \quad (2.136)$$

Значение λ принимаем по таблице 2.17.1 в зависимости от формы кривой силы света принятого светильника. Тогда

$$L = h \cdot \lambda_c \quad (2.137)$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		47

Зная ширину помещения B и рассчитав значение L , определяем, сколько рядов светильников можно разместить в цехе.

Размер l принимается в пределах $(0,3...0,5)L$ в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест.

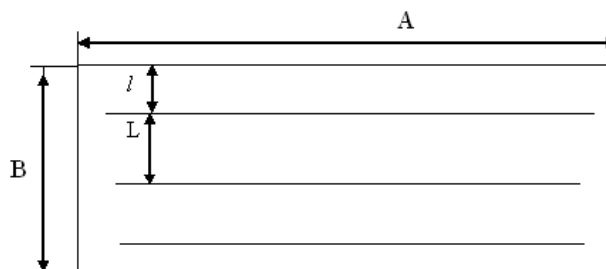


Рисунок 2.17.1 - Пример размещения светильников с люминесцентными лампами

Таблица 2.17.1 - Рекомендуемые значения λ для светильников с типовыми кривыми (ГОСТ 13828-74).

Типовая кривая	λ_c	λ_3
Концентрированная	0,6	0,6
Глубокая	0,9	1,0
Косинусная	1,4	1,6
Равномерная	2,0	2,6
Полуширокая	1,6	1,8

6.2) Размещение светильников с лампами ДРЛ, ДРИ и лампами накаливания.

Светильники с «точечными» источниками света располагают по вершинам квадратных, прямоугольных и треугольных полей.

В узких помещениях допустимо однорядное расположение. По формуле (2.137) находим расчетную высоту, а затем, приняв значение λ по таблице 2.17.1, определяем

$$L_a = h \cdot \lambda_3 \quad (2.138)$$

Зная длину цеха A , находим, сколько светильников можно разместить в ряд (по длине цеха).

При прямоугольных полях рекомендуется, чтобы выдерживалось соотношение

$$\frac{L_a}{L_b} \leq 1,5 \quad (2.139)$$

Зная ширину цеха B и учитывая соотношение (2.139), определяем, сколько рядов светильников можно разместить по ширине цеха.

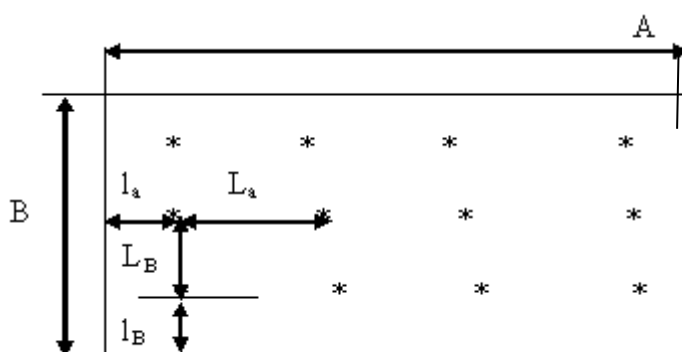


Рисунок 2.17.2 - Пример размещения светильников с «точечными» источниками света

7) Задачей расчета ОУ является либо определение числа и мощности источников света, либо определение фактической освещенности в уже спроектированной ОУ.

Расчет освещения может производиться различными методами.

7.1) Метод коэффициента использования светового потока.

Метод предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов.

При расчете ОУ с «точечными» источниками света (лампы ДРЛ, ЛН, ДРИ и т.д.) до расчета намечается число светильников в цехе по методике, изложенной в пункте 6.2.

Затем находится потребный световой поток ламп в каждом светильнике Φ , лм по формуле (4. С. 138):

$$\Phi = \frac{E_n \cdot \kappa_z \cdot S \cdot z}{N \cdot \kappa_u} \quad (2.140)$$

где E_n - нормированная освещённость, лк;

κ_z - коэффициент запаса;

S - освещаемая площадь, м²;

z - коэффициент минимальной освещённости (для ламп накаливания, ДРИ и ДРЛ $Z = 1,15$);

N - число светильников, намечаемое до расчёта ;

κ_u - коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Для определения коэффициента использования рассчитывается индекс помещения по формуле (4. С. 139):

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} \quad (2.141)$$

где A - длина помещения, м;

B - ширина помещения, м ;

h - расчётная высота, м .

Коэффициенты использования светового потока $K_{и}$ для светильников с лампами накаливания и ДРЛ принимается по таблице 6.4 (4, С. 141) в зависимости от индекса помещения, определенного по формуле (2.141), коэффициентов отражения помещения $\rho_{п}$, $\rho_{с}$, $\rho_{р}$ приведённых в исходных данных.

Зная коэффициент использования $K_{и}$, по формуле (2.140) находим расчётный поток лампы $\Phi_{расч}$, по которому по таблицам выбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой не должен отличаться от $\Phi_{расч}$ больше, чем на

(-10...+20)%. При невозможности выбора с таким приближением корректируется N .

При расчете люминесцентного освещения первоначально намечается число рядов светильников n_p по методике, приведенной в пункте 6.1. Зная тип и мощность ламп, определяем требуемое число светильников в цехе по формуле (4, С. 143):

$$N = \frac{E_n K_z S \cdot z}{n \cdot \Phi_n K_u} \quad (2.141)$$

где $z = 1,1$ - для люминесцентных ламп;

n - число ламп в принятом светильнике;

Φ_n - номинальный световой поток лампы (тип лампы задаётся в зависимости от требований к правильной цветопередаче).

Число светильников в ряду определяется как

$$N_p = \frac{N}{n_p} \quad (2.142)$$

где N - число светильников в цехе;

n_p - число рядов.

Суммарная длина N_p = светильников сопоставляется с длиной помещения, причем возможны следующие случаи:

- суммарная длина светильников превышает длину помещения: необходимо применить более мощные лампы (у которых поток на единицу длины больше), или увеличить число рядов, или компоновать ряды из сдвоенных, строенных светильников;

- суммарная длина светильников равна длине помещения: задача решается устройством непрерывного ряда светильников;

- суммарная длина ряда меньше длины помещения: принимается ряд с равномерно распределенными вдоль него разрывами между светильниками.

Рекомендуется, чтобы l_T не превышало $0,5h$; где l_T – расстояние между торцами светильников.

7.2) Метод удельной мощности.

Метод используется для предварительной оценки осветительной нагрузки на начальных стадиях проектирования для самоконтроля расчетов и т.д.

Удельная мощность ω равна по формуле (4, С, 144):

$$\omega = \frac{PN}{S} \quad (2.143)$$

где P - мощность одной лампы, Вт;

N - число ламп в цехе;

S - площадь помещения, м².

Значение ω принимается в зависимости от:

- типа светильника;
- коэффициента запаса k_z ;
- коэффициентов отражения помещения $\rho_{п}, \rho_{с}, \rho_{р}$;
- значения расчетной высоты;
- площади помещения.

7.2.1) Порядок расчета при лампах накаливания и ДРЛ:

а) выбираются все решения по освещению помещения, включая число светильников N ;

б) по соответствующей таблице находится удельная мощность ω ;

в) производится перерасчет табличного значения ω на заданные значения

$E_n, k_z, \rho_{п}, \rho_{с}, \rho_{р}$ по формуле, Вт/м²:

$$\omega_{расч} = \frac{\omega E_n}{100} \cdot \frac{k_z}{k_{з.табл}} \cdot k_p \quad (2.144)$$

где $k_{з.табл}$ – значения $k_з$ учтенное в таблице;

k_p – коэффициент отражения.

для ламп накаливания множитель $E_n/100$ вводится при $E_n > 100$ лк.

г) определяется единичная мощность каждой лампы по формуле, Вт

$$P = \frac{\omega_{расч} S}{N} \quad (2.145)$$

д) выбирается ближайшая по мощности стандартная лампа.

Значения ω принимаются по табличным данным.

7.2.2) Порядок расчета при люминесцентных лампах:

а) выбираются все решения, включая число рядов n_p и спектральный тип лампы;

б) по соответствующей таблице находится значение ω для лампы данной мощности и типа;

в) находится расчетное значение удельной мощности $\omega_{расч}$ по формуле (2.88);

г) определяется число светильников в цехе

$$N = \frac{\omega_{расч} S}{n P_n} \quad (2.146)$$

где n – число ламп в светильнике;

P_n – мощность одной лампы, Вт;

д) определяется число светильников в ряду по формуле (2.146), после чего осуществляется компоновка ряда, как рассмотрено в п. 7.1.

Пример 27.

Рассчитать освещение цеха с размерами $A = 60$ м, $B = 30$ м и высотой 10 м. Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен и пола

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		53

соответственно $\rho_{\text{п}} = 70\%$; $\rho_{\text{с}} = 50\%$; $\rho_{\text{р}} = 30\%$. Нормируемая освещенность $E = 400$ лк. Помещение чистое, сухое.

Решение

1) Выбираем тип светильника в зависимости от условий окружающей среды. Так как помещение цеха сухое, чистое, принимаем вид защиты светильников IP20. В соответствии с этим выбираем тип светильников РСП с лампами ДРЛ мощностью по 400 ВА, кривая распределения света КСС Г-1, световой поток $\Phi_{\text{ном}} = 23000$ лм.

2) Для определения коэффициента использования рассчитываем индекс помещения по формуле (2.141):

Определяем расчетную высоту по (2.136):

$$h = 10 - 0 - 0,8 = 9,2 \text{ м}$$

$$i = \frac{60 \cdot 30}{9,2(60 + 30)} = 2,2$$

Коэффициенты использования светового потока $K_{\text{и}}$ для светильников с люминесцентными лампами принимается по таблице 1.1.2 с.9, (7) в зависимости от индекса помещения и коэффициентов отражения $\rho_{\text{п}} = 70\%$; $\rho_{\text{с}} = 50\%$; $\rho_{\text{р}} = 30\%$ $\eta = 0,71$.

3) Зная тип и мощность ламп, определяем требуемое число светильников в цехе по формуле (2.141).

$$N = \frac{400 \cdot 1,5 \cdot 1800 \cdot 1,15}{23000 \cdot 0,71} = 76_{\text{шт}}$$

Принимаем к установке 76 светильника.

4) Число светильников в ряду определяется по (2.142):

$$N_{\text{р}} = 76/19 = 4 \text{ ряда}$$

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		54

Примем количество рядов 4 по 19 светильников в ряду, и два ряда по четыре светильника по разным сторонам цеха и один ряд шесть светильников.

Размещение светильников показано на плане помещения на рисунке 2.17.3.

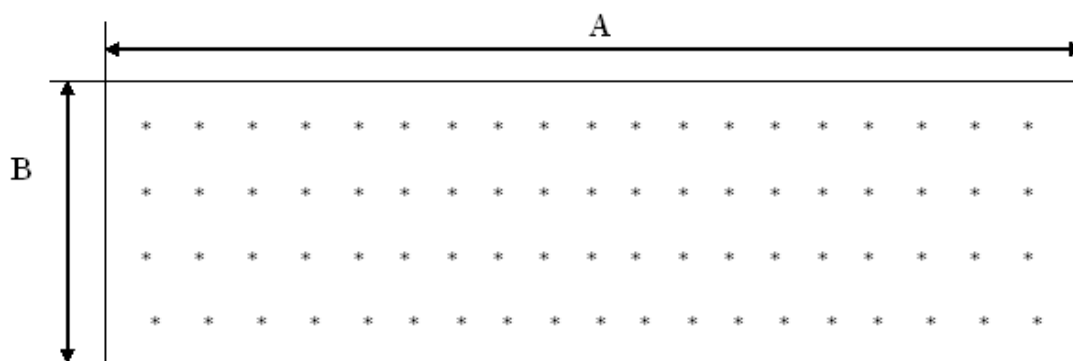


Рисунок 2.17.3 – Размещение светильников по территории цеха

2.18 Расчет и выбор элементов схемы управления электроприводом основных механизмов

В системах управления электроприводов основных механизмов нашли широкое применение низковольтные электрические аппараты: магнитные пускатели, контакторы, реле напряжения и тока, электромагниты и электромагнитные муфты, путевые выключатели и переключатели, автоматические выключатели и др.

2.18.1 Магнитные пускатели серий ПАЕ и ПМА предназначены для дистанционного управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором мощностью 17...75 кВт при напряжении сети 380 В, а также для защиты их от продолжительных перегрузок и токов, возникающих при обрыве одной из фаз. Основное исполнение пускателей: с электромагнитом постоянного и переменного тока, реверсивные и нереверсивные, с тепловым и без теплового реле, открытого и защищенного исполнений, без кнопок и с кнопками управления и сигнальной лампой. Номинальный ток контактов главной цепи пускателя 40, 63, 110 и 160 А, контактов вспомогательной цепи - 6А.

Магнитные пускатели выбираются в следующем порядке:

1) Определяется номинальный ток двигателя по формуле (9, С. 42) :

$$I_{ном.дв} = \frac{P}{\sqrt{3}U_{ном} \cos \varphi_{дв} \eta} \quad (2.147)$$

По величине этого тока из таблицы производится выбор пускателя таким образом, чтобы максимальный рабочий ток пускателя в категории применения АС-3 (пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором, отключение вращающихся двигателей при номинальной нагрузке) был не менее номинального тока двигателя и максимально близким к нему.

2) Определяется номинальный ток уставки теплового реле.

Для лучшего согласования перегрузочной характеристики двигателя и защитной (время-токовой) характеристики реле номинальный ток уставки выбирается на 15...20% выше номинального тока двигателя, т.е.

$$I_{уст.ном} = (1,15 \div 1,20)I_{ном.дв} \quad (2.148)$$

так как в тепловое реле выбранного выше пускателя может быть установлен тепловой элемент с различным номинальным током (током срабатывания при нулевом положении регулятора), то из ряда этих токов для реле пускателя необходимо выбрать значение, ближайшее к $I_{уст.ном}$ и проверить укладывается ли величина $I_{уст.ном}$ в пределы регулирования номинального тока уставки ($\pm 25\%$).

Пример 28.

Для прямого пуска короткозамкнутого асинхронного электродвигателя серии 4А мощностью $P_{ном} = 15$ кВт, питающегося от сети с номинальным напряжением $U_{ном} = 380$ В, используется магнитный пускатель. Коэффициент мощности двигателя $\cos \varphi_{дв} = 0,91$; КПД $\eta_{дв} = 0,88$. В состав пускателя входят контактор *КМ* и тепловые реле *КК1* и *КК2*. Определить необходимые параметры двигателя и выбрать тип пускателя и параметры его тепловых реле.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		56

Таблица 2.18.1 – Технические данные магнитных пускателей при $U_{ном} = 380 В$

Тип защищенного исполнения	Номинальный ток, А	Максимальный рабочий ток при категории исполнения АС-3	Тип встроенного реле
ПМЕ-122	10	7,5	ТРН-8
ПМЕ-222	23	18	ТРН-25
ПА-322	40	30	ТРН-32
ПА-422	56	50	ТРП-60
ПА-522	115	100	ТРП-150
ПА-622	140	135	ТРП-150

Таблица 2.18.2 – Технические данные тепловых реле

Тип защищенного исполнения	Номинальный ток, А	Номинальные токи тепловых элементов реле, А (при нулевом положении регулятора)	Пределы регулирования номинального тока установки
ТРН-8	10	2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,8; 8; 10	от $0,75I_{ном}$ до $1,25 I_{ном}$
ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	
ТРН-32	40	16; 20; 25; 32; 40	
ТРП-60	60	25; 32; 40; 50; 60	
ТРП-150	150	50; 60; 80; 100; 120; 150	

Решение

1) Определим расчетный ток двигателя по формуле (2.148):

$$I_{ном.дв} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,91 \cdot 0,88} = 28,5 А$$

2) По величине расчетного тока произведём выбор пускателя таким образом, чтобы максимальный рабочий ток пускателя в категории применения АС-3 (пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором, отключение вращающихся двигателей при номинальной нагрузке) был не менее номинального тока двигателя и максимально близким к нему.

$$\text{ПА-322 } I_{\text{ном}} = 40\text{А}; I_{\text{макс}} = 30\text{ А};$$

Тип встроенного реле ТРН-32

3) Определим номинальный ток уставки теплового реле.

Для лучшего согласования перегрузочной характеристики двигателя и защитной (времятоковой) характеристики реле номинальный ток уставки выбирается на 15...20% выше номинального тока двигателя, т.е.

$$I_{\text{уст.ном}} = (1,15 \div 1,20) I_{\text{ном.дв}} \quad (2.149)$$

$$I_{\text{уст.ном}} = (1,15 \div 1,20) \cdot 28,5 = 32,8 \div 34,2\text{А}$$

так как в тепловое реле выбранного выше пускателя может быть установлен тепловой элемент с различным номинальным током (током срабатывания при нулевом положении регулятора), то из ряда токов для реле пускателя выберем значение, ближайшее к $I_{\text{уст.ном}}$ $I_{\text{уст.ном}} = 32\text{ А}$, и проверим, укладывается ли величина $I_{\text{уст.ном}}$ в пределы регулирования номинального тока уставки ($\pm 25\%$), т.е.

$$\text{от } 0,75 I_{\text{ном}} \text{ до } 1,25 I_{\text{ном}}$$

$$0,75 \cdot 32 \div 1,25 \cdot 32 = 24 \div 40\text{ А}$$

Укладывается, выбор произведен верно.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		58

2.18.2 Для защиты силовых цепей от к. з. и чрезмерных перегрузок в последние годы широкое применение получили автоматические выключатели (автоматы). Отечественная промышленность выпускает однополюсные автоматические выключатели для однофазного переменного тока, трехполюсные для трехфазного тока и двухполюсные для постоянного тока. Трехполюсный автоматический выключатель может быть снабжен: тремя электромагнитными расцепителями максимального тока, которые практически мгновенно ($t_{отк} \approx 0,015...0,02$ с) отключают аппарат при токах, превышающих номинальный в 6...10 раз, или тремя тепловыми расцепителями, которые отключают аппарат при продолжительных перегрузках на 25% за время не более 20 мин, и на 200...250% в течение 5...30 с.

Получили применение следующие типы автоматических выключателей:

АП50 - на $I_{ном} = 50$ А при номинальном напряжении до 380 В переменного тока и 220 В постоянного тока, с номинальными токами расцепителей от 1,6 до 50 А, ток мгновенного срабатывания (отсечка) может устанавливаться 5,7 и $10/I_{ном}$;

АЕ2000 - на $I_{ном} = 10, 25, 63$ и 100 А для установки в электрических цепях напряжением до 5.00 В переменного и до 220 В постоянного тока, с комбинированным расцепителем на $I_{отс} = 12I_{ном} \pm 20\%$. Выключатели изготавливаются с передним и задним присоединением проводов, имеют температурную компенсацию, позволяют регулировать ток уставки теплового расцепителя в пределах от 0,95 до 1,15 $I_{ном}$, могут быть встроены в комплектные устройства. Расчет и выбор автоматических выключателей приведен выше.

2.18.3 Крановые силовые кулачковые контроллеры. С помощью их осуществляются пуск, остановка, реверс и регулирование угловой скорости крановых электродвигателей как постоянного, так переменного тока. В настоящее время силовые контроллеры применяются для переключений в главных цепях двигателей мощностью до 30 кВт при Л, С и Т режимах работы механизмов крана и от 30 до 75 кВт при Л и С режимах. Приводным органом кулачковых контроллеров на постоянном токе является маховичок, а на переменном токе -

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		59

рукоятка. Каждое рабочее, а также нейтральное (нулевое) положение имеет фиксацию.

Для управления асинхронными двигателями с фазным ротором предназначены контроллеры типов ККТ-61 и ККТ-61А, ККТ-62 и ККТ-62А, ККТ-68А, ККТ-101, ККТ-102, имеющие симметричную для обоих направлений движения механизма схему замыкания контактов. В контроллере ККТ-68А обмотки статора двигателя коммутируются двумя контактами реверса. Для управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором выпускаются контроллеры типа ККТ-63, а для механизмов подъема - также типа ККТ-64.

В схемах управления двигателями постоянного тока применяются силовые контроллеры типов ККП-101 для механизмов передвижения кранов и ККП-102 для механизмов подъема.

2.18.4 Магнитные контроллеры. Они служат для управления двигателями механизмов кранов средней и большой производительности при мощностях двигателей до 150 кВт и напряженном режиме работы с высокой частотой включений.

Магнитные контроллеры используются для приводов мощностью до 10 кВт при ВТ режиме, до 30 кВт при Т и ВТ режимах в свыше 30 кВт при С, Т и ВТ режимах. В таких контроллерах все переключения в силовых цепях двигателей производятся контакторами, катушки которых получают питание через контакты малогабаритного командоконтроллера типа КП, установленного в кабине, а аппаратура управления и защиты (контакторы, реле и др.) монтируется на специальной панели, которая выносится на мост крана. Приводным органом командоконтроллера служит рукоятка. Магнитные контроллеры являются наиболее универсальным средством управления крановыми электроприводами.

Конструктивно панели магнитных контроллеров выполняются в двух вариантах: каркасно-реечными и панельными на изоляционных досках.

Для управления двигателями механизмов передвижения используются магнитные контроллеры трех серий П, Т и К, У контроллеров серии П силовые

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		60

цепи управления получают питание от сети постоянного тока, у контроллеров серии Т - от сети переменного тока. В контроллерах серии К применяются аппараты управления постоянного тока, которые более надежны в эксплуатации и допускают большую частоту включений, чем контакторы и реле переменного тока. Все указанные контроллеры имеют симметричные схемы.

Для управления электроприводами механизмов подъема применяются несимметричные магнитные контроллеры серий ПС, ТС и КС, которые позволяют получать от двигателя низкие посадочные скорости при спуске грузов. Буква А в обозначении типа контроллера подчеркивает, что управление двигателем автоматизировано в функции времени или ЭДС, например ПСА, ТСА и др.

2.18.5 Крановые конечные выключатели. Крановые конечные выключатели служат для предотвращения перехода механизмами предельно допустимых положений (ограничение подъема грузозахватывающего устройства, или хода тележек и мостов), а также блокировки открывания люков и дверей кабины.

Указанная защита преимущественно выполняется посредством рычажных конечных выключателей поворотного типа, которые проще по устройству и надежнее в работе, чем выключатели нажимного типа.

Для механизмов передвижения чаще всего используют выключатели с самовозвратом в исходное положение. Для ограничения верхнего положения крюка применяется выключатель с грузовым приводом. Если необходимо ограничить и верхнее и нижнее положения захватывающего устройства, то устанавливают вращающиеся конечные выключатели, связанные с одним из валов механизма подъема.

В схемах управления крановыми электроприводами применяются следующие типы конечных выключателей: КУ-701 и КУ-706 - рычажные с самовозвратом (для механизмов передвижения); КУ-703 - с самовозвратом под действием груза (для механизмов подъема).

2.18.6 Резисторы в крановых электроприводах применяются для пуска, регулирования угловой скорости и торможения двигателей, для цепей возбуждения и управления, а также для тормозных и подъемных

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		61

электромагнитов. Стандартные ящики резисторов выполняются с литыми чугунами (серии ЯС), ленточными фехралевыми (серии КФ) или пропалочными константановыми (серии НС) элементами, имеющими одинаковый длительно допустимый ток для всех секций ящика. Из комбинаций таких ящиков или включения различных секций последовательно и параллельно можно подобрать любые необходимые сочетания ступеней сопротивлению.

Крановые резисторы выбираются по условиям повторно-кратковременного режима работы. Номинальную продолжительность включения ПВ0 принимают различной в зависимости от режима работы крана. Например, для кранов общего назначения при легком режиме работы для резисторов ПВ = 12,5%, для среднего ре. жима ПВ = 25%, для тяжелого ПВ = 30%. Следует помнить, что не все ступени сопротивления находятся в одинаковых условиях в отношении нагрева: при пуске продолжительность включения больше для тех ступеней, которые отключаются последними. Кроме того, больше вероятность включения тех же ступеней при регулировании угловой скорости двигателя. Поэтому значение относятся только к последней ступени, а для остальных ступеней выбирают значения ПВ, убывающие пропорционально доли сопротивления, выводимой при замыкании каждой ступени.

2.18.7 Реле токовые тепловые серии РТТ предназначены для защиты трехфазных двигателей с короткозамкнутым ротором от длительных перегрузок ($I_{пер} < 1,2...1,3 I_{ном}$), а также от перегрузок, возникающих при обрыве одной из фаз. Реле выпускаются на номинальные токи 10, 25, 63 и 160 А, допускают регулирование тока несрабатывания в пределах $(0,85...1,0) I_{ном.теп.рас}$, имеют ускоренное срабатывание при обрыве одной из фаз и другие особенности.

Реле промежуточные универсальные электромагнитные серии РПУ-4 предназначены для работы в цепях управления электроприводами напряжением до 440 В частоты 50 Гц и 220 В. Втягивающие катушки реле могут питаться как переменным током ($U_{ном,кат}$ от 12 до 440 В), так и постоянным ($U_{ном,кат}$ от 12 до 220 В), номинальный и длительно допустимый ток контактов - 6 и 10 А. Контактная

система и частично электромагнит закрыты прозрачным кожухом от случайного прикосновения и попадания пыли.

2.18.8 Электромагнитные муфты. В станкостроении широко применяются многодисковые фрикционные электромагнитные муфты со смазкой, которые используются для пуска, торможения, реверсирования и дистанционного переключения на ходу ступеней скорости кинематических цепей станков в главном приводе и в приводах подачи. Электромагнитные муфты позволяют переключать скорости и подачи во время работы станка как вхолостую, так и под нагрузкой.

2.19 Описание схемы управления механизмами

Рассмотрение принципиальных схем производится с применением условных буквенных обозначений элементов. Контактные группы элементов имеют полную нумерацию, что облегчает их отыскание в схемах, особенно разветвленных. Принципиальные электрические схемы различных механизмов представлены в (11).

Электропривод металлорежущих станков. На современных токарных, токарно-винторезных и револьверных станках широко применяется автоматизация вспомогательных движений, а также дистанционное управление механизмами станка. Особенностью токарно-револьверных станков является автоматическое переключение скорости шпинделя и подачи без остановки станка, которое производится с помощью электромагнитных муфт, встроенных в коробку скоростей и коробку подач.

Принципиальные электрические схемы управления ЭП металлорежущими станками в § 4.2...4.8 (11).

Принципиальная электрическая схема электропривод подвесной тележки представлена в §3.2 с. 214...219, наземной тележки с. 219...222, (11).

Электропривод компрессорных установок. Схемы представлены в §2.3 с.182...186 и с. 188...195, (11).

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		63

Электропривод насосных установок. Принципиальная электрическая схема АУ задвижкой центробежного насосного агрегата представлен в §2.4 с. 202...205, (11); принципиальная электрическая схема АУ двумя откачивающими насосами на с. 206...209, (11).

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		64

3 ОХРАНА ТРУДА И ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА

В данном разделе приводятся основные правила безопасного ведения работ согласно теме проекта. Как правило, раздел состоит из трех подразделов. Могут быть рассмотрены следующие вопросы:

- 1) Мероприятия по технике безопасности при обслуживании электрооборудования.
- 2) Составление инструкции по технике безопасности при Монтаже (эксплуатации, ремонте) электрооборудования.
- 3) Составление ведомости специального инвентаря и принадлежностей по технике безопасности при эксплуатации и обслуживании электрооборудования.
- 4) Противопожарные мероприятия и составление ведомости противопожарного инвентаря.

Требования, предъявляемые правилами техники безопасности к электроустановкам подстанций и РУ, удовлетворяются проведением ряда мероприятий, а именно:

- применение соответствующих предупредительных плакатов и защитных ограждений, препятствующих доступу к незаземленным частям электроустановок, находящихся под напряжением;

- сооружением защитного заземления или отключение, предотвращающих опасность прикосновения людей к металлическим частям оборудования, нормально не находящимся под напряжением;

- защитных средств (изолирующих подставок, бот, рукавиц, штанг, блокировок и пр.);

- надлежащим организационным оформлением производственных работ, а также выполнением других мер обеспечивающих безопасность проведение работ в электроустановках в соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Руководящие указания по защите персонала, обслуживающего электрооборудование от воздействия электрического поля регламентируют

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		65

мероприятия по снижению напряженности электрического поля на рабочих местах при эксплуатациях и ремонтных работах.

Лица, обслуживающие электроустановки, изучают ПТБ, сдают их в объеме, обязательном для занимаемой должности, и им присваивается определенная группа по электробезопасности.

При осмотре электроустановок главным является то, чтобы не приблизиться к токоведущим частям на расстоянии, меньше чем указано в ПТБ, не проникать за ограждение и барьеры ячеек и камер РУ. Если электродвигатели силовой установки работают при напряжении выше 1000 В, например 6 кВ, и получает питание от шин РУ подстанции, то необходимо на этой подстанции отключить питающий кабель выключателя и разъединителя, запереть их приводы и вывести на приводах выключателя и разъединителя запрещающие плакаты.

Для безопасного проведения работ в электроустановках производят организационные и технические мероприятия.

Организационные мероприятия включают в себя (1, С. 25):

- оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе; надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Ответственными лицами за безопасное проведение работ являются (1. С. 25):

- 1) выдающий наряд-допуск, отдающий распоряжение, утверждающий перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- 2) ответственный руководитель;
- 3) допускающий;
- 4) производитель работ;
- 5) наблюдающий;
- 6) член бригады.

Для безопасного проведения работ в электроустановках необходимо выполнять следующие технические мероприятия (1. С.47):

1) Произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы, в следствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры.

2) На приводах ручного и ключа дистанционного управления коммутационной аппаратуры, должны быть вывешены запрещающие плакаты.

3) Проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены.

4) Наложено заземление.

5) Вывешены предупреждающие плакаты, при необходимости ограждено рабочее место.

При выполнении пункта по составлению инструкций по технике безопасности при эксплуатации электрооборудования направленность вопроса может быть разная, например:

- составление инструкции по технике безопасности при работе с высоковольтными выключателями;

- составление инструкции по технике безопасности при работе с электродвигателями;

- составление инструкции по технике безопасности при замене плавких предохранителей;

- составление инструкции по технике безопасности при обслуживании трансформатора;

- составление инструкции по технике безопасности при эксплуатации станций управления погружными электродвигателями;

- составление инструкции по технике безопасности при работе с осветительными приборами;

- составление инструкции по технике безопасности при оперативных переключениях на подстанции;

- составление инструкции по технике безопасности при замене счетчиков по

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		67

учету электроэнергии;

- составление инструкции по технике безопасности при работе во вторичных цепях;
- составление инструкции по технике безопасности при работе на высоте;
- составление инструкции по технике безопасности при обслуживании цепей релейной защиты;
- составление инструкции по техника безопасности при эксплуатации воздушных линий;
- составление инструкции по техника безопасности при эксплуатации разрядников;
- оставление инструкции по ТБ при работе с автоматическими выключателями.

В пункте противопожарной защиты рассматриваются основные положения противопожарного режима предприятий.

Все рабочие и служащие промышленных предприятий проходят специальную противопожарную подготовку, которая состоит из противопожарного инструктажа (первичного и повторного) и занятий по пожарно-техническому минимуму, проводимых по специальной программе.

Первичный (вводный) инструктаж о соблюдении мер пожарной безопасности должны проходить все вновь принимаемые на работу рабочие и служащие. Для проведения первичного противопожарного инструктажа на предприятии должно быть выделено специальное помещение, оборудованное необходимыми наглядными пособиями. Первичный противопожарный инструктаж можно проводить одновременно с инструктажем по технике безопасности.

Повторный инструктаж (вторичный) проводится на рабочем месте работником, ответственным за пожарную безопасность цеха, мастерской, производственного участка и т. п.

Во время повторного инструктажа, проводимого непосредственно на рабочем месте, вновь принятого работника знакомят с правилами пожарной

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		68

безопасности в данном цехе (мастерской, лаборатории), с технологическими установками повышенной пожарной опасности, средствами пожаротушения и правилами пользования ими, способами вызова пожарной команды или сбора местной ДПД. При повторном инструктаже необходимо отработать действия при тушении пожара с использованием местных средств пожаротушения. Повторный инструктаж проводится также при переводе работника или служащего с одного участка работы на другой.

Проведение инструктажей фиксируется в специальном журнале, в котором указывается дата проведения инструктажа, кто его проводил, в какой цех и на какую должность направляется инструктируемый.

Противопожарный режим на производстве означает соблюдение работающими ряда специальных указаний и противопожарных правил применительно к условиям данного производства.

Основные элементы противопожарного оборудования огнетушители, ящики с сухим песком, листовой асбест и лопаты. При эксплуатации огнетушителей необходимо систематически следить за их исправностью; проверять один раз в месяц весовой заряд углекислоты, находящейся в огнетушителях; оберегать их от нагрева солнцем или другими источниками теплоты, а также ударов. Доступ к огнетушителям должен быть свободен. Для предотвращения загораний, пожаров и взрывов на производстве важное значение имеет правильно организованная профилактика, особенно при выполнении огневых работ.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		69

Список литературы

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – Москва: ИНФРА-М, 2017. - 130 с. - ISBN 978-5-16-102606-9. - URL: <https://new.znaniium.com/read?pid=782833> (дата обращения: 04.02.2020). - Текст : электронный.

2. Правила устройства электроустановок. 7-е и 6-е издания. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2014. – 1168 с. – ISBN 978-5-93630-934-2. - Текст: непосредственный.

3. Графкина, М.В. Охрана труда: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования/ М.В. Графкина. - Москва: издательский центр «Академия», 2018. - 176 с. - ISBN 978-5-4468-7193-3 – Текст: непосредственный.

4. Кноринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения/ Г.М.Кноринг, И.М. Фадин, В.Н.Сидоров – 2-е изд, перераб. и доп.- Москва: Альянс, 2019. – 448 с. ISBN 978-5-00106-317-9 – Текст: непосредственный.

5. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие/Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яшков. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2017. – 368 с. . ISBN 978-5-91134-931-8 (ФОРУМ), ISBN 978-16-010036-4 (ИНФРА-М). – Текст: непосредственный.

6. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение предприятий добычи и переработки нефти и газа: учебник/ Ю.Д. Сибикин. – Москва: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2019. – 3528 с. . ISBN 978-5-91134-840-3 (ФОРУМ), ISBN 978-16-009425-0 (ИНФРА-М). – Текст: непосредственный.

7. Соколова, Е.М. Электрическое и электромеханическое оборудование: Общепромышленные механизмы и бытовая техника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования/ Е.М. Соколова.- 12-е изд., стер. - Москва: Издательский центр «Академия», 2017. – 224 с. ISBN 978-5-4468-4708-2. – Текст: непосредственный.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		70

8. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов: учеб. пособие/ В.П. Шеховцов. - 2-е изд. - Москва : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. - 352 с. - (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-107314-8. - URL: <https://new.znaniium.com/read?pid=1003782> (дата обращения: 04.02.2020). - Текст: электронный.

9. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: учебное пособие/ В.П. Шеховцов. - 3-е изд., испр. - Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. - 214 с. - (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-107398-8. - URL: <https://new.znaniium.com/read?pid=1079491> (дата обращения: 04.02.2020). - Текст: электронный.

10. Шеховцов, В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: учеб. пособие/ В.П. Шеховцов. - 3-е изд. - Москва : ИНФРА-М, 2019. - 136 с. - (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-106096-4. - URL: <https://new.znaniium.com/read?pid=1000152> (дата обращения: 04.02.2020). – Текст: электронный.

11. Шеховцов, В. П. Электрическое и электромеханическое оборудование: учебник/ В.П. Шеховцов. - 3-е изд. - Москва: ИНФРА-М, 2019. - 407 с. - (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-104435-3. - URL: <https://new.znaniium.com/read?pid=989903> (дата обращения: 04.02.2020). - Текст : электронный.

12. Юрчук, А.М. Расчеты в добыче нефти: учебник для техникумов, 3-е изд., переработ. и доп./ А.М. Юрчук, А.З. Истомин. – Москва: ИД «Альянс», 2019. – 272 с. ISBN 978-5-00106-312-4. – Текст: непосредственный.

					ЛНТ.ТЭО.01.00.000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		71