

Г.В. Никитенко, Е.В. Коноплев

**ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЮ, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**
(Выпускная квалификационная работа)

Учебное пособие

по направлениям подготовки:
35.03.06 «Агроинженерия»,
профиль - «Электрооборудование и электротехнологии для
сельского хозяйства»;
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,
профиль – «Электроснабжение»

ББК 40.76
УДК 631.371:621.311.001.2(075.3)
К 12

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии»,
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина»
О.В. Григораш;

доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика и
информационно-управляющие системы», зам. директора по научной работе
Азово-Черноморского инженерного института, ФГБОУ ВО «Донской ГАУ»
И.В. Юдаев

Никитенко Г.В.

К12 Дипломное проектирование по электрооборудованию, электротехнологии
и электроснабжению сельского хозяйства (Выпускная квалификационная
работа): учебное пособие / Г.В. Никитенко, Е.В. Коноплев

Изложена методика написания и требования, предъявляемые к выпускной
квалификационной работе по направлениям подготовки: 35.03.06 - «Агроинженерия»,
профиль «Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства»,
13.03.02- «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение».

Представлены краткие сведения по теории и справочные материалы,
необходимые для проектирования комплексной электрификации и автоматизации
сельскохозяйственного производства. Изложены рекомендации по выбору
электрооборудования и электрических приводов агропромышленных предприятий.
Рассмотрены вопросы, связанные с расчетом электрических нагрузок, токов
короткого замыкания, выбором трансформаторных подстанций и определением
потерь энергии в электрических сетях сельскохозяйственного назначения. Приведены
примеры решения типовых задач. Дано описание программы для
автоматизированного расчета распределительных сетей до 35 кВ.

Для учащихся высших учебных заведений, осваивающих общеобразовательные
программы подготовки бакалавриата.

ББК 40.76
УДК 631.371:621.311.001.2(075.3)

© Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., 2017

ВВЕДЕНИЕ

С целью определения уровня подготовленности студента-бакалавра для практической работы по направлениям «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства» и «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение» в конце обучения проводится государственная итоговая аттестация в виде подготовки и защиты выпускной квалификационной работы (ВКР).

Дипломное проектирование (выпускная квалификационная работа) подводит итог всему процессу обучения и выявляет, насколько успешно студенты за четыре года обучения в высшем учебном заведении освоили материал преподаваемых дисциплин, овладели профессиональными компетенциями в соответствии с требованиями общеобразовательной программы по выбранному направлению подготовки.

Процедура написания ВКР раскрывает: степень успешного освоения студентами навыков работы с технической и справочной литературой; способность к самостоятельному освоению инженерных методик расчетов; уровень овладения официально-деловым стилем лаконичного написания пояснительной записки в соответствии с требованиями ГОСТ; умение представлять техническую информацию в виде принципиальных электрических, функциональных и технологических схем; приобретённые навыки графического изображения объектов, функциональных зависимостей, написания формул и представления количественных величин в табличной форме с целью наиболее полного раскрытия темы дипломного проектирования; насколько успешно выпускниками усвоены основы отображения итоговых результатов проделанной работы в сжатой форме на графических листах формата А1 или в форме электронной презентации.

В процессе завершающего этапа подготовки - дипломного проектирования выпускники технических направлений сталкиваются с рядом трудностей, одной из которых является низкий уровень представления о требованиях, предъявляемых к написанию выпускной квалификационной работе, её структуре и содержанию. Для устранения вышеуказанных трудностей студентам необходимо повторно изучать большое количество теоретического и информационного материала, представленного в учебниках, учебных пособиях и справочной литературе. Много сил и времени, в ущерб написанию ВКР, студент тратит на поиск необходимой литературы с примерами расчетов, на самостоятельное освоение методов проектирования и выбора современного электрооборудования, предназначенного для установок, машин и агрегатов, входящих в технологические линии производства

сельскохозяйственной продукции, и систем электроснабжения производственных и бытовых объектов агропромышленного комплекса.

Для сокращения времени, затрачиваемого студентами на поиски литературы по выбранной тематике дипломного проектирования, облегчения выбора темы выпускной квалификационной работы, составления содержания, освоения методик расчетов и в целом написания ВКР по вышеуказанным направлениям подготовки и предназначено предлагаемое учебное пособие.

Учебное пособие состоит из трех разделов. Первый раздел раскрывает вопросы, связанные с изучением общих подходов к написанию выпускной квалификационной работы. Во втором представлены методики расчета электрифицированных машин и механизмов, входящих в состав сельскохозяйственных технологических линий производства продукции. Третий раздел посвящен расчету и проектированию систем электроснабжения объектов и установок сельскохозяйственного назначения.

В учебном пособии особое внимание уделяется выбору технологического и электрического оборудования, аппаратуре управления и защите, методикам расчета электроприводов, предназначенных для сельскохозяйственных нагрузочных машин и средств коммутации низковольтной и высоковольтной аппаратуры. Рассматриваются вопросы нахождения мощности трансформаторных подстанций, расчета сечений внутренних и внешних электрических проводок, определения потерь напряжения в высоковольтных и низковольтных сетях, выбора релейной защиты и проектирования устройств заземления производственных и коммунально-бытовых сельскохозяйственных зданий и сооружений.

Учебное пособие написано в соответствии с требованиями государственных стандартов высшего образования по направлениям подготовки «Агроинженерия» и «Электроэнергетика и электротехника» и является дополнением к соответствующей учебной, справочной и научной литературе, которая рекомендована к использованию студентам высшего учебного заведения при написании выпускной квалификационной работы по выбранному направлению и профилю подготовки.

РАЗДЕЛ 1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОГОТОВКИ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

1 МЕТОДИКА НАПИСАНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

1.1 Выбор темы бакалаврской работы

Тема бакалаврской работы выбирается с учетом будущей профессиональной деятельности и производственных объектов, на которых предстоит работать выпускнику бакалавриата. Тема должна обязательно иметь проблемный характер и быть актуальной в теоретическом или практическом плане, социально и профессионально значимой. Тематика квалификационных работ обязана ориентировать учащихся на решение наиболее актуальных задач сельской электрификации, выбор рациональных проектов, стимулирующих широкое внедрение инновационной техники и современных энергосберегающих технологий, на реконструкцию и проектирование высоковольтных подстанций, автономных систем электроснабжения, схем электрического снабжения населенных пунктов, фермерских и крестьянских хозяйств, производственных предприятий и культурно-бытовых центров. Выбор темы бакалаврской работы связан с предложением новых методов и подходов, а также разработки организационных, технических и технологических решений по электроснабжению населенного пункта, агропроизводственного сектора или электрификации производственных процессов сельскохозяйственных предприятий; подбором необходимого электрооборудования и схем автоматики с учетом достижений науки и техники, современного уровня развития производства, обеспечения безопасности обслуживающего персонала, сельскохозяйственных животных и птицы, требований технической эксплуатации электрооборудования, экономического анализа перспективного развития объекта и технико-экономического обоснования принятых решений. Выпускные бакалаврские работы должны выполняться для реально существующих хозяйств или аграрных предприятий регионов Российской Федерации.

По профилю подготовки **«Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства»** темы бакалаврских работ должны быть посвящены вопросам широкого внедрения электрической энергии в агропромышленное производство. Агроинженерная подготовка бакалавров предусматривает выбор тем выпускных квалификационных работ, нацеленных на создание и замену

устаревшего электрооборудования, и внедрение новых электрифицированных технологий в животноводческие и птицеводческие фермы и комплексы, зерноочистительно-сушильные пункты, теплично-парниковые сооружения, ремонтно-технологические мастерские и т.п. Темы бакалаврских работ могут формулироваться следующим образом.

Например, *«Электрификация помещения для нетелей на 500 голов СПК “Архангельский” Буденовского района с разработкой автоматизации процесса навозоудаления» или «Реконструкция электрооборудования свино-товарной фермы на 2000 голов ООО «Байсад-Агро» Кировского района с разработкой системы водоснабжения».*

Если выпускник заканчивает бакалавриат по профилю **«Электроснабжение»**, то темы бакалаврских работ необходимо связывать с проектированием систем электроснабжения производственных и бытовых сельскохозяйственных объектов, расчетом и анализом режимов работы систем электрического снабжения. В тематике выпускных квалификационных работ следует предусматривать разработку организационно-технических мероприятий, направленных на реконструкцию и обновление материально-технической базы электрохозяйства, а также на учет энергии, энергосбережение и организацию рационального, бесперебойного и в требуемом объеме качественного электроснабжения сельских потребителей.

В качестве **примера** можно привести следующие темы: *«Реконструкция трансформаторной подстанции для гаража на 40 тракторов и автомобилей ООО «Надежда» Шпаковского района с разработкой блокировки от неправильных действий с разъединителями» или «Электроснабжение молокозавода ООО «Надежда» Александровского района с разработкой системы контроля и учета электрической энергии».*

В бакалаврской работе помимо решения общих вопросов применения электрической энергии, автоматизации и электроснабжения сельскохозяйственных объектов обязательно должен быть раздел, так называемый «специальный вопрос», сущность которого заключается в углубленном и детальном изучении какого-либо узконаправленного технологического процесса или специализированного оборудования по выбранной теме.

По профилю **«Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства»** могут рассматриваться вопросы электрификации и автоматизации, направленные на повышение производительности и сокращение затрат на производство единицы сельскохозяйственной продукции при усовершенствовании технологических процессов.

Например, процессов: кормоприготовления и раздачи кормов; доения коров и первичной обработки молока; уборки и транспортировки навоза; водоснабжения и поения животных; регулирования микроклимата и создание систем вентиляции; ультрафиолетового облучения рассады в закрытом грунте; местном обогреве молодняка животных и др.

В выпускной квалификационной работе по профилю «Электроснабжение» подробно изучаются вопросы, направленные на совершенствование процессов и электрооборудования для полноценного электроснабжения предприятий агропромышленного комплекса.

Например, выбор средств и повышение надежности электроснабжения потребителей, обеспечение нормированного качества электрической энергии у потребителей, увеличение коэффициента мощности, разработка схем релейной защиты, технические средства для плавки гололеда, защита сельских электрических установок от атмосферных перенапряжений, автоматизация систем учета электрической энергии, управление, контроль и сигнализация на электрических станциях и подстанциях и др.

Выполнение бакалаврской работы складывается из теоретического обоснования общепринятых этапов: введения, общей и специальной частей, заключения. Предлагаемые разделы дают возможность в полной мере раскрыть выбранную тему выпускной квалификационной работы.

Для выпускников электроэнергетических факультетов рекомендуется следующее содержание наиболее значимых частей выпускной квалификационной работы бакалавра:

- общая часть, в состав которой входят разделы и подразделы, кратко раскрывающие вопросы экономической деятельности хозяйства или промышленного объекта. В параграфах этой части в виде графиков, диаграмм и сводных таблиц даются данные, полученные в результате обследования агропредприятия, характеризующие общий уровень электрификации и показывающие перспективные потребности в электрической энергии для дальнейшего развития производственных объектов и увеличения выхода выпускаемой продукции. Рассматривается состояние и структура электротехнической службы главного энергетика. В этой части приводятся расчеты оборудования, входящего во вспомогательные технологические процессы промышленного объекта, по которому пишется выпускная квалификационная работа. Раскрываются общие вопросы проектирования систем освещения и облучения, производится выбор аппаратуры защиты и управления, осуществляется расчет и выбор типа трансформаторной подстанции, выбираются сечения внутренней и внешней проводки, определяются потери мощности,

энергии и напряжения, выполняется компенсация реактивной мощности в низковольтных сетях и т.д.;

- специальная часть, обычно, посвящается детальной проработке одного из выбранных технологических процессов с точки зрения его электроснабжения или проведения комплекса технических мероприятий, направленных на повышение степени электрификации и уровня автоматизации производственных объектов. В специальной части может обосновываться необходимость реконструкции электрических подстанций и сетей высокого и низкого напряжения, разработка схем плавки гололеда на линиях электропередачи в зимнее время года, создание современных систем защит от аварийных режимов работы сельских электрических установок. В этой части могут рассматриваться вопросы по реконструкции и замене устаревшего электрического оборудования на сельскохозяйственных производственных объектах. Приводятся наиболее распространенные схемы автоматизации технологических процессов и установок в животноводстве, птицеводстве, растениеводстве и других сельскохозяйственных отраслях.

1.2 Тематика дипломного проектирования по профилю «Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства»

Выпускная бакалаврская работа позволяет учащимся закрепить теоретические знания, полученные в процессе изучения профессиональных дисциплин вариативной части по выбранному профилю подготовки. Квалификационная работа дает возможность выпускникам научиться использовать на практике полученные за годы обучения знания, навыки и умения для решения задач производственного характера. Темы бакалаврских работ должны быть разнообразными и по возможности основываться на реальных данных, выявленных в процессе обследования хозяйств и предприятий во время прохождения производственной практики и информации, взятой из типовых проектов.

Формулировка тем обязана быть увязана с профилем подготовки бакалавра и направлена на **реконструкцию и модернизацию** оборудования, входящего в состав технологических процессов на предприятиях:

- по производству, транспортировке и распределению электрической энергии, проектированию, диагностированию и ремонту электрооборудования и электрических машин;

- технического сервиса электрооборудования постоянного и переменного тока;

- с использованием в техпроцессах возобновляемых и экологически чистых источников энергии;

- по проектированию управляемых электроприводов и автоматизированных систем управления технологических процессов, энергетических установок и средств автоматики промышленного, бытового и сельскохозяйственного назначения;

- занимающихся энергосберегающими технологиями и системами электро-, тепло-, водо- и газоснабжения промышленных, сельскохозяйственных и бытовых потребителей;

- разрабатывающих автоматизированные системы составления и ведения нормативно-технической документации;

- занимающихся изготовлением, внедрением, пуско-наладкой и обслуживанием электрифицированных и автоматизированных систем хранения и переработки продукции растениеводства, животноводства и птицеводства;

- с эксплуатацией осветительного и облучательного оборудования в сооружениях закрытого грунта для выращивания растений;

- с использованием современных электротехнологий в растениеводстве и животноводстве сельхозпредприятий, фермерских и подсобных хозяйствах, включая электрифицированные бытовые процессы;

- где выполняется диагностика, ремонт и техническое обслуживание электрооборудования мобильной сельскохозяйственной техники.

В качестве названий бакалаврских работ принимаются формулировки тем, связанные с широким внедрением в агропромышленный комплекс:

- электрической энергии и средств автоматизации на животноводческих фермах и комплексах, предназначенных для выращивания животных и птицы, а также производства продукции, **например, фермах крупного рогатого скота и свиноводческих фермах; товарных: молочных, мясных и мясомолочных комплексах, птицеводческих и овцеводческих фермах, зверофермах и конефермах;**

- новейшего электрифицированного и автоматизированного оборудования на предприятиях закрытого грунта, **например, зимние остекленные теплицы, весенние остекленные теплицы, пленочные теплицы, парники, шампиньонницы, оранжереи;**

- электрических технологий, современного электрооборудования и систем автоматического управления на единичных сельскохозяйственных объектах, **например, коровниках, телятниках, свинарниках, птичниках, цехах по приготовлению кормов, мельницах, зерновых токах и элеваторах, овощехранилищах и фруктохранилищах, механических и ремонтных**

мастерских, деревоперерабатывающих цехов и крестьянско-фермерских хозяйствах и предприятиях.

Особое внимание следует уделить формулировке, так называемой **«специальной части»** бакалаврской работы. В её название могут быть включены сочетания слов, **например:**

- выбор электрооборудования для первичной обработки и кратковременного хранения молока;
- электрификация и автоматизация технологических процессов в коровнике на 200 голов;
- разработка электропривода навозоуборочного транспортера ТСН-160Б для свинарника на 800 голов;
- проектирование вентиляционной установки для создания оптимального микроклимата птицеводческой фермы на 500 голов;
- разработка электропривода кормораздатчика для фермы крупного рогатого скота на 100 голов;
- автоматизация обогрева и вентиляции телятника (коровника, свинарника и т.п.);
- выбор электрооборудования для комбинированного обогрева свинарника-маточника на 300 мест;
- применение электрообогреваемых полов в свинарнике для поросят-отъемышей на 280 голов;
- разработка энергоэффективной ультрафиолетовой облучательной установки для свиноводческой фермы по выращиванию и откорму на 750 голов в год;
- разработка устройства электрофльтрации воздуха в цехе инкубации птицефабрики на 1500 клеточных кур-несушек;
- проектирование системы искусственного освещения и облучения в птичнике на 1000бройлеров;
- автоматическое управление температурно-влажностным режимом в птичнике;
- разработка системы автоматического дозирования кормов в коровнике на 400 голов;
- электрификация производственных процессов в кормоцехе;
- выбор электрооборудования для кормоприготовления зверофермы;
- разработка системы автоматизации водоснабжения для молочно-товарной фермы;
- автоматизация насосных установок для снабжения водой сельскохозяйственного поселка.

1.3 Рекомендуемые темы выпускных бакалаврских работ по профилю «Электроснабжение»

Профиль подготовки бакалавров - «Электроснабжение» предусматривает подготовку квалифицированных специалистов для решения вопросов, связанных с производством, передачей и распределением электрической энергии с целью бесперебойного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей и поселков городского типа. В агропромышленном производстве с каждым годом становится все меньше и меньше объектов и производств, где бы ни использовалась электрическая энергия.

Постоянно возрастающие потребности в потреблении электроэнергии в городах и в сельскохозяйственных регионах формируют стабильный спрос на бакалавров соответствующего направления и профиля подготовки. Все виды сельскохозяйственных предприятий пользуются электрической энергией, во всех жилых домах в сельских населенных пунктах имеется электрический ввод. Воздушными линиями электропередачи охвачены почти все сельские населенные пункты. Однако, это не означает прекращения работ по их сооружению. Электрическая нагрузка в сельском хозяйстве непрерывно возрастает, появляется необходимость в увеличении пропускной способности линий электропередачи. Новое их строительство на селе все больше заменяется систематической реконструкцией. При этом часть воздушных линий заменяется подземными кабельными.

Электроснабжение производственных предприятий и населенных пунктов в сельской местности имеет свои особенности по сравнению с электроснабжением промышленности и городов. Исходя из этого, и необходимо формировать дисциплины вариативной части основной образовательной программы по подготовке бакалавров по профилю «Электроснабжение».

В вариативную часть подготовки бакалавров входит изучение новейших схем электроснабжения, средств их автоматизации, защиты и диспетчеризации с применением ЭВМ, а также изучение современного электрооборудования, основанного на промышленной электронике, надежно обеспечивающего качественной энергией потребителей разных категорий электроснабжения. Заканчивается четырехлетнее обучение студентов подготовкой и защитой выпускной бакалаврской работы с тематикой, соответствующей выбранному профилю подготовки.

Тема выпускной квалификационной работы должна формироваться с учетом будущей производственной деятельности бакалавра и отражать, **например:**

- реконструкцию электрических сетей 380/220 В сельскохозяйственного населенного пункта;
- электроснабжение производственного сектора, например, животноводческого или птицеводческого комплексов;
- модернизацию электрооборудования и средств автоматики подстанции 6...35/0,4 кВ для электрического снабжения населенного поселка и производственного сектора;
- разработку проекта высоковольтной линии (ВЛ) электропередачи напряжением 6...35 кВ для электроснабжения группы сельскохозяйственных потребителей;
- переоснащение пунктов АВР и секционирующих пунктов ВЛ 6...35кВ, например, вакуумными выключателями и микропроцессорными устройствами.
- создание систем охранной сигнализации на подстанциях различного напряжения;
- разработку автоматизированной системы сбора технологической информации и диспетчерского управления районных электрических сетей;
- создание систем телемеханики на подстанциях 35 кВ;
- внедрение передовых технологий мониторинга о текущем состоянии элементов ВЛ (проводов, опор, изоляции, ВОЛС на ВЛ и т.д.);
- оснащение ВЛ 6...35 кВ датчиками определения мест повреждения в линиях;
- создание воздушных линий электропередачи, требующих минимальные эксплуатационные затраты;
- разработку компактных воздушных линий, занимающих минимальные площади на местности;
- применение эффективных систем защиты ВЛ от воздействий гололедных и ветровых нагрузок, грозовых перенапряжений, вибрации и пляски проводов (тросов).

Бакалаврская работа по выбранному направлению и профилю подготовки является самостоятельным квалифицированным трудом и может выполняться не по данным обследования хозяйства и информации, взятой из типового проекта, а на основании проведенной научно-исследовательской работы.

Темы научных выпускных работ должны отражать новизну и соответствовать целям и поставленным задачам научного исследования. Содержание итоговой квалификационной работы оговаривается с научным руководителем и планомерно выполняется в лабораториях кафедры или сторонних учреждениях научного профиля в соответствии с имеющимся графиком, утвержденным на заседании кафедры.

Название тем бакалаврских работ обычно соответствует тематике научных исследований, проводимых профессорско-преподавательским составом выпускающей кафедры. Рекомендуется темы выпускных квалификационных работ формулировать следующим образом, **например**: «*Параметры и режимы работы сепаратора молока с частотно-регулируемым электроприводом*»; «*Автоматизированный энергосберегающий электропривод вентиляторов в картофелехранилище*»; «*Обоснование конструкции и режима работы высоковольтного разъединителя на основе линейного электропривода*»; «*Повышение надежности и качества электроснабжения СПК «Меркурий» Изобильненского района за счет применения нетрадиционных источников энергии*»; «*Разработка селективной защиты от замыкания на землю для воздушных и кабельных линий 6...35 кВ с быстросрабатывающим алгоритмом*».

Научные бакалаврские работы, как правило, выполняются выпускниками, которые в дальнейшем собираются продолжить обучение в магистратуре.

1.4 Организация сбора данных для выполнения бакалаврской работы

Перед отъездом на производственную практику со студентами выпускного курса проводится собрание, на котором подробно рассказывается, какие исходные материалы и документы необходимо собрать во время прохождения практики. После собрания необходимо встретиться со своим руководителем, уточнить тему выпускной бакалаврской работы, а также в каком объеме и для каких разделов требуется собрать данные, чтобы их хватило для написания всех глав квалификационной работы.

В обязанности руководителя входит: выдача студенту задания на практику, составление календарного графика последовательного выполнения намеченных пунктов, контроль своевременности выполнения основных этапов, рекомендация литературы и нормативных материалов, оказание методической помощи.

В общем виде процесс подготовки и выполнения выпускной бакалаврской работы предусматривает следующие основные этапы:

1. Выбор, формулировка и согласование с руководителем направления темы бакалаврской работы.

2. Определение основного содержания и структуры; составление и согласование с руководителем плана бакалаврской работы.

3. Определение и согласование (при необходимости) с консультантами содержания соответствующих разделов плана бакалаврской работы.

4. Поиск, подбор, изучение и анализ литературы по тематике бакалаврской работы.

5. Составление задания на выполнение бакалаврской работы; сбор, обработка, изучение и анализ фактических материалов и данных по теме работы на базе производственной практики.

6. Подготовка и написание бакалаврской работы.

7. Окончательное согласование структуры и содержания бакалаврской работы с руководителем.

8. Представление надлежащим образом оформленной бакалаврской работы руководителю на отзыв.

9. Завершающая редакция и представление бакалаврской работы на кафедру, подготовка к защите.

10. Защита бакалаврской работы.

Производственная практика должна проходить на объектах, соответствующих выбранной теме бакалаврской работы. Во время прохождения практики учащиеся должны детально изучить структуру производственных предприятий хозяйства, основные технологические процессы и оборудование. Ознакомиться с устройством, монтажом и особенностями технической эксплуатации электроустановок, системами энерго- и электроснабжения, организацией охраны труда и экологической безопасности. Учитывая сжатые сроки написания бакалаврской работы, желательно за период практики подготовить в черновом варианте первую главу квалификационной рукописи.

Разделом практики может являться научно-исследовательская работа (НИР) студентов. НИР бакалавров проводится на выпускающей кафедре, а также на базе научных лабораторий и центров высшего учебного заведения.

Основной целью НИР бакалавра является развитие способности самостоятельного осуществления научно-исследовательской работы, связанной с решением сложных профессиональных задач в инновационных условиях.

Научно-исследовательская работа в семестре и во время преддипломной практики выполняется учащимся под руководством научного руководителя. Направление научно исследовательских работ бакалавра определяется в соответствии с программой бакалавриата, темами курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

При разработке программы научно-исследовательской работы высшее учебное заведение и выпускающие кафедры обязаны

предоставить возможность выпускникам: изучать специальную литературу и другую научно-техническую информацию, по которой можно отслеживать достижения отечественной и зарубежной науки и техники в соответствующей области знаний. Участвовать в проведении научных исследований или выполнении технических разработок. Осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации по выданному руководителем заданию. Принимать участие в стендовых и промышленных испытаниях опытных образцов проектируемых изделий. Участвовать в составлении отчетов и написании рефератов по выбранной теме научных исследований. Подготавливать научные статьи, охранные документы и возможность выступать с докладом на научно-практических конференциях.

1.5 Структура выпускной бакалаврской работы

Бакалаврская работа состоит из расчетно-пояснительной записки (50... 60 страниц текста компьютерного набора) и графической части (4...5 листов ватмана формата А1 или презентации), содержание которых обязано раскрывать выбранную тему. Пояснительная записка в общем случае должна отражать следующие основные разделы и подразделы, выраженные в процентном отношении от объема общего текста, **например, для записки, содержащей 50 с. формата А4:**

- титульный лист - 2%;
- задание на выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра - 2%;
- аннотация - 2%;
- ведомость бакалаврской работы - 2%;
- введение - 2%;
- основной раздел «Электрификация производственных процессов» или «Электроснабжение потребителей» - 56%;
- раздел «Безопасность жизнедеятельности» на объекте - 8%;
- раздел «Экология» - 4%;
- раздел «Экономическое обоснование принимаемых решений» (**при необходимости**) - 10%;
- заключение (выводы и предложения) - 2 %;
- список использованной литературы (не более 25 наименований) - 6%;
- содержание - 4%;
- приложение (**при необходимости**).

Бакалаврская работа, как указывалось ранее, состоит из двух частей. В первой части приводится информация общего характера по выбранному

объекту проектирования, а во второй - специальной части представляются расчеты по электрификации, автоматизации технологических процессов и установок или обосновываются предложения по электроснабжению производственных и бытовых потребителей.

Основной раздел бакалаврской работы по профилю подготовки «Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства» помимо спецвопроса может содержать следующие подразделы, которые при необходимости могут корректироваться или заменяться. Количество подразделов выбирается в зависимости от степени раскрытия темы дипломного проектирования.

1. *Краткая характеристика объекта электрификации.*
2. *Выбор технологических схем, рабочих машин и агрегатов.*
3. *Выбор электроприводов для нагрузочных машин.*
4. *Расчет и выбор водоснабжающей установки и оборудования для станции управления.*
5. *Расчет системы вентиляции в помещении и теплового баланса.*
6. *Выбор электротехнологической - нагревательной установки и её расчет.*
7. *Проектирование электрических схем автоматизированного или автоматического управления электрооборудованием.*
8. *Расчет освещения и облучения объекта электрификации.*
9. *Расчет внутренних силовых сетей низкого напряжения.*
10. *Проектирование наружных силовых и осветительных сетей 0,38 кВ.*
11. *Расчет электрических нагрузок потребителей на вводе в здание.*
12. *Проектирование трансформаторной подстанции 6-10/0,4 кВ.*
13. *Расчет токов короткого замыкания и проверка селективности срабатывания защитной аппаратуры.*
14. *Выбор аппаратуры коммутации, управления и защиты электроустановок напряжением до 1000 В.*
15. *Проектирование установок для компенсации реактивной мощности.*
16. *Определение возможности запуска асинхронного электродвигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора от источника электроснабжения соизмеримой мощности.*

В графическую часть бакалаврской работы рекомендуется включать следующие материалы:

- генплан объекта с нанесением трансформаторной подстанции 6-10/0,4 кВ, линий электропередачи напряжением 0,38 кВ и проводов освещения, **например**, МТФ, СТФ, тепличного комбината, гаража и т.д.;
- план объекта с расположением осветительного оборудования, прокладки сетей освещения и принципиальной схемы распределительной сети, **например**, коровника, свинарника, кормоцеха, овощехранилища и т.д.;
- план объекта с расположением силового оборудования, прокладки силовых сетей и расчетной схемы нагрузки;
- лист с информацией по специальному вопросу;
- таблицу с экономической эффективностью принятых решений **(при необходимости)**.

Для профиля «Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства» аргументируется применение электрической энергии в различных технологических процессах агропромышленного производства с подробной разработкой одного из наиболее важных техпроцессов или электрифицированной установки, а для профиля подготовки «Электроснабжение» приводятся расчеты электрооборудования, и обосновывается выбор рационального электроснабжения потребителей сельского хозяйства.

В основном разделе по профилю подготовки «Электроснабжение» рекомендуется рассматривать совместно с раскрытием специального вопроса следующие подразделы, которые выбираются в зависимости от выбранной темы.

1. Расчет электрических нагрузок, например, населенного пункта или производственной сферы деятельности хозяйства.
2. Определение места расположения трансформаторной подстанции, выбор конфигурации сетей 0,38кВ.
3. Нахождение электрических нагрузок сети 0,38кВ.
4. Определение необходимого количества трансформаторов на подстанции и их мощности.
5. Расчет нагрузки в сети высокого напряжения.
6. Расчет сечения проводов в сети высокого напряжения.
7. Нахождение потерь напряжения в высоковольтных сетях и трансформаторе.
8. Определение потерь мощности и электрической энергии в сети высокого напряжения и трансформаторе.
9. Расчет допустимых потерь напряжения в сети 0,38 кВ.
10. Расчет сечения проводов и потерь напряжения, мощности и энергии в сетях напряжением 0,38 кВ.

11. *Выбор конденсаторных батарей для компенсации реактивной мощности в сетях 0,38 кВ.*
12. *Определение конструктивных параметров высоковольтной и низковольтной линий электропередачи.*
13. *Расчет токов короткого замыкания.*
14. *Выбор и проверка защитной аппаратуры высокого напряжения.*
15. *Расчет уставок релейной защиты.*
16. *Выбор и проверка высоковольтной и низковольтной аппаратуры на трансформаторной подстанции.*
17. *Согласование защит и составление карты селективности.*
18. *Выбор устройства защиты от перенапряжений.*
19. *Расчет контура заземления подстанции.*

Графическая часть бакалаврской работы может состоять из следующих листов, **например**:

- *ситуационный план электроснабжения объекта;*
- *принципиальная схема районной понижающей трансформаторной подстанции 110/35/10 кВ или 110/ 10 кВ или 35/10 кВ;*
- *расчет токов короткого замыкания и выбор аппаратуры защиты и управления на РТП;*
- *информация по специальному вопросу;*
- *таблицы с экономической эффективностью инвестиционных решений (при необходимости).*

Приведенные структуры бакалаврских работ и графической части являются рекомендуемыми и при необходимости могут корректироваться руководителем совместно с выпускником в зависимости от особенностей тематики, выбранных объектов и инновационного электрооборудования.

Если выпускник выбирает бакалаврскую работу с научной тематикой, то её содержание определяет руководитель в зависимости от поставленной цели и требуемой глубины исследования проблемного вопроса.

Рекомендуемая структура научно-исследовательской бакалаврской работы с обобщенными названиями глав:

- титульный лист;
- задание;
- содержание;
- реферат;
- введение;
- глава «Обзор литературы и задачи исследования»;
- глава «Теоретические исследования»;
- глава «Экспериментальные исследования»;

- глава «Технико-экономическое обоснование»
(при необходимости);
- заключение;
- список используемых источников (не более 30 наименований);
- приложение **(при необходимости).**

Наименование темы выпускной бакалаврской работы научного содержания формируется исходя из выбранного направления научно-исследовательской работы. Содержание расчетно-пояснительной записки, процентное соотношение объема глав, а также информацию, которую необходимо выносить на графические листы определяет руководитель совместно с выпускником-бакалавром.

1.6 Примеры содержания бакалаврских работ

Примерное содержание расчетно-пояснительной записки для выпускников бакалавриата, обучающихся по профилю «Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства» на тему: *"Электрификация технологических процессов в свиноводстве фермерского хозяйства с выбором электрооборудования для комбинированного обогрева"* представлено ниже.

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

ЗАДАНИЕ

АННОТАЦИЯ

ВЕДОМОСТЬ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

1 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ И ОТКОРМА СВИНЕЙ

1.1 Производственная характеристика фермерского хозяйства и состояние его уровня электрификации

1.2 Экономический анализ перспективного развития с учетом выращивания и откорма свиней

2 КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СВИНОВОДСТВЕ

2.1 Обоснование содержания животных по возрастным группам

2.2 Расчет и выбор силового технологического электрооборудования свиноводства

2.3 Светотехнический расчет электрического освещения и выбор светильников

2.4 Методика расчета и выбора пускозащитной аппаратуры, осветительного и силового щитов

2.5 Методика выбора силовой и осветительной проводки в свинарнике

3 ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ОБОГРЕВА

3.1 Анализ существующих систем электрообогрева свинарника с разными возрастными группами животных

3.2 Расчет и выбор вентиляционно-калориферной установки

3.3 Выбор и расчет электрооборудования для местного обогрева

3.4 Определение дозы ультрафиолетового облучения свиней и выбор типа облучательной установки

3.5 Разработка принципиальной электрической схемы автоматического управления электрокалориферной установкой

3.6 Принципиальная электрическая схема автоматического управления установками местного обогрева животных

4 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СВИНАРНИКА

4.1 Подсчет максимума дневных и вечерних нагрузок на вводе в здание

4.2 Электроснабжение свинарника от трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ

4.3 Надёжность электроснабжения, ущерб от перерывов электроснабжения и отказов электрооборудования

4.4 Организация учета электроэнергии и мероприятия по её рациональному использованию

5 ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

5.1 Монтаж и наладки электрооборудования в свинарнике

5.2 Планирование эксплуатационных работ и составление графиков ТО и ТР

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ФЕРМЕ

6.1 Краткая характеристика мероприятий, выполняемых по безопасности жизнедеятельности на ферме

6.2 Разработка системы электробезопасности, средств пожарной безопасности и производственной санитарии

7 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

8 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

СОДЕРЖАНИЕ

Пример содержания бакалаврской работы на тему: «Электрификация СПК «Колос» Кочубеевского района Ставропольского края с разработкой энергосберегающей системы охлаждения молока».

Расчетно-пояснительная записка состоит из следующих разделов и подразделов.

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

ЗАДАНИЕ

АННОТАЦИЯ

ВЕДОМОСТЬ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

1 ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СПК «КОЛОС»

1.1 Анализ технической оснащенности и уровня электрификации СПК «Колос»

1.2 Организационная структура энергетической службы хозяйства

2 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С РАЗРАБОТКОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

2.1 Расчет низковольтных сетей 0,38кВ, выбор аппаратуры управления и защиты

2.2 Расчет низковольтных электрических сетей 380/220 В на потерю напряжения

2.3 Определение параметров элементов сети

2.4 Выбор аппаратуры управления и защиты для ТП 10/0,4 кВ

2.5 Расчет и выбор силового электрооборудования для производственного помещения

2.6 Проверка асинхронного электродвигателя на возможность запуска от источника соизмеримой мощности

2.7 Расчет сечения внутренней электропроводки для электродвигателя холодильной установки

2.8 Расчет искусственного освещения цеха по переработке молока

2.9 Разработка системы охлаждения молока с использованием аккумулятора холода круглогодического действия

2.10 Обоснование выбора комплекта для охлаждения молока

2.11 Назначение и техническая характеристика комплекта

2.12 Состав и принцип работы системы охлаждения молока

2.13 Описание энергосберегающей технологической линии для охлаждения молока

3 ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

4 ЭКОЛОГИЯ

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

СОДЕРЖАНИЕ

Пример содержания научной бакалаврской работы на тему:
«Разработка тиристорных преобразователей катодной защиты для подземных стальных трубопроводов животноводческой фермы».

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

ЗАДАНИЕ

РЕФЕРАТ

ВЕДОМОСТЬ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

1 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ПОДЗЕМНЫХ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

1.1 Основы теории электрохимической коррозии

1.2 Почвенная электрохимическая коррозия от блуждающих токов

1.3 Защита от блуждающих токов и почвенной коррозии

1.4 Краткий сравнительный анализ существующих средств катодной защиты

2 УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

2.1 Основные требования, особенности устройства и работы

2.2 Классификация станций катодной защиты

2.3 Станция катодной защиты с двигателем внутреннего сгорания

3 РАЗРАБОТКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

3.1 Краткий сравнительный анализ и выбор рациональной схемы выпрямителя

3.2 Расчет и выбор основных электромагнитных элементов преобразователя

3.3 Разработка систем управления и защиты управляемого выпрямителя СКЗ

3.4 Способы повышения удельных показателей преобразователей катодной защиты

4 ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

4.1 Монтаж и наладка преобразователей катодной защиты

4.2 Коррозионные измерения

4.3 Способ измерения поляризационного потенциала подземных металлических сооружений

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

СОДЕРЖАНИЕ

Пример содержания бакалаврской работы по профилю подготовки
«Электроснабжение» на тему: *«Электроснабжение МТФ на 400 голов*

ООО «Надежда» Шпаковского района с разработкой электромагнитной защиты разъединителя трансформаторной подстанции». Разделы и подразделы расчетно-пояснительной записки приведены ниже.

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

ЗАДАНИЕ

АННОТАЦИЯ

ВЕДОМОСТЬ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ХОЗЯЙСТВА ООО «НАДЕЖДА»

1.1 Перечень потребителей электрической энергии с указанием мощностей дневной и вечерней нагрузок

1.2 Схема подключения трансформаторных подстанций

2 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТА

2.1 Расчет дневных и вечерних электрических нагрузок

2.2 Определение координат трансформаторной подстанции

2.3 Расчет электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ

2.4 Компенсация реактивной мощности на ТП

2.5 Выбор силового трансформатора и КТП 10/0,4 кВ

2.6 Расчет электрических нагрузок в сетях 10 кВ

2.7 Расчет токов короткого замыкания

2.8 Выбор устройств защиты от токов КЗ на подстанциях 10/0,4 кВ

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С РАЗНЫМИ КОНФИГУРАЦИЯМИ

3.1 Выбор количества и мощности трансформаторов на подстанции

3.2 Выбор наилучшего варианта схемы соединений электрических сетей

3.3 Выбор проводов воздушных или кабельных линий

3.4 Расчет экономических показателей линий

3.5 Расчет установившихся режимов работы электрических сетей

3.6 Определение параметров элементов схемы замещения

3.7 Расчет проводов на потерю напряжения

4 ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ЗАЩИТА РАЗЪЕДИНИТЕЛЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

4.1 Описание конструкции устройства

4.2 Расчет основных характеристик электромагнитного разъединителя

4.3 Определение рациональных параметров электромагнитного устройства

5 ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ НА
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

6 ЭКОЛОГИЯ

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 2 ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

2 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ НАГРУЗОЧНЫХ МАШИН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

2.1 Краткая производственно - хозяйственная характеристика проектируемого объекта

Производственно-хозяйственная характеристика выбранного для проектирования сельскохозяйственного объекта кратко приводится в первом разделе выпускной квалификационной работы. Общая характеристика предприятия начинается с описания экономических сведений о технологической и производственной направленности, состоянии электрооборудования, проценте его технического износа и уровне энергонасыщенности объектов электрификации.

Характеристика проектируемого сельскохозяйственного объекта включает основные данные о состоянии наружных и внутренних электрических сетей, количестве трансформаторных подстанций, повторных заземлений нулевого провода и молниезащиты, уровне потребления электрической энергии по секторам экономики, количестве и мощности электроустановок.

При характеристике объекта проектирования указывают виды электрических нагрузок потребителей, удельный вес применения электрической энергии на единицу выпускаемой продукции, нормы расхода электроэнергии, приводят годовые графики потребления электрической энергии. Описывается организационная структура и состав инженерных служб, численность производственного персонала и инженерно-технических работников, занимающихся эксплуатацией и ремонтом электроэнергетического оборудования, указываются пути по экономии используемых топливно-энергетических ресурсов, в том числе и электрической энергии.

В заключении показывают перспективу развития объекта проектирования, излагают задачи, связанные с расчетом и выбором современного электрооборудования и систем электроснабжения.

2.2 Выбор типа электрического привода

Проектирование современного электропривода требует глубокого познания процесса эксплуатации производственного механизма. Высокая производительность нагрузочной машины и качество выпускаемой продукции могут быть обеспечены лишь при надлежащем сочетании статических и динамических характеристик электрического привода и

рабочей машины. Кинематика и конструкция нагрузочного агрегата в большинстве случаев определяется типом выбранного электропривода. Иногда очень трудно подобрать стандартный электропривод к готовой рабочей машине из-за её конструктивных особенностей, поэтому рекомендуется проектировать электрический привод и нагрузочную машину совместно с самого первого этапа конструирования.

Проектирование электропривода может вестись на основе разработанного технического задания, в котором должны быть учтены все особенности производственного процесса и условия работы исполнительного механизма. В техническом задании следует отражать информацию, касающуюся характера статического момента сопротивления, диапазона регулирования угловой скорости вращения, наличие или отсутствия плавного запуска и торможения, возможность реверсирования, режим работы, производительность рабочей машины и т.д.

В начале дипломного проектирования электропривода решается вопрос о выборе регулируемого или нерегулируемого типа привода. В большинстве случаев для сельскохозяйственных машин и агрегатов выбирается нерегулируемый электрический привод, поэтому все задачи проектирования значительно упрощаются. Если нет необходимости регулировать обороты вращения привода, то все сводится к выбору электропривода переменного тока и расчету мощности входящего в его состав электрического двигателя.

Когда в качестве привода при проектировании мобильных и стационарных сельхозмашин берется регулируемый электропривод, то должен быть решен вопрос о выборе системы электрического привода и роде тока.

Если электропривод предназначен для динамического режима работы с частыми пусками и остановками, то предварительно должны быть сопоставлены условия протекания переходных процессов для различных систем электрических приводов.

В последнее время в качестве регулируемого привода применяется частотно-регулируемый асинхронный электропривод, который обеспечивает: плавный пуск; длительную работу в заданном диапазоне изменения скорости и нагрузки; реверсирование, торможение и остановку; защиту электрического и механического оборудования от аварийных режимов.

При выборе рационального электропривода для нагрузочной машины необходимо соблюдать следующие условия:

- параметры электропривода должны соответствовать характеристикам рабочей машины (технологическим, кинематическим, механическим, нагрузочным и инерционным);
- максимальная нагрузка электрического двигателя, входящего в состав электропривода (коэффициент нагрузки электродвигателя должен находиться в диапазоне от 0,7 до 1,0);
- соответствие степени защиты электродвигателя и аппаратуры управления условиям окружающей среды;
- согласование напряжения элементов силовой части и управления электропривода с условиями питающей среды;
- техническая эстетичность, удобство в обслуживании и безопасность в эксплуатации.

В настоящее время сельскохозяйственные машины выходят с заводских цехов укомплектованные электроприводом, а все технические характеристики приводятся в сопроводительной документации комплекта электрооборудования. Необходимо предусматривать в задании на дипломное проектирование пунктов: выбор типа электродвигателя по роду тока и напряжению сети; расчет потребляемой мощности электрической машиной; построение механических характеристик; определение параметров пускозащитной аппаратуры; запуск электродвигателя от источника соизмеримой мощности обычно возникает с целью развития у выпускника профессиональных компетенций, определяемых направлением подготовки.

2.3 Выбор электрических двигателей

Электродвигатели к нагрузочным машинам подбирают по следующим параметрам: напряжению питания, роду тока, оборотам вращения, условиям окружающей среды, характеру и значению нагрузки. В настоящее время выпускаются общепромышленные электродвигатели серий: АИР, 5А, 5АМХ, 5АИ (рисунок 2.1). Диапазон мощностей электродвигателей асинхронных трехфазных 0,06 - 315кВт, синхронная частота вращения вала 750, 1000, 1500, 3000мин⁻¹, работают от сети переменного тока напряжением 220, 380, 660В, частотой 50 Гц.

Электроснабжение промышленных и сельскохозяйственных предприятий осуществляется трехфазным переменным током с частотой 50 Гц. Исходя из этого, выбор электродвигателя по напряжению и роду тока не представляется затруднительным, так как питание низковольтного электрооборудования сельскохозяйственных потребителей осуществляется от сетей, 380/220 В. В большинстве случаев из-за агрессивных условий в составе электроприводов сельскохозяйственного

назначения используют асинхронные электродвигатели общепромышленного назначения с короткозамкнутой обмоткой ротора и двойной изоляцией. Современные асинхронные двигатели надежны, дешевы, просты в обслуживании и эксплуатации, а также имеют значительную наработку на отказ. Электродвигатели с фазным ротором более дорогие и используются в сельскохозяйственном производстве главным образом, когда двигатели с короткозамкнутой обмоткой ротора не проходят по условиям пуска от источников малой мощности.



Рисунок 2.1 – Асинхронные электрические двигатели:
а – общепромышленного назначения; б – взрывозащищенный;
в – с фланцевым соединением

Электротехническая промышленность производит электродвигатели сельскохозяйственного назначения закрытого исполнения, обдуваемые и защищенные от попадания внутрь двигателя воды и пыли. Электрические машины имеют повышенные моменты и улучшенные энергетические показатели. В конце обозначения электродвигателя сельскохозяйственного назначения стоят буквы СХ, С или СВ.

Электродвигатели сельскохозяйственного назначения рассчитаны для работы при температуре окружающей среды от -45 до $+45^{\circ}\text{C}$, относительной влажности воздуха до 98%, при $+20^{\circ}\text{C}$. Они могут работать в помещениях, длительно содержащих в воздухе химически активные примеси: аммиак - до $0,03 \text{ г/м}^3$, сероводород - до $0,03 \text{ г/м}^3$, углекислый газ - до $14,7 \text{ г/м}^3$; возможно кратковременное увеличение концентрации аммиака до $0,09 \text{ г/м}^3$ (не более 5 ч в сутки в течение 4 месяцев в году). Электродвигатели способны выдерживать непосредственное воздействие дезинфицирующих растворов и находиться в среде аэрозолей.

По степени защиты оболочки они изготавливаются закрытого обдуваемого исполнения (условное обозначение IP44), защищенные от пыли (IP54) и защищенные от дождя (IP23). Первая цифра обозначает, что пыль не может попадать внутрь корпуса в количестве, достаточном для

нарушения работы двигателя. Вторая цифра указывает, что обеспечивается защита от попадания брызг и струй воды. Двигатели имеют мощность от 0,18 до 30 кВт с той же шкалой, что и электрические машины основного назначения. Обозначение электродвигателя типа АИР180S4СХ расшифровывается следующим образом: А - асинхронный; И - унифицированная серия (И - Интерэлектро); Р - с повышенным пусковым моментом; 180 - высота оси вращения, мм; S - установочный размер по длине станины; 4 - число полюсов; СХ - сельскохозяйственного назначения, химически- и влагостойкий.

При выборе электродвигателей по оборотам вращения ротора проектировщики стремятся к тому, чтобы частота вращения двигателя как можно ближе приближалась к частоте вращения рабочего органа нагрузочной машины. В сельскохозяйственном производстве, за редким исключением, в основном преобладают машины и агрегаты с оборотами вращения рабочего органа 300-500 мин⁻¹. Поэтому во время выбора электрического двигателя следует учитывать, что с уменьшением номинальной скорости вращения ротора увеличиваются габаритные размеры и металлоемкость электродвигателя и как, следствие, снижаются его коэффициент мощности и КПД. Из-за ухудшения массогабаритных и энергетических показателей электрической машины рекомендуется в составе приводов применять высокоскоростные двигатели с соответствующей передачей.

Например, если обороты вращения сверлильного станка равны 326 мин⁻¹, то по энергетическим характеристикам и массогабаритным показателям выгоднее применять электродвигатель не на 750 мин⁻¹ или 1000 мин⁻¹, а на 1500 мин⁻¹ через ременную передачу.

В АПК наиболее распространены электродвигатели с синхронной частотой вращения 1500 мин⁻¹. Число таких двигателей в сельском хозяйстве превышает 90%. Электродвигатели на 3000 мин⁻¹ входят в состав электропривода центробежных насосов и вентиляторов большого напора. Электрические машины на 1000 мин⁻¹ поставляют в комплекте с электрооборудованием для поршневых компрессоров, вентиляторов среднего напора и большой производительности, а также когда возможно прямое соединение с валом рабочего органа нагрузочной машины. Выбор тихоходных электродвигателей обусловлен техническим преимуществом по сравнению с быстроходными машинами, так как во время переходных процессов (частые запуски, реверсы) эти двигатели обладают малой кинетической энергией ротора, тем самым обеспечивая наименьшую потерю мощности и сокращение времени динамических процессов.

2.4 Выбор электродвигателей по характеру нагрузки

Электрические двигатели могут работать в разных режимах, которые различаются протяженностью рабочего цикла, характером и значением нагрузки, величиной потерь мощности и способом охлаждения. При выборе мощности электродвигателя необходимо учитывать режим работы приводного механизма и потребляемой им мощности. В настоящее время ГОСТ определяет восемь номинальных режимов работы электродвигателей, которые обозначаются $S1...S8$. В сельскохозяйственном производстве в основном применяются три основных $S1$ – продолжительный режим работы, $S2$ – кратковременный режим работы, $S3$ – повторно-кратковременный режим работы.

Большинство сельскохозяйственных машин работают в режиме $S1$, например, электродвигатели конвейеров, насосов, вентиляторов, компрессоров, транспортеров. Для этого режима свойственна постоянная нагрузка P , определяемая нормальным тепловым режимом θ , статический момент сопротивления которой действует на вал электродвигателя без перерывов (рисунок 2.2). Режим характеризуется постоянными электрическими потерями P_z .

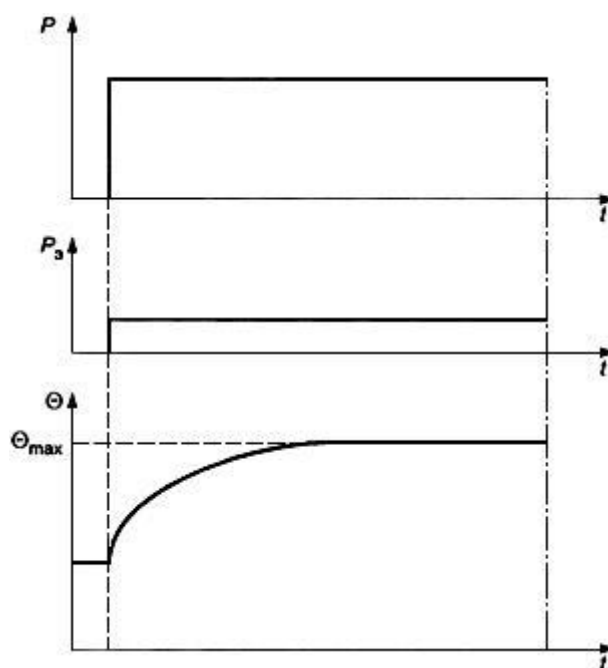


Рисунок 2.2 – Продолжительный режим работы электрических машин с постоянной нагрузкой

В режиме $S2$ – электрическая машина работает какой-то период времени с постоянной нагрузкой P , стабильными электрическими потерями P_z и временного интервала недостаточного для достижения

теплового равновесия, т.е. температура нагрева θ обмотки не поднимается выше установившегося значения для данного класса изоляции (рисунок 2.3). Через 10, 30, 60 или 90 минут периодов действия нагрузки электрическая машина отключается от сети и останавливается. Начинается процесс длительного охлаждения. В указанном режиме работают электродвигатели в составе электроприводов шлюзов, заслонок, вентилей и других запорных устройств.

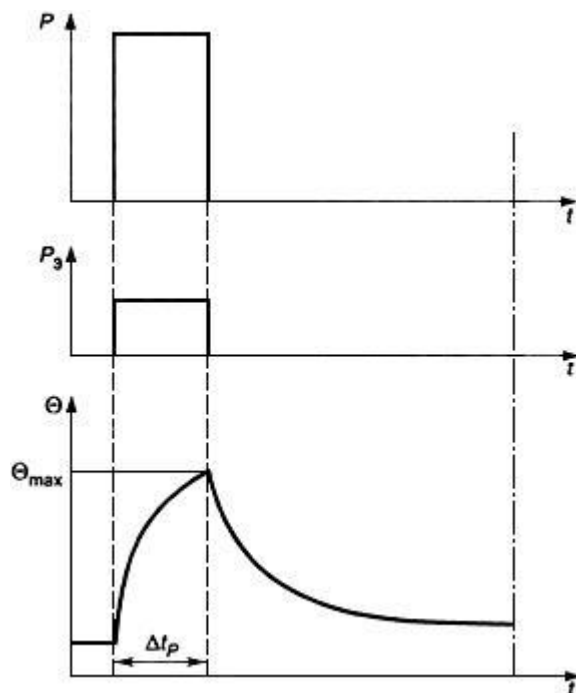


Рисунок 2.3 – Кратковременный режим работы электродвигателя

Если электрический двигатель работает в режиме S2, он нагревается меньше чем в режиме S1, поэтому во время эксплуатации допускается превышение мощности на валу. Во время работы в режиме S2 допустимая мощность может быть увеличена на 50 %, при длительности действия нагрузки не более 10 мин, на 25 %, если время работы не более 30 мин и на 10 %, когда время перегрузки не превышает 90 мин.

Повторно-кратковременный режим S3 характеризуется повторением циклов T в, которые входят время работы Δt_p и покоя $\Delta t_{отк}$, периодическое действие нагрузки P и отсутствие или наличие электрических потерь P_3 . В данном режиме за время цикла 10 мин работы температура нагрева θ обмотки не успевает достичь максимального значения, а во время остановки не снижается до температуры окружающей среды (рисунок 2.4). График температуры нагрева электрического двигателя выглядит в виде пилообразной кривой, из которого видно, что температура нагрева электродвигателя за один период колеблется между максимальным и минимальным значениями.

Примерами повторно-кратковременного режима является работа машин и агрегатов, которым свойственна цикличность – чередование периодов работы и паузы, например, электроприводов лифтов, подъемных кранов и экскаваторов.

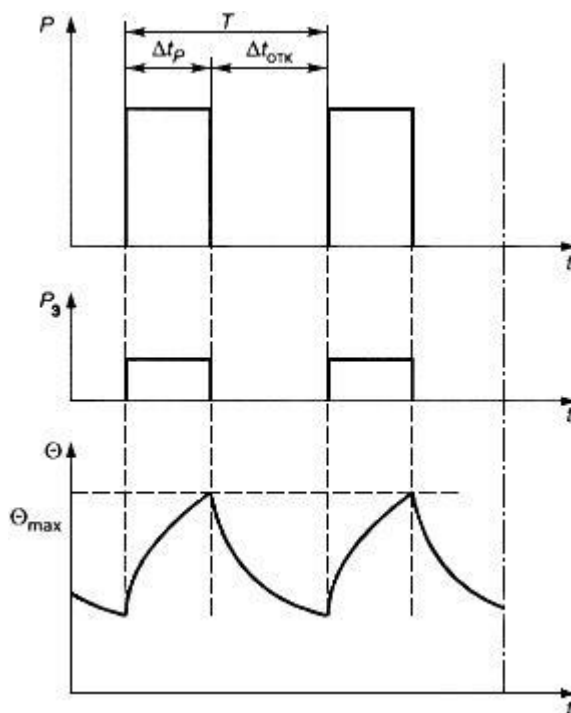


Рисунок 2.4 - Повторно-кратковременный режим работы двигателя

Повторно-кратковременный режим характеризуется относительной продолжительностью включения

$$ПВ = \frac{t_p}{t_o + t_p} 100\% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} 100 \%, \quad (2.1)$$

где t_o - время паузы;

t_p - время работы;

$t_{\text{ц}}$ - время цикла.

Действующим стандартом предусмотрены номинальные повторно-кратковременные режимы с ПВ 15, 25, 40 и 60 % (для продолжительного режима ПВ=100 %). В условном обозначении повторно-кратковременного режима S3 указывают величину ПВ, например, ПВ = 40 %.

При переводе двигателя из продолжительного режима S1 (ПВ = 100 %) в повторно-кратковременный режим S3 мощность двигателя на валу, по сравнению с его мощностью в продолжительном режиме, может быть увеличена, например, если выбран режим с ПВ = 60 % - на 30 %, когда

режим работы соответствует ПВ = 40% - на 60%, при ПВ = 25% мощность завышается 2 раза, если ПВ = 15 % - в 2,6 раза.

Выбор режима работы имеет большое значение при подборе двигателя к нагрузочной машине. Номинальная мощность электродвигателей, указанная в справочниках, приведена для режима работы S1 и нормальных условий окружающей среды. Для режима работы S3 выбирают электродвигатели с повышенным скольжением.

Выбор мощности электрической машины связан с учетом трех основных факторов: пусковой режим, мгновенная перегрузка и нагрев.

Мощность выбранного электродвигателя в номинальном режиме работы должна превышать мощность нагрузочной машины, а пусковой и максимальный моменты выбираются больше момента трогания и момента сопротивления рабочей машины. Температура нагрева двигателя в установившемся режиме не должна быть выше допустимой по норме.

Проверка двигателя на возможность запуска под нагрузкой при снижении напряжения сети проверяется по условию

$$M_{\text{ном}} \geq M_{\text{ном.п}}, \quad (2.2)$$

где $M_{\text{н}}$ - номинальный момент электродвигателя;

$M_{\text{ном.п}}$ - номинальный момент двигателя по условиям запуска.

Момент и мощность электродвигателя во время пуска под нагрузкой с учетом снижения напряжения рассчитывается по уравнению

$$M_{\text{ном.п}} = 1,25 \frac{M_{\text{с}}}{\lambda_{\text{min}} U'^2}; \quad P_{\text{ном.п}} = 1,25 \frac{P_{\text{max}}}{\lambda_{\text{min}} U'^2}, \quad (2.3)$$

где $M_{\text{с}}$ - момент сопротивления нагрузочной машины приведенной к валу двигателя;

λ_{min} - кратность минимального момента;

U' - напряжение, в относительных единицах, на клеммах электродвигателя во время запуска;

P_{max} - максимальная мощность нагрузки, берется из нагрузочной диаграммы.

Момент сопротивления, приведенный к валу электродвигателя, находится по формуле

$$M_{\text{с}} = \frac{M_{\text{max}} \omega_{\text{м}}}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (2.4)$$

где $M_{\max}$ - максимальный момент сопротивления нагрузочной машины, берется из нагрузочной диаграммы;

ω_m - угловая скорость рабочей машины;

$\omega_{\text{ном}}$ - угловая скорость электродвигателя в номинальном режиме работы.

Кратность минимального момента определяется как

$$\lambda_{\min} = \frac{M_{\min}}{M_{\text{ном}}}, \quad (2.5)$$

где $M_{\min}$ - минимальный момент двигателя.

Пусковой момент электродвигателя рассчитывается

$$M_{\text{п}} = \lambda_{\text{п}} M_{\text{ном}}, \quad (2.6)$$

где $\lambda_{\text{п}}$ - кратность пускового момента;

$M_{\text{ном}}$ - номинальный момент электродвигателя.

Кратность пускового момента находится по формуле

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}. \quad (2.7)$$

Номинальный момент электрической машины можно рассчитать из выражения

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (2.8)$$

где $P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность электродвигателя.

Угловая скорость вращения электрической машины находится по уравнению

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi n_{\text{ном}}}{30}, \quad (2.9)$$

где $n_{\text{ном}}$ — обороты вращения в номинальном режиме работы двигателя.

Мощность электродвигателя с учетом перегрузочной способности во время действия длительной резкопеременной нагрузки определяется по формуле

$$P_{\text{ном}} \geq 1,33 \frac{M_{\max} \omega_m}{\lambda_{\max}} = 1,33 \frac{P_{\max}}{\lambda_{\max}}, \quad (2.10)$$

где $\lambda_{\max}$ - кратность максимального момента.

Когда электродвигатель работает в длительном режиме с постоянной нагрузкой, то максимальная мощность равна установившейся ($P_{\max} = P_{\text{уст}}$), тогда выбор двигателя по каталогу осуществляется по условию неравенства

$$P_{\text{ном}} \geq \frac{P_{\text{уст}}}{\eta_{\text{п}}}, \quad (2.11)$$

где $\eta_{\text{п}}$ - КПД передачи (непосредственное соединение электродвигателя с нагрузочной машиной - $\eta_{\text{п}} = 1$; клиноременная передача - 0,95...0,98; цепная передача - 0,96...0,97; зубчатая сухая передача - 0,93...0,95; передача зубчатая в масляной ванне - 0,95...0,98).

Кратности λ пускового, максимального и минимального моментов выбираются по таблице «Технические данные электродвигателей» из справочной литературы. Современные асинхронные электродвигатели имеют коэффициент перегрузки $\lambda_{\max}$, изменяющийся в диапазоне от 1,7 до 3.

Если имеются графики нагрузки (рисунок 2.5), то выбор электродвигателя связан с расчетом эквивалентной мощности и момента.

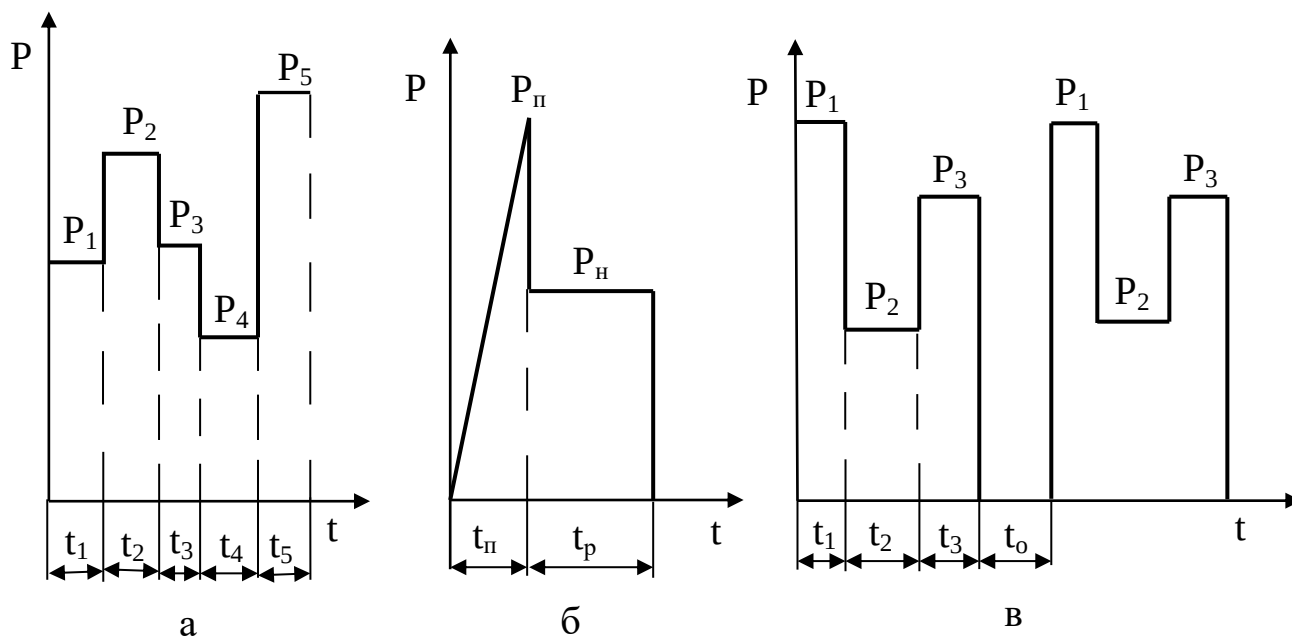


Рисунок 2.5 - Графики работы электродвигателя:
а - продолжительный режим работы; б - кратковременный режим работы;
в - повторно-кратковременный режим работы

Эквивалентная мощность и электромагнитный момент для продолжительного режима работы (рисунок 2.5, а) находятся из уравнений

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}};$$

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (2.12)$$

где P_n, M_n - мощность и момент, развиваемые электродвигателем на n участке работы;

t_n - время, затрачиваемое на каждом участке работы.

Мощность электродвигателя с учетом нагрузочной характеристики рассчитывается по формуле

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{экв}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{M_{\text{экв}} \omega_{\text{м}}}{\eta_{\text{п}}}, \quad (2.13)$$

По каталогу выбирается близкий по мощности электрический двигатель. Электродвигатель выбран правильно, если выполняются неравенства

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{дв}}; M_{\text{ном}} \geq M_{\text{экв}}. \quad (2.14)$$

Для кратковременного режима работы (рисунок 2.5, б) мощность двигателя рассчитывается как среднеквадратичная (эквивалентная) за рабочий период $t_{\text{п}} + t_{\text{р}}$

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_{\text{п}}^2 t_{\text{п}} + P_{\text{р}}^2 t_{\text{р}}}{t_{\text{п}} + t_{\text{р}}}}, \quad (2.15)$$

где $P_{\text{п}}$ - пусковая мощность;

$P_{\text{р}}$ - мощность двигателя в установившемся режиме работы;

$t_{\text{п}}$ - время действия пусковой мощности;

$t_{\text{р}}$ - время рабочего участка с установившейся мощностью электродвигателя.

Пусковая мощность электродвигателя рассчитывается по уравнению

$$P_{\Pi} = \lambda_I P_{\text{НОМ}} = \frac{I_{\Pi}}{I_{\text{НОМ}}} P_{\text{НОМ}}, \quad (2.16)$$

где λ_I - кратность пускового тока;

I_{Π} - пусковой ток электродвигателя.

Для электродвигателей малой и средней мощности обычно для кратковременного режима работы используют электрические двигатели, рассчитанные на продолжительный режим работы, тогда

$$P_{\text{НОМ}} = P_p \sqrt{1 - e^{-\frac{t_p}{T_H}}}, \quad (2.17)$$

где T_H – постоянная времени нагрева электродвигателя.

Постоянная времени нагрева электрической машины выбирается из таблицы 2.1 в зависимости от потребляемой из сети мощности и подставляется в формулу (2.17) в секундах.

Таблица 2.1 - Постоянная времени нагрева для разных значений мощности электродвигателя

$P_{\text{НОМ}}, \text{ кВт}$	4	5,5 - 11	15 - 37
$T, \text{ мин}$	15 - 20	25 - 30	35 - 40

Выбранный из справочной литературы электродвигатель для кратковременного режима работы должен удовлетворять неравенству (2.14).

Если электродвигатель работает в повторно-кратковременном режиме, то периоды переменной нагрузки и паузы периодически чередуются (рисунок 2.5, в).

Расчетная мощность двигателя для любой продолжительности включения определяется по формуле

$$P_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}. \quad (2.18)$$

Отечественная промышленность выпускает специальные - крановые электродвигатели серии МТФК для повторно-кратковременного режима работы с продолжительностью включения в о.е. (ПВ = 0,15; 0,25; 0,4; 0,6).

Если после расчетов полученная продолжительность включения отличается от стандартных значений, то мощность электродвигателя пересчитывается с учетом стандартного значения ПВ по уравнению

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{расч}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_{\text{ст}}}}, \quad (2.19)$$

где $P_{\text{ст}}$ - стандартная мощность электрической машины;

$P_{\text{расч}}$ - расчетная мощность электродвигателя;

ПВ - расчетная продолжительность включения;

$\text{ПВ}_{\text{ст}}$ - стандартная продолжительность включения.

Расчет мощности электродвигателя, основанный на его нагреве.

Для обеспечения надежной работы двигателя, работающего с постоянной скоростью вращения в длительном режиме с переменной ступенчатой нагрузкой и устранения возможности его перегрева необходимо, чтобы номинальный ток электродвигателя, выбранного по каталогу, был либо равен величине эквивалентного, либо был больше

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (2.20)$$

где I_n - ток электродвигателя, действующий на отдельных участках нагрузки.

В случаях, когда электрическая машина на отдельных участках нагрузочной диаграммы работает с пониженной или повышенной скоростью вращения необходимо учитывать влияние ухудшенных условий охлаждения двигателя. Тогда с учетом постоянно меняющихся условий охлаждения электродвигателя уравнение (2.20) переписывается в виде

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{\alpha(t_1 + t_3) + t_2 + \beta t_0}}, \quad (2.21)$$

где α , β - коэффициенты, учитывающие теплоотдачу электродвигателя для асинхронных двигателей $\alpha = 0,5$, $\beta = 0,25$;

t_1 и t_3 - время разгона и время торможения двигателя;

t_2 - время работы с номинальной скоростью;

t_0 - время паузы.

Выбранный из каталога электродвигатель по условию нагрева необходимо проверить на перегрузку

$$\lambda_1 \geq \frac{I_{\max}}{I_{\text{ном}}}, \quad (2.22)$$

где $I_{\max}$ - значение максимального тока, взятого из графика нагрузочной диаграммы;

$I_{\text{ном}}$ - номинальный ток электродвигателя.

Пример. Рассчитать мощность электрического двигателя и произвести его выбор для привода дробилки, работающей при длительно-переменной нагрузке, рисунок 2.5а. Напряжение сети 380 В, частота питающего тока 50 Гц. По графику нагрузки: $P_1=5$ кВт, $P_2=7$ кВт, $P_3=6$ кВт, $P_4=3$ кВт, $P_5=9$ кВт; $t_1=2$ с, $t_2=3$ с, $t_3=2$ с, $t_4=4$ с, $t_5=5$ с. Обороты вращений дробилки $n_m = 750 \text{ мин}^{-1}$, КПД клиноременной передачи $\eta_{\text{п}} = 0,95$, напряжение на зажимах во время запуска $U=0,85U_{\text{ном}}$ (относительное напряжение сети в относительных единицах составляет $U_1=0,85$ при снижении напряжения на 15%).

Алгоритм решения

Эквивалентная мощность на валу дробилки находится по формуле

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + P_4^2 t_4 + P_5^2 t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} =$$

$$= \sqrt{\frac{5^2 \cdot 2 + 7^2 \cdot 3 + 6^2 \cdot 2 + 3^2 \cdot 4 + 9^2 \cdot 5}{2 + 3 + 2 + 4 + 5}} = 6,66 \text{ кВт.}$$

Мощность на валу электродвигателя определяется

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{экв}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{6,66}{0,95} = 7,01 \text{ кВт.}$$

По каталогу выбираем электродвигатель серии АИР132S4, имеющий паспортные характеристики: $P_{\text{ном}} = 7,5$ кВт, $n_{\text{ном}} 1450 \text{ мин}^{-1}$, $\lambda_{\max}=2,5$, $\lambda_{\min}=1,6$, $\lambda_{\text{п}}=2$.

Проверка электродвигателя на перегрузочную способность выполняется с учетом неравенства

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{пер}} = \frac{1,33P_5}{\lambda_{\max}} = \frac{1,33 \cdot 9}{2,5} = 4,8 \text{ кВт.}$$

Тогда

$$P_{\text{ном}} = 7,5 \text{ кВт} > P_{\text{пер}} = 4,8 \text{ кВт.}$$

Неравенство выполняется, следовательно, электродвигатель по мощности подобран правильно к дробильному агрегату.

Запуск электродвигателя осуществляется при пониженном на 15% напряжении сети, поэтому рекомендуется проверить двигатель на возможность пуска под нагрузкой.

Угловая скорость вращения электродвигателя

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} = 152 \text{ с}^{-1}.$$

Скорость, развиваемая рабочим органом дробилки,

$$\omega_{\text{м}} = \frac{\pi n_{\text{м}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ с}^{-1}.$$

Максимальный момент статического сопротивления дробилки

$$M_{\text{с}} = \frac{P_5}{\omega_{\text{м}}} = \frac{9000}{78,5} = 114,6 \text{ Нм}.$$

Номинальный момент электродвигателя

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{7500}{152} = 49,3 \text{ Нм}.$$

Статический момент сопротивления дробилки, приведенный к валу электродвигателя,

$$M_{\text{с.пр}} = \frac{M_{\text{с}} \omega_{\text{м}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{114,6 \cdot 78,5}{152} = 59,2 \text{ Нм}.$$

Номинальный момент электродвигателя по условиям запуска

$$M_{\text{ном}} \geq M_{\text{ном.п}} = \frac{1,25 M_{\text{с.пр}}}{\lambda_{\text{мин}} U_1^2} = \frac{1,25 \cdot 59,2}{1,6 \cdot 0,85^2} = 64,01 \text{ Нм}.$$

Проверка неравенства

$$M_{\text{ном}} = 49,3 \text{ Нм} < M_{\text{ном.п}} = 64,01 \text{ Нм}.$$

Поскольку номинальный момент электродвигателя меньше номинального момента по условиям запуска, то следует из каталога выбрать двигатель больший по мощности. Из справочной литературы выбирается электродвигатель марки АИР132М4 обладающий техническими данными: $P_{\text{ном}}=11\text{кВт}$, $n_{\text{ном}}=1450 \text{ мин}^{-1}$, $\lambda_{\text{max}}=2,7$, $\lambda_{\text{min}}=1,6$, $\lambda_{\text{п}}=2$.

Номинальный момент выбранного из каталога электродвигателя

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{11000}{152} = 72,4 \text{ Нм}.$$

В результате расчета номинальный момент выбранного большего по мощности электродвигателя увеличился до 72,4 Нм, тогда

$$M_{\text{ном}} = 72,4 \text{ Нм} > M_{\text{ном.п}} = 64,01 \text{ Нм}.$$

Неравенство выполняется, следовательно, электродвигатель проходит по условиям запуска.

2.5 Приводные характеристики рабочих машин

Приводными характеристиками нагрузочных машин считаются: технологические, кинематические, энергетические, механические, нагрузочные и инерционные. Характеристики используются для проектирования электропривода и правильного подбора электрической машины к рабочему органу исполнительного устройства.

Технологические характеристики определяют требования к электроприводу со стороны рабочих машин и поточных линий. Они характеризуют перепады скорости, удельные расходы энергии, способы регулирования оборотов вращения или линейной скорости перемещения рабочего органа, необходимость автоматизации, а также условия работы электропривода в зависимости от условий окружающей среды.

Кинематические характеристики показывают траектории движения и скоростные режимы работы всех элементов машин и агрегатов и дают информацию о возможных направлениях распределения энергетических потоков.

Энергетические характеристики предназначены для выявления общего и удельного расхода электрической мощности и энергии, затрачиваемой на выполнение всего технологического процесса или отдельной операции.

Механические характеристики выполняют функциональную связь между угловой скоростью вращения рабочего органа машины и статическим моментом сопротивления, $\omega = f(M_c)$ или $M_c = f(\omega)$.

Аналитически механические характеристики рассчитываются из уравнения

$$M_c = M_0 + (M_{\text{сн}} - M_0) \left(\frac{\omega_i}{\omega_n} \right)^x, \quad (2.23)$$

где M_c - статический момент сопротивления производственного механизма;

M_0 - момент сопротивления рабочей машине в режиме холостого хода;

$M_{\text{сн}}$ - момент сопротивления в номинальном режиме работы;

ω_i - угловая скорость вращения в определенный момент времени;

ω_n - угловая скорость вращения в номинальном режиме работы;

x - показатель степени, от численного значения которого зависит вид механической характеристики.

Если $x = 0$ - момент сопротивления не зависит от угловой скорости вращения и характеризуется усилиями трения. Подобной характеристикой обладают подъемно-транспортные механизмы, поршневые и вакуум насосы и механизмы подачи металлорежущих станков.

Когда $x = 1$ - статический момент сопротивления линейно возрастает с увеличением скорости рабочей машины. Указанная характеристика принадлежит льномаялкам, зерноочистительным машинам, корнеклубневым на холостом ходу и генератору независимого возбуждения, работающего на постоянную нагрузку.

При $x = 2$ - момент сопротивления пропорционален квадрату изменения угловой скорости вращения. Характеристика называется вентиляторной и относится к центробежным насосам, вентиляционным установкам, сепараторам и молотильным барабанам.

На рисунке 2.6 представлены механические и нагрузочные характеристики рабочих машин.

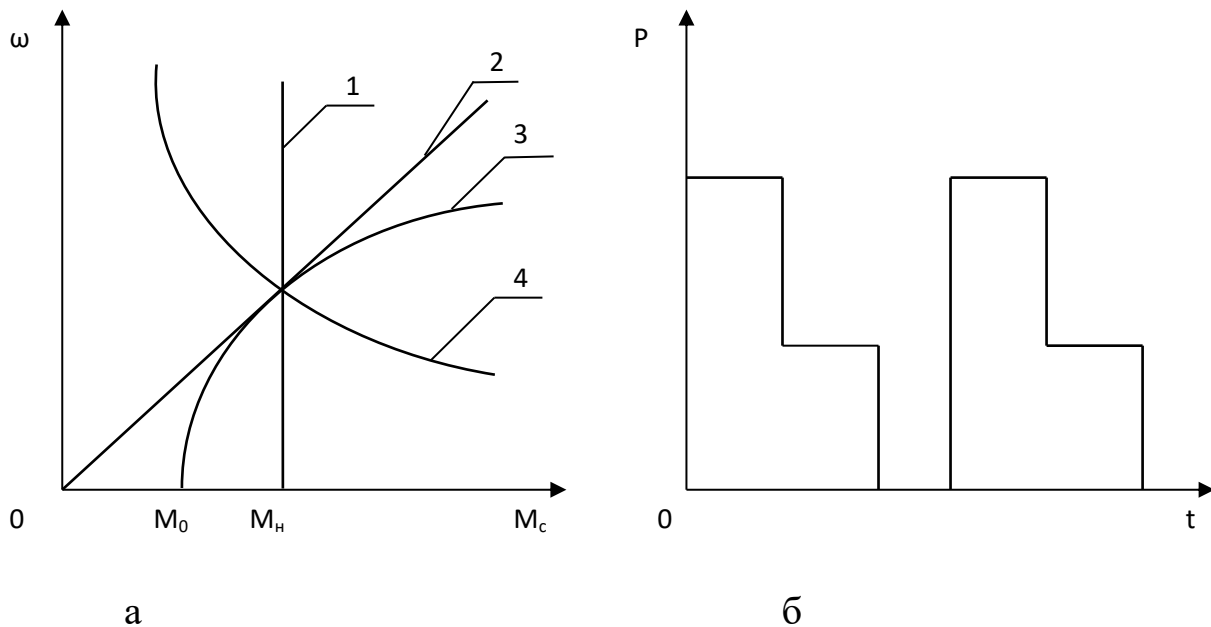


Рисунок 2.6 - Приводные характеристики рабочих машин:

а - механические характеристики: 1 - характеристика подъемно-транспортных механизмов; 2 - характеристика зерноочистительных машин;

3 - характеристика вентиляционных установок; 4 - характеристика металлообрабатывающих станков; б - нагрузочная диаграмма транспортера

Снижение момента сопротивления у рабочих машин обратно пропорционально угловой скорости и возникает, если в уравнении (2.23)

показатель степени x принимает значение -1 ($x = -1$). Такой характеристикой обладают металлообрабатывающие станки и зерновые нории, работающие под нагрузкой.

Механические характеристики используются для правильного подбора электрического двигателя к рабочей машине, экономической эксплуатации электропривода, при анализе переходных процессов, построении нагрузочных диаграмм и определении возможности пуска и устойчивой работы электропривода.

Нагрузочные диаграммы рабочих машин показывают зависимость момента сопротивления, механической мощности, угловой скорости вращения в функции времени и отражают характер и режим работы электропривода.

Инерционные характеристики определяют степень изменения количественного значения и характер варьирования суммарного момента инерции, а также величину инерционности всех подвижных элементов нагрузочной машины.

2.6 Выбор аппаратуры коммутации, защиты и управления напряжением до 1 кВ для электропривода

Работа электрических приемников, в частности электроприводов, невозможна без аппаратуры коммутации, защиты и управления к которой относятся рубильники, автоматические предохранители, переключатели, автоматы минимального напряжения и максимального тока, реле, контакторы, магнитные пускатели выключатели (рисунок 2.7).

Аппаратура коммутации предназначена для включения, отключения, обеспечения требуемого режима работы, а также защиты электроприемников, электродвигателей, осветительных и электрических сетей. Защитные устройства разработаны для отключения электрического оборудования при возникновении аномальных режимов работы - коротких замыканий, больших перегрузок, скачков напряжения и т.п. Аппаратура управления используется для схемных переключений в электрических цепях, регулирования скорости вращения электроприводов, режимов работы силовой и осветительной нагрузки.

Выбор электрических аппаратов управления и защиты осуществляется по роду тока, напряжению сети, потребляемой мощности электроприемников, предельно допустимому значению тока короткого замыкания, количеству полюсов, климатическому исполнению, степени защиты от воздействия окружающей среды, износостойчивости и другим важным параметрам.

Правильный выбор аппаратуры коммутации, защиты и управления является главным условием надежной и безотказной работы электропривода и электрооборудования напряжением до 1000 В.

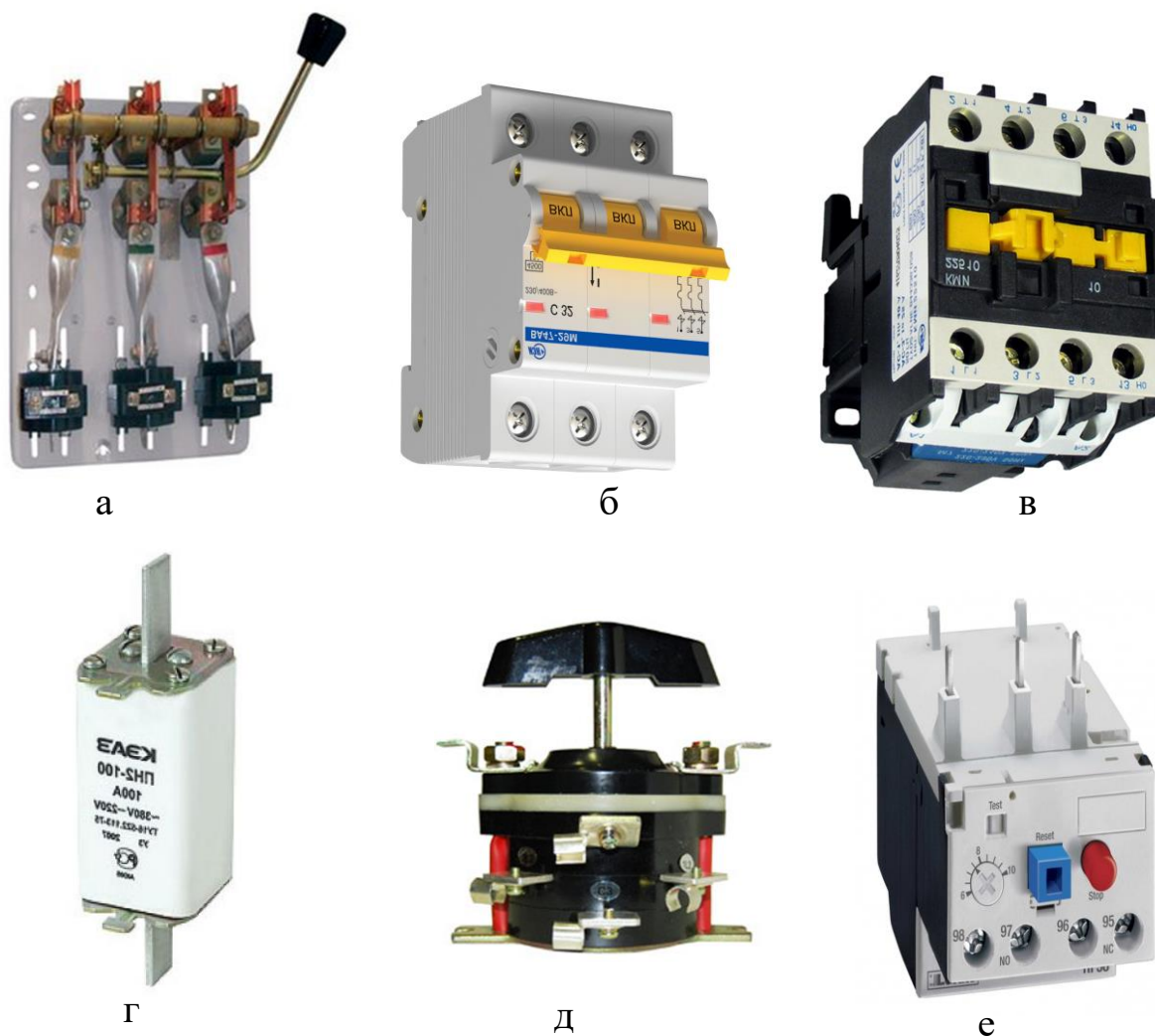


Рисунок 2.7 – Аппаратура коммутации, защиты и управления:
а – рубильник; б – автоматический выключатель; в – магнитный пускатель;
г – предохранитель; д – пакетный переключатель; е – тепловое реле

Рубильники устанавливаются вертикально на панелях распределительных устройств и предназначены для ручных нечастых включений и отключений силовых цепей постоянного тока до 440 В и переменного тока свыше 600 В. Конструктивно рубильники изготавливаются с боковой рукояткой и центральной, могут различаться по количеству полюсов - одно-, двух-, и трехполюсные. По степени защиты рубильники бывают открытые и защищенные, кроме того с учетом способа подключения сетевых проводов их выпускают с передними и задними клеммами. В комплект устройств часто входят

предохранители, защищающие электрическое оборудование от режимов короткого замыкания.

В низковольтных сетях применяют рубильники серии Р, рубильники-переключатели марки РП и АВВ, а также для нечастых включений выключатели, разъединители, переключатели серий В2000, Р2000, П2000, Р3000 и П3000, рассчитанные на токи 250, 400, 630, 4000 А переменного 380, 660 В и постоянного до 1200 В напряжения сети.

В таблице 2.2 представлены технические характеристики рубильников серии РПС-2 с безотказной наработкой 18000 ч, обладающие коммутационной и механической износостойкостью 500 и 2500 циклов.

Рубильники и переключатели выбирают по номинальному напряжению ($U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст}}$) номинальному току ($I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.уст}}$), количеству полюсов, конструктивному и климатическому исполнению, категории размещения, степени защиты.

Таблица 2.2 - Технические характеристики рубильников серии РПС

Номинальное напряжение	Частота пи- тающего тока	Напряжение изоляции	Номинальный ток	Ток короткого замыкания	Ток плавких предохранителей	Потери мощности на плавких вставках
В	Гц	В	А	кА	А	Вт
380	50	660	250	20	250	34

Для повышения предельного отключаемого тока мощные рубильники снабжаются дугогасительными камерами. При замыкании однополюсного рубильника контактный нож под действием рукоятки поворачивается вокруг оси и входит в неподвижную пружинящую контактную стойку. При отключении электрической цепи под нагрузкой между контактным ножом и контактной стойкой возникает электрическая дуга, которая гасится в дугогасительной камере. Рубильники рассчитывают таким образом, чтобы в номинальном режиме его работы контакты не нагревались выше допустимой температуры, а при коротких замыканиях в цепи «не прикипали» друг к другу и самопроизвольно не размыкались. Рубильники без дугогасительной камеры предназначены для включения и отключения сети без нагрузки.

Пакетные выключатели и переключатели предназначены для работы в электрических сетях переменного напряжения 24...500 В с частой тока 50, 60 Гц и постоянного напряжения 24...220 В, рассчитанные на токи от 6 до 250 А. Отечественные заводы выпускают

переключатели кулачковые серий ПКУЗ, ПВ, ПП, которые могут использоваться, как в промышленности, так и в сельском хозяйстве (таблица 2.3).

Переключатели могут устанавливаться на вводе электрических цепей для управления работой электроустановок, предназначенных для распределения мощности и электрической энергии, использоваться в качестве коммутационных аппаратов с ручным приводом для нечастых переключений электрооборудования, применяться в составе технических устройств ручного запуска, остановки и реверса трехфазных асинхронных электродвигателей небольшой мощности. Выключатели могут устанавливаться в электрических распределительных щитах как групповые переключатели нагрузки и аппараты для регулирования режимов работы потребителей электроэнергии.

Таблица 2.3 - Технические характеристики выключателей серий ПВ и ПП

Род тока	Номинальное напряжение, В	Величина пакетного выключателя				
		I	III	V	VI	VII
		Номинальный ток, А				
Переменный ток, частота 50 Гц	220	16	40	63	100	160
	380	10	25	40	63	100
Постоянный ток	220	16	40	63	-	-

Пакетные выключатели и переключатели значительно компактнее рубильников и монтируются с выводом на панель только рукоятки, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала. Выключатели и переключатели обеспечивают работу в следующих режимах: продолжительном, прерывисто-продолжительном и повторно-кратковременном с частотой переключений не более 120 раз в час.

Автоматические выключатели предназначены для нечастых коммутаций и защиты электрических установок от ненормальных режимов работы - токов короткого замыкания (КЗ) и перегрузки. Аппараты для коммутации выбираются: по номинальному току и напряжению, роду тока, условиям нормальной работы, термической стойкости, предельной отключающей способности и селективному срабатыванию в режиме короткого замыкания.

Для защиты электрооборудования от аномальных режимов работы разработаны и выпускаются серийно нетокоограничивающие и токоограничивающие автоматические выключатели. Первые выключатели не ограничивают ток КЗ в электрической цепи, и он достигает максимума. Вторые автоматические выключатели ограничивают электрический ток в первый полупериод его нарастания за счет быстрого введения в цепь

дополнительного сопротивления дуги и практически мгновенного отключения. В результате ток короткого замыкания не достигает своего максимального значения.

Автоматические выключатели срабатывают в том случае, когда величина тока сети выходит за пределы установленных значений электрооборудования. Отключение электроустановок от сети в режиме короткого замыкания осуществляется за счет соленоидного механизма расцепления.

Защита от перегрузки электрических цепей выполнена на основе биметаллической пластины, которая срабатывает в результате нагрева (изгибаясь, разъединяет контакт), когда сила тока превысит номинальное значение в 1,45 раза.

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям

$$\begin{aligned} U_{н.а} &\geq U_{н.с}; & I_{н.а} &\geq I_{н.с}; \\ I_{н.т} &\geq k_{н.т} I_p; & I_{э.р} &\geq k_{э.р} I_{\max}, \end{aligned} \quad (2.24)$$

Где $U_{н.а}$, $U_{н.с}$ - номинальное напряжение автоматического выключателя и сети, В;

$I_{н.а}$, $I_{н.с}$ - номинальный ток автоматического выключателя и электрической сети, А;

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

$k_{н.т}$ - коэффициент надежности теплового расцепителя для смешанной нагрузки, принимается 1,1...1,3;

I_p - рабочий ток электрической цепи, защищаемой автоматическим выключателем, А;

$I_{н.элм}$ - номинальный ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А;

$k_{э.р}$ - коэффициент надежности электромагнитного расцепителя, изменяющийся от 1,2 до 1,5 и принимающий значение 1,35 для автоматов серий ВА, АП50, АЗ700, АЕ20;

$I_{\max}$ - максимальный ток линии (с учетом режима пуска электродвигателя, если он входит в состав нагрузки), А.

Если автоматические выключатели подбираются для коммутации цепей с электроприводом, то токи уставок электромагнитного и теплового расцепителей должны удовлетворят следующим неравенствам

$$I_{элм} \geq k_p I_{\text{пуск}}; \quad I_t = (1,2 \dots 1,4) I_{\text{ном}}, \quad (2.25)$$

где $I_{\text{элм}}$ - ток электромагнитного расцепителя, А;

k_p - коэффициент учитывающий вид расцепителя, $K_p=1,5 \dots 2,2$;

$I_{\text{пуск}}$ - пусковой ток электродвигателя, А;

I_T - ток теплового расцепителя, А;

$I_{\text{ном}}$ - номинальный ток электродвигателя, А.

Для защиты нескольких электрических двигателей, подключенных к одной линии, выбирается автомат с током отсечки электромагнитного расцепителя, который рассчитывается по формуле

$$I_{\text{от.расц}} \geq (1,5 \dots 1,8) \left[\sum_{i=1}^n I_{\text{ном}} + (I_{\text{пуск}} - I'_{\text{ном}}) \right], \quad (2.26)$$

где $\sum I_{\text{ном}}$ - сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей, А;

$I_{\text{пуск}}$ - пусковой ток наибольшего по мощности двигателя, А;

$I'_{\text{ном}}$ - номинальный ток наиболее мощного двигателя, А.

В настоящее время наиболее широкое применение в народном хозяйстве получили следующие серии автоматических выключателей: АВ, ВА50, ВА75, АВМБ, АП50, АК5, АБ25, АЗ100, А20, АЗ700. Аппараты выпускаются в нескольких исполнениях: с электромагнитным, тепловым, электронным, микропроцессорным и комбинированным расцепителями.

В сельскохозяйственном производстве на смену устаревших марок автоматических выключателей АЕ20 и АЕЗ700 приходят серии ВА50 и ВА75 на токи от 6,3 до 4000 А напряжением до 1000 В переменного тока и 440 В постоянного тока.

Модернизированные автоматические выключатели с кнопочным управлением серии АП50 применяются в сельскохозяйственном производстве для запуска и защиты асинхронных электрических двигателей. Автоматы имеют защиту от перегрузки, токов короткого замыкания и рассчитаны на 30 оперативных включений в час для смешанной нагрузки и не более 12 раз в час для коммутации электроприводов.

Выключатели серий АЕ2000, АЗ100 предназначены для включения, отключения и защиты электрических цепей и электрооборудование от перегрузок и токов короткого замыкания, а также для нечастых, не более 1 раз в час, коммутаций.

Автоматические выключатели АЗ700 используются для защиты электрических установок от режима короткого замыкания, перегрузок и недопустимых снижений напряжения. Рекомендуемое оперативное количество включений и отключений электрических цепей в час не более

6. В настоящее время выпускаются модификации автоматических выключателей: токоограничивающая АЗ700Б с электромагнитным или полупроводниковым расцепителем мгновенного действия на номинальные токи главной цепи до 630 А и селективная модель АЗ700С со встроенным полупроводниковым максимальным расцепителем и регулируемой выдержкой времени. Электромагнитные и полупроводниковые расцепители токоограничивающих автоматических выключателей в режиме короткого замыкания срабатывают без преднамеренной выдержки времени, а полупроводниковые расцепители селективных выключателей при токах КЗ отключают электрические цепи с постоянной выдержкой во времени.

Таблица 2.4 - Технические характеристики выключателей серии ВА

Тип автоматического выключателя	ВА 51-35	ВА 52-37	ВА 51-39
Номинальный ток выключателя, А	250	400	630
Номинальное напряжение электрической сети: переменного тока частоты 50 и 60 Гц, В постоянного тока, В	до 660 220	до 660 440	до 660 440
Номинальные токи тепловых максимальных расцепителей, А	80, 100, 125, 160, 200, 250	250, 320, 400	250, 320, 400, 500, 630
Уставки по току отсечки электромагнитного максимального расцепителя в зоне токов короткого замыкания, кратные номинальному току теплового максимального расцепителя: при переменном токе при постоянном токе	12 10, 8, 6	10 6	12, 10 6
Предельная коммутационная способность, кА, при $U=660$ В и $\cos\varphi =0,3$	10	18	20
Коммутационная износостойкость, циклов ВО	4000	2000	2000
Вес выключателя, кг	2,4	4,8	7,5

Трехфазные автоматические выключатели средней коммутационной способности, нетокоограничивающие ВА51 и токоограничивающие с блоком размыкающих контактов высокой коммутационной способности ВА52, обладают широким диапазоном уставок электромагнитных максимальных расцепителей и предназначены для применения в электрических цепях переменного тока частотой 50, 60 Гц напряжением до 660 В и постоянного тока до 440 В с рабочими токами от 16 до 630А, отличающиеся высокой коммутационной способностью до 40 кА. Автоматические выключатели рассчитаны для нечастых оперативных

включений и отключений линий (до 3 в час) и для защиты электроустановок от перегрузок и коротких замыканий. Допускается использовать выключатели для нечастых прямых пусков асинхронных электродвигателей (таблицы 2.4 и 2.5).

Таблица 2.5 - Характеристики выключателей серии ВА

Тип автоматического выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток теплового расцепителя, А	Кратность тока, $n = \frac{I_{з.р}}{I_{н.т}}$	Предельная коммутационная способность, кА
ВА51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10	2
ВА51Г25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,5; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	14	3
ВА51-29	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	7; 10	8
ВА51-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	7;10	8
ВА51Г31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14	8
ВА52Г31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14	14
ВА51-33	160	80; 100; 125; 160	10	10

Автоматические выключатели имеют тепловые и электромагнитные максимальные расцепители для защиты от токов перегрузки и короткого замыкания. Выключатели выпускают либо с электромагнитными и электронными максимальными расцепителями тока, либо без них. Конструкция автоматов предусматривает немедленное повторное включение после оперативного отключения, если параметры электрической сети соответствуют номинальным техническим характеристикам нагрузки.

Выключатели с тепловыми максимальными расцепителями тока и обратной зависимостью от тока выдержкой времени под действием одновременной нагрузки на всех полюсах:

- не должны срабатывать в течение двух часов, начиная с холодного состояния, при токе $1,05I_{ном}$;

- должны срабатывать с нагретого состояния, когда ток в течение менее двух часов достигает значения $1,2I_{ном}$, при нагреве контактов изначально током $1,05I_{ном}$;

- обязаны срабатывать менее чем за 2 мин из нагретого состояния, как только ток достигнет $1,5I_{ном}$, с целью защиты электродвигателей с легким и средним режимом пуска и при этом же токе отключать электрические двигатели с тяжелым режимом запуска в течение 2...4 мин.

Выключатели типов ВА51-39, ВА52-39 допускают повторное включение после отключения токов перегрузки или короткого замыкания через время не более 3 мин.

Автоматические выключатели серии ВА53-токоограничивающие и ВА55-селективные по конструкции аналогичны маркам ВА51 и ВА52, однако рассчитаны на более высокие номинальные токи и укомплектованы полупроводниковыми максимальными расцепителями со ступенчатой регулировкой выдержки по времени.

Выключатель ВА75-45 разработан на одно значение номинального тока максимального расцепителя - 2500 А, а ВА75-47 имеет встроенный расцепитель на два номинальных параметра тока - 2500 и 4000 А и зону селективности срабатывания 36...45 кА.

Пример. Для коммутации и защиты низковольтных электрических сетей напряжением 220/380 В от аномальных режимов (рисунок 2.8) рассчитать и выбрать автоматические выключатели с комбинированными максимальными расцепителями и предохранители с плавкими вставками (для электродвигателя М1 подобрать магнитный пускатель и тепловое реле). К силовому щиту РЩ через линии L1...L3 подключены электродвигатели с легким режимом пуска запускаемые поочередно. Двигатели имеют следующие характеристики, таблица 2.6. От щита ЩО отходят две осветительные линии L4 и L5, к одной из которых подключено 20 ламп накаливания с суммарной мощностью 1,5 кВт, а к другой 50 люминесцентных ламп общей мощностью 2 кВт. Коэффициент мощности осветительной нагрузки с люминесцентными лампами, $\cos\varphi = 0,9$. Коэффициент одновременности работы потребителей, $k_o = 0,8$.

Таблица 2.6 - Технические характеристики электродвигателей

Обозначение	Коэффициент загрузки, k_z	Тип двигателя	Мощность, кВт	Номинальный ток, А	Кратность пускового тока, λ_i	$\cos\varphi$
М1	0,9	АИР132S4	7,5	13,3	7,5	0,86
М2	0,7	АИР132М4	11	19,2	7,5	0,87
М3	0,85	АИР160Б4	15	25,6	7,0	0,89

Алгоритм решения

Линия 1. Рабочий ток электродвигателя М1

$$I_p = k_z I_{ном} = 0,9 \cdot 13,3 = 11,97 \text{ A.}$$

Пусковой ток электрического двигателя

$$I_{пуск} = \lambda_i I_{ном} = 7,5 \cdot 13,3 = 99,75 \text{ A.}$$

Ток уставки теплового расцепителя автомата QF3

$$I_{н.т} \geq k_{н.т} I_p = 1,2 \cdot 11,97 = 14,36 \text{ A.}$$

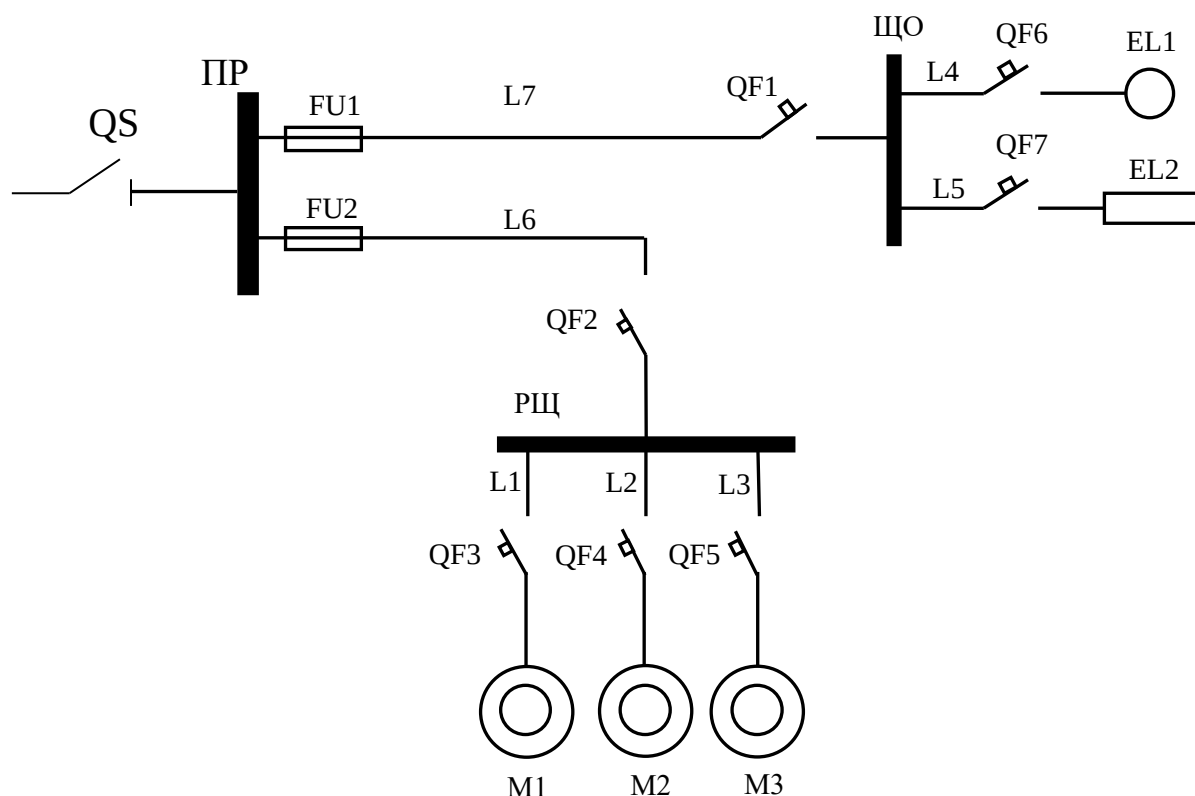


Рисунок 2.8 – Схема подключения электроприемников

Из справочной литературы выбирается автоматический выключатель с тепловым и электромагнитным расцепителями ВА51-25, рассчитанный на переменное напряжение 660 В.

Дальнейший выбор характеристик осуществляется по следующим условиям: номинальный ток автомата должен быть больше или равен номинальному току электродвигателя, а номинальный ток уставки теплового расцепителя больше или равен расчетного значения. По таблице выбирается номинальный ток выключателя,

$I'_{ном} = 25 \text{ А}$ ($25 \text{ А} > 13,3 \text{ А}$) и номинальный стандартный ток уставки теплового расцепителя, $I'_{н.т} = 16 \text{ А}$ ($16 \text{ А} > 14,36 \text{ А}$).

Ток уставки электромагнитного расцепителя с учетом коэффициента запаса, при котором он не должен срабатывать во время запуска электродвигателя,

$$I_{э.р} \geq k_{э.р} I_{max} = k_{э.р} I_{пуск} = k_{э.р} \lambda_1 I_{ном} = 1,35 \cdot 7,5 \cdot 13,3 = 134,7 \text{ А}.$$

Ток срабатывания уставки электромагнитного расцепителя с учетом стандартной кратности, взятой из таблицы, по отношению к стандартному значению тока теплового расцепителя

$$I'_{э.р} \geq n I'_{н.т} = 10 I'_{н.т} = 10 \cdot 16 = 160 \text{ А}.$$

Проверка правильно ли выбран автоматический выключатель осуществляется, исходя из неравенства

$$I'_{э.р} \geq I_{э.р} = 160 \text{ А} > 134,7 \text{ А}.$$

Неравенство выполняется, следовательно, выключатель по своим техническим характеристикам правильно подобран для коммутации и защиты электрической сети от аномальных режимов работы с нагрузкой в виде электродвигателя М1.

Магнитный пускатель подбирается по условиям

$$U_{н.п} \geq U_c; \quad I_{н.п} \geq I_p; \quad I_{нагр.эл} \geq I_{ном.дв}.$$

Из таблицы, представленной в справочной литературе выбирается магнитный пускатель серии ПМЛ-1160ДМ на номинальный ток 16 А, напряжение 380 В, частотой 50 Гц. В его комплект входит тепловое реле марки РТЛ-1016, рассчитанное на номинальный ток 25 А с диапазоном токовой уставки теплового расцепителя $I_{нагр.эл} = 9,5 \dots 14 \text{ А}$. Подставляя выбранные номинальные значения в неравенства, получим

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В}; \quad 16 \text{ А} > 11,97 \text{ А}; \quad 14 \text{ А} > 11,97 \text{ А}.$$

Условия выполняются, следовательно, магнитный пускатель и тепловое реле подобраны правильно.

Для электрических линий L2 и L3 и автоматических выключателей QF4 и QF5 проводятся аналогичные расчеты результаты, которых сведены в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 - Результаты расчета токов линий и выключателей

Номер линии	Тип выключателя	$I_{пуск}, \text{ А}$	$I_{ном}, \text{ А}$	$I'_{ном}, \text{ А}$	$I_{н.т}, \text{ А}$	$I'_{н.т}, \text{ А}$	$I_{э.р}, \text{ А}$	$I'_{э.р}, \text{ А}$	n
L1	BA51-25	99,75	13,3	25	14,36	16	134,7	160	10
L2	BA51-25	144	19,2	25	16,13	20	194,4	200	10
L3	BA51-29	179,2	25,6	63	26,11	31,5	241,92	315	10

Линия 4. Рабочий ток линии с лампами накаливания рассчитывается

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_{\Sigma}}{U_{\text{ном}} \cos \varphi} = \frac{1500}{1,73 \cdot 380 \cdot 1} = 2,28 \text{ A}$$

Ток уставки теплового расцепителя автоматического выключателя QF6

$$I_{\text{н.т}} \geq k_{\text{н.т}} I_p = 1,2 \cdot 2,28 = 2,74 \text{ A.}$$

На основании расчетного тока уставки теплового расцепителя выбирается автоматический выключатель серии ВА51Г25 со следующими номинальными параметрами: $I_{\text{ном}} = 25 \text{ A}$, $I'_{\text{н.т}} = 2,5 \text{ A}$.

Значение тока электромагнитного расцепителя со стандартной кратностью срабатывания

$$I'_{\text{э.р}} \geq n I'_{\text{н.т}} = 14 \cdot 2,5 = 35 \text{ A.}$$

Линия 5. Ток линии с люминесцентными лампами

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{P_{\Sigma}}{U_{\text{ном}} \cos \varphi} = \frac{2000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,9} = 3,38 \text{ A.}$$

Ток теплового расцепителя автоматического выключателя QF7 определяется

$$I_{\text{н.т}} \geq k_{\text{н.т}} I_p = 1,2 \cdot 3,38 = 4,1 \text{ A.}$$

Выбирается автоматический выключатель ВА51Г25, у которого номинальный ток $I_{\text{ном}} = 25 \text{ A}$, стандартный ток теплового расцепителя $I'_{\text{н.т}} = 4,5 \text{ A}$.

Стандартный ток срабатывания электромагнитного расцепителя

$$I'_{\text{э.р}} \geq n I'_{\text{н.т}} = 14 \cdot 4,5 = 63 \text{ A.}$$

Электромагнитные расцепители выключателей для линий 4 и 5 не проверяются по пусковым токам, так как в составе нагрузки отсутствуют электродвигатели.

Линия 6. Рабочий ток магистральной линии определяется по формуле

$$I_p = k_o \sum_{i=1}^m I_i = 0,8(13,3 + 19,2 + 25,6) = 58,1 \text{ A.}$$

Максимальный ток линии

$$I_{\text{max}} = I_{\text{пуск}} + k_o \sum_{i=1}^m I_i = 179,2 + 0,8(13,3 + 19,2) = 207,86 \text{ A.}$$

Расчетное значение тока уставки теплового расцепителя выключателя QF2

$$I_{н.т} \geq k_{н.т} I_p = 1,35 \cdot 58,1 = 78,44 \text{ A.}$$

Выбирается автоматический выключатель ВА51-31 с номинальным током 100 А и номинальным током теплового расцепителя $I'_{н.т} = 80 \text{ A}$.

Условие несрабатывания электромагнитного расцепителя во время запуска электродвигателей

$$I_{э.р} \geq k_{э.р} I_{\max} = 1,35 \cdot 207,86 = 280,61 \text{ A.}$$

Выбирается стандартная наибольшая кратность срабатывания электромагнитного расцепителя с учетом соблюдения селективности отключений

$$I'_{э.р} = 10 I'_{н.т} = 10 \cdot 80 = 800 \text{ A.}$$

Проверка по условию

$$I'_{э.р} \geq I_{э.р} = 800 \text{ A} > 280,61 \text{ A.}$$

Условие выполняется, следовательно, автоматический выключатель QF2 на вводе распределительного щитка РЩ подобран правильно.

Ток плавкой вставки предохранителя FU2 находится как

$$I_b \geq \frac{I_{\max}}{\alpha} = \frac{207,86}{2,5} = 83,14 \text{ A.}$$

Из справочной литературы выбирается предохранитель серии ПН2-250 с номинальным током 250А и током плавкой вставки 100 А.

Линия 7. Рабочий ток, протекающий по линии между распределительным пунктом ПР и осветительным щитом ЩО,

$$I_p = k_0 \sum_{i=1}^m I_i = 0,8(3,38 + 2,28) = 5,53 \text{ A.}$$

Ток теплового расцепителя автоматического выключателя QF1

$$I_{н.т} \geq k_{н.т} I_p = 1,2 \cdot 5,53 = 6,64 \text{ A.}$$

Из справочной литературы выбирается автоматический выключатель серии ВА51-25 с номинальным током 25 А и стандартным значением тока теплового расцепителя 6,3 А.

Ток со стандартной кратностью срабатывания электромагнитного расцепителя для выбранного автоматического выключателя находится

$$I'_{э.р} \geq n I'_{н.т} = 7 \cdot 6,3 = 44,1 \text{ A.}$$

Для выбора предохранителя FU1 необходимо рассчитать ток плавкой вставки

$$I_b \geq k_n I_p = 1,25 \cdot 5,53 = 6,91 \text{ A.}$$

Выбирается предохранитель ПРС-25, рассчитанный на номинальное напряжение 380 В, ток 25 А с плавкой вставкой ПВД II номинальный ток которой равен 10 А.

На вводе ПР установлен рубильник QS. Выбор рубильника начинается с расчета рабочего тока, который определяется как сумма токов магистральных линий L6 и L7,

$$I_p = k_o \sum_{i=1}^m I_i = 0,8(58,1 + 5,53) = 50,9 \text{ A.}$$

При выборе характеристик рубильника необходимо учитывать, что номинальный ток, указанный в таблице должен быть больше или равен расчетному значению на вводе в ПР. По справочнику выбирается рубильник серии РПБ31 с номинальным током 100 А, током электродинамической стойкости 10 кА и односекундным током термической стойкости 16 кА·с.

Предохранители предназначены для защиты электрических сетей и электрооборудования от токов короткого замыкания и чрезмерных токов нагрузки. Принцип работы заключается в расплавлении плавкой вставки малого сечения, находящейся внутри предохранителя, под действием токов короткого замыкания или токов длительной перегрузки.

В электрических цепях для защиты электроустановок до 1000 В рекомендуется использовать следующие серии плавких предохранителей: П - с открытой плавкой вставкой, СПО и ПТ - с полужакрытыми патронами, Е27, Е33, ПР1, ПР2 - без наполнителя, НПН, ПН2, ПНБ, ПРТ, ППН - с наполнителем из кварцевого песка, Е и ПРС - пробочные.

В настоящее время на замену устаревшей серии ПН2 разработана и выпускается более современная марка предохранителей ППН, соответствующая всем требованиям международного стандарта. Предохранители серии ППН изготавливаются с токоограничивающими плавкими вставками типа gG и aM. Предохранители со вставками gG предназначены для защиты от перегрузок и коротких замыканий силовых электроустановок и электрических сетей переменного и постоянного тока. Плавкие вставки рассчитаны на переменное напряжение 690 В частотой 50 и 60 Гц и напряжение постоянного тока 440 В. Предохранители серии ППН с плавкой вставкой типа aM используются для защиты электродвигателей и устройств регулирования оборотов вращения, например, преобразователей частоты, от токов короткого замыкания. Срок службы предохранителей составляет 8 лет.

В сельскохозяйственных сетях низкого напряжения широкое применение нашли предохранители серий: Е, ПР, ПН и ППН.

В качестве примера в таблице 2.8 представлены технические характеристики двух серий предохранителей - устаревшей, но еще используемый для защиты электрооборудования ПН2 и новой ППН.

Таблица 2.8 - Технические характеристики предохранителей

Тип предохранителя	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Предельный ток отключения, кА
		Предохранителя	Плавкой вставки	
ПН2-100	-220/~380	100	30 , 40, 50, 60, 80, 100	100
ПН2-250	-220/~380	250	80, 100, 120, 150, 200, 250	100
ППН-33	-220/~440	160	2,4,6,10,12,16, 25, 32,40,50,63,80,100, 160	100
ППН-39	-440/~500	630	500,630	50
ПРС-10-П	-440/~500	10	1; 2; 4; 6,3; 10	60
ПРС-25-П	-440/~500	25	4; 6,3; 10; 16; 20; 25	60

Плавкие предохранители выбирают по номинальному напряжению, номинальному току плавкой вставки и предельно отключающему току предохранителя с учетом следующих неравенств

$$\begin{aligned}
 U_{н.пр} &\geq U_{н.уст}; & I_{ном} &\geq k_n I_{р.мах}; \\
 I_{ном} &\geq \frac{I_{мах}}{\alpha}; & I_{пр.откл} &\geq I_{кз},
 \end{aligned}
 \quad (2.27)$$

где $U_{н.пр}$, $U_{н.уст}$ - номинальное напряжение предохранителя и установки, В;

$I_{ном}$, $I_{р.мах}$ - номинальный ток плавкой вставки и максимальный рабочий ток цепи, А;

$I_{мах}$ - максимальный ток электрической цепи с учетом пускового тока электродвигателей в момент подключения электроприемника, А;

k_n - коэффициент надежности, принимаемый значения для линий с активной нагрузкой, например, лампы накаливания и нагревательные приборы - 1, для электросетей с люминесцентными лампами и ДРЛ - 1,1;

α - коэффициент, зависящий от пускового режима электродвигателей, например, для двигателей с нечастыми запусками $\alpha = 2,5$, для электродвигателей с частыми пусками $\alpha = 1,6 \dots 2$;

$I_{пр.откл}$, $I_{кз}$ - предельно отключающий ток предохранителя и ток короткого замыкания, А.

Для защиты электрической цепи с несколькими электродвигателями номинальный ток предохранителя, либо равен сумме номинальных токов одновременно работающих электрических двигателей, либо должен быть несколько больше.

Для группового подключения электродвигателей ток плавкой вставки рассчитывается

$$I_{пл} \geq \frac{\sum_{i=1}^{i-1} I_{ном} + I_{пуск}}{\alpha}, \quad (2.28)$$

где $\sum_{i=1}^{i-1} I_{ном}$ - сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей без учета двигателя с наибольшим пусковым током, А;

$I_{пуск}$ - пусковой ток наибольшего по мощности электродвигателя, А.

Если предохранитель защищает линию с пятью и более электродвигателями, то ток плавкой вставки находится по уравнению

$$I_{пл} = \sum_{i=1}^{i-1} I_{ном} + \frac{I_{пуск}}{\alpha}. \quad (2.29)$$

Ток плавкой вставки для защиты асинхронного электродвигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора

$$I_{пл} = \frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{\lambda_i I_{ном}}{\alpha}, \quad (2.30)$$

где λ_i - кратность пускового тока.

Защита двигателя постоянного тока и электродвигателя с фазным ротором выполняется предохранителем с током плавкой вставки

$$I_{пл} \geq (1 \dots 1,25) I_{ном}. \quad (2.31)$$

В цепях управления, как и в силовых электрических цепях, устанавливаются предохранители для защиты от токов КЗ аппаратуры

коммутации электродвигателей. Для этих цепей ток плавкой вставки находится

$$I_{пл} = 2,5I_c, \quad (2.32)$$

где I_c – суммарный ток, протекающий по цепи управления, А.

Магнитные пускатели в основном входят в состав электроприводов и предназначены для дистанционного включения, отключения, реверсирования и защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутой обмоткой ротора. Современные пускатели дополнительно к основным указанным функциям обладают следующим функциональным набором: защита двигателей от перегрузки и обрыва фазы с помощью встроенного в корпус теплового реле, способность изменять схему включения обмоток статора, например, со звезды на треугольник, ограничивать перенапряжения на электрооборудовании, предотвращать произвольное срабатывание во время снижения напряжения сети.

В промышленности и сельскохозяйственном производстве находят применение электромагнитные пускатели серий ПМ12, ПМЕ, ПМА, ПМЛ, ПМС, ПМУ, рассчитанные на напряжение до 660 В переменного тока с частотой 50 и 60 Гц.

Пускатели ПМ12 на токи 10, 25, 40, 63, 100, 160 и 250 А применяются, главным образом, в стационарных установках для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 132 кВт.

Серия магнитных пускателей ПМЕ используется для дистанционной коммутации небольших по мощности электродвигателей (до 11 кВт) с номинальными токами 3, 10, 25 А и напряжении сети 380, 500 В. В комплект пускателей могут входить трехполюсные тепловые реле серий РТТ и РТЛ, предназначенные для защиты двигателей от длительных перегрузок и от токов, возникающих во время обрыва фаз. Время срабатывания реле при токе $1,2I_{ном}$ равно 20 мин.

Электромагнитные пускатели серии ПМА предназначены для управления работой электрических двигателей мощностью до 18,5 кВт и оснащаются электротепловыми токовыми реле типа РТТ и РТЛ с номинальным током тепловых элементов от 4 до 40 А.

Пускатели серии ПМЛ рассчитаны на токи от 10 до 100 А и напряжение переменного тока до 660 В частотой 50, 60 Гц, постоянного тока до 440 В. Магнитные пускатели укомплектованы трехполюсным тепловым реле марки РТЛ для защиты электродвигателей от

продолжительной перегрузки и токов, возникающих при обрыве фаз, имеют степень защиты IP54. Мощность управляемых электрических двигателей в зависимости от напряжения сети и номинального тока пускателей может изменяться от 2,2 до 45 кВт.

Технические характеристики магнитных пускателей серии ПМЛ и тепловых реле марки РТЛ приведены в таблицах 2.9 и 2.10.

Таблица 2.9 - Технические характеристики магнитных пускателей серии ПМЛ

Наименование	Номинальный ток, А	Дополнительные контакты	Напряжение изоляции, В	Напряжение катушки, В	Номинальная мощность, кВт
ПМЛ-1100	10	1з	660	220/380	5,5
ПМЛ-1160ДМ	16	1з			7,5
ПМЛ-2100	25	1з			11
ПМЛ-2160ДМ	32	1з			15
ПМЛ-3160ДМ	50	1з+1р			22
ПМЛ-4100	63	1з+1р			30
ПМЛ-4160Д1М	95	1з+1р			45

Таблица 2.10 - Технические характеристики тепловых реле серии РТЛ

Тип пускателя	Номинальный ток, А	Марка теплового реле	Диапазон регулирования тока несрабатывания, А	Мощность электродвигателя, кВт
ПМЛ	10	РТЛ-1005	0,6...0,8	0,37
		РТЛ-1006	0,95...1,6	0,55
		РТЛ-1007	1,5...2,6	0,75
		РТЛ-1008	2,4...4,0	1,5
		РТЛ-1010	3,8...6,0	2,2
		РТЛ-1012	5,5...8,0	3,0
		РТЛ-1014	7,0...10	4,0
	25	РТЛ-1016	9,5...14,0	5,5
		РТЛ-1021	13...19	7,5
		РТЛ-1022	18...25	11
	40	РТЛ-2053	23...32	15

Новая экономичная серия электромагнитных пускателей ПМУ выпускается в нереверсивном ПМУ и реверсивном ПМУР исполнениях. Магнитные пускатели комплектуются тепловыми реле марки РТЛУ, РПЛУ и блоком силовых контактов ПКЛУ. Контактors ПМУ рассчитаны на токи от 9 до 95 А, а пластины тепловых реле РТЛУ на токи от 0,16 до 95А.

Пускатели ПМУ применяются в стационарных установках для дистанционного запуска, остановки и реверсирования асинхронных трехфазных электрических двигателей, рассчитанных на работу в

электрических сетях переменного напряжения 380 и 660 В с частотой тока 50 Гц.

Электромагнитные пускатели выбирают в зависимости от окружающей среды, номинального напряжения электрической сети ($U_{н.п} \geq U_c$), номинальному току $I_{н.п} \geq I_{расч}$ и току нагревательного элемента теплового реле $I_{нагр.эл} \geq I_{ном.дв}$. Ток уставки тепловых реле серии РТТ можно регулировать в пределах $\pm 0,15I_{ном}$, а типа РТЛ - $\pm 0,25I_{ном}$.

Устройство внутренней температурной защиты (УВТЗ) предназначено для температурной защиты электрических двигателей и способно работать совместно с датчиками температуры - терморезисторами. УВТЗ защищает электродвигатели от перегрева, который может наступить из-за длительных перегрузок, заклинивания ротора, запуска под нагрузкой, колебаниях напряжения сети, обрыва фаз, нарушения системы охлаждения и повышения температуры окружающей среды.

Устройства температурной защиты разработаны на напряжение сети 220/380 В частотой 50 Гц и эксплуатируются совместно с магнитными пускателями серий ПМЕ и ПАЕ.

В сельскохозяйственном производстве для защиты статорных обмоток асинхронных короткозамкнутых электродвигателей от перегрева применяют УВТЗ-1М.

3 МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЫБОРА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОБЪЕКТОВ

3.1 Электропривод водоснабжающих установок

3.1.1 Общие вопросы водоснабжения

В сельскохозяйственном производстве вода расходуется на хозяйственно-бытовые и санитарно-гигиенические нужды населения, поение животных и птицы, приготовление кормов, полив растений в сооружениях защищенного грунта и на поливное земледелие.

Подача воды, например, на животноводческих объектах осуществляется через водонапорные установки, оснащенные центробежными насосами, работающими от регулируемого и нерегулируемого асинхронного электропривода. Выбор насосных установок производится, исходя из принятой схемы водоснабжения, расчета суточной нормы воды, приходящейся на одного потребителя и учета количества потребителей одного вида.

Норма водопотребления в сутки на одну голову крупного рогатого скота 50...80 л, лошадей 60...80 л, свиней 15...25 л, овец и коз 10 л. На фермах крупного рогатого скота, оснащенных доильными залами, нормы водопотребления увеличиваются на 20%. Коэффициент часовой неравномерности принимается равным 2,5.

При расчете водоснабжения в зависимости от размера хозяйства учитывается пожарный расход воды 5...20 л/с и длительность процесса горения 2...3 ч. Необходимый расход воды обязаны обеспечить насосный агрегат, водопроводная сеть и резервный источник водоснабжения.

Рекомендуемая температура воды для поения животных 5...15 °С. Слишком теплая вода плохо утоляет жажду и не освежает животных. Холодная вода уменьшает продуктивность скота и вызывает повышенный расход кормов.

Одна из наиболее распространенных схем водоснабжения животноводческих ферм включает следующий комплекс сооружений: водоприемник с насосной станцией, разводящую сеть трубопроводов, водонапорную башню и резервуар или специальный водоем для хранения противопожарного запаса воды. Для улучшения качества воды очень часто в предложенную схему водоснабжения вводят системы по очистке и обеззараживания жидкости.

3.1.2 Водоподъемные устройства

Насосные установки в сельскохозяйственном производстве применяются для перекачивания жидких сред, вязких жидкостей и технологической, охлаждающей и питьевой воды. Основным элементом рассматриваемых устройств для подачи воды являются насосы, которые подразделяются на центробежные и поршневые.

В центробежном насосе рабочее колесо с лопатками расположено на валу внутри корпуса. Лопатки изогнуты в сторону противоположную направления вращения колеса. Корпус насоса соединен со всасывающим и нагнетательным трубопроводами. При вращении жидкость, находящаяся в корпусе между лопатками, под действием центробежной силы отжимается к периферии, переходит в спиральную камеру и далее в напорный трубопровод. В центре насоса перед входом в рабочее колесо создаётся пониженное давление, и вода под действием атмосферного давления поступает из всасывающего трубопровода в насос. В настоящее время выпускаются следующие серии центробежных насосных агрегатов: К, КМ, ЭЦВ, НМШ, АХ, Х, ЦГ, ЦНС, Grundfos, Wilo, Pedrollo и т.д..

Поршневой насос простого действия состоит из рабочей камеры, имеющей всасывающий и напорный клапаны и цилиндр с поршнем. На конце всасывающей трубы устанавливают предохранительную сетку с обратным клапаном. Когда поршень движется вправо, в камеру всасывается определенный объем жидкости. При ходе поршня влево имеющийся объем воды выталкивается в напорный трубопровод. Подача поршневого насоса пропорциональна числу ходов поршня и не зависит от напора. На текущий момент выпускаются следующие серии поршневых насосов: НГС-420, VVS/VVP, PVB, PVQ, PVH, PVXS, PVE, PVM, PVWS, PLATA, LVP, MVP и т.д.

При водоснабжении животноводческих ферм наибольшее распространение получили местные и централизованные хозяйственно-производственные системы водоснабжения. В свою очередь, централизованные системы могут быть частью группового сельскохозяйственного водопровода, обеспечивающего водой несколько населенных пунктов, ферм и других производственных объектов, расположенных, как правило, на значительном расстоянии друг от друга.

Схема водоснабжения - это технологическая линия, связывающая в той или иной последовательности водопроводные сооружения, предназначенные для добывания, перекачки, улучшения качества и транспортировки воды к пунктам ее потребления.

На рисунке 3.1 представлена технологическая схема водоснабжения животноводческого объекта.

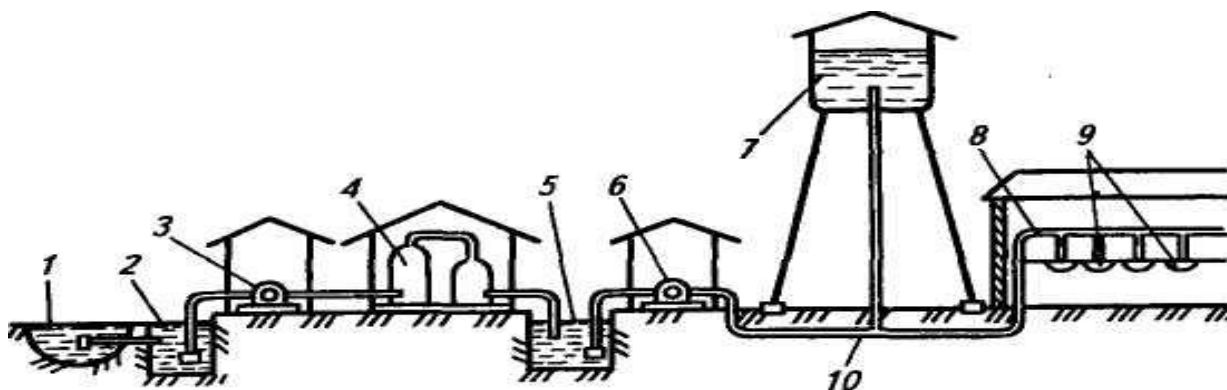


Рисунок 3.1 – Технологическая схема водоснабжения животноводческой фермы: 1 – источник воды; 2 – водозаборное сооружение; 3 – насосная станция первого подъема воды; 4 – очистное сооружение; 5 – резервуар для чистой воды; 6 – насосная станция второго подъема; 7 – напорное сооружение; 8 – внутренний водопровод; 9 – водораздаточные устройства; 10 – внешний водопровод

3.1.3 Расчет мощности электродвигателя насоса

Центробежные насосы относятся к числу механизмов с продолжительным режимом работы и постоянной нагрузкой. В большинстве случаев агрегаты изготавливаются в виде быстроходных устройств, соединяемые напрямую с валом электродвигателя. Выпускаемые в настоящее время насосы рассчитаны на угловые скорости вращения от 15 до 300 рад/с.

При отсутствии электрического регулирования скорости в насосных агрегатах небольшой мощности наиболее часто применяются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, подключаемые к переменному трехфазному напряжению 380 В. Для привода насосов мощностью свыше 100 кВт устанавливают асинхронные и синхронные двигатели 6 и 10 кВт с прямым запуском.

Насос выбирают в зависимости от максимального часового расхода воды в хозяйстве и расчетного напора. Алгоритм выбора насосного агрегата и электродвигателя к нему следующий.

Среднесуточное потребление воды по хозяйству

$$Q_{\text{сут}} = g_1 N_1 + g_2 N_2 + \dots + g_n N_n, \quad (3.1)$$

где $g_1, g_2, \dots, g_n$ - среднесуточные нормы водопотребления на единицу потребителя, принимают по нормативам для сельхозпотребителей, л/сут (таблица А.1);

$N_1, N_2, \dots, N_n$ - количество сельскохозяйственных потребителей воды.
Максимальный часовой расход воды

$$Q_{\max \text{ ч}} = \frac{k_{\text{сут}} k_{\text{ч}} Q_{\text{сут}}}{\eta_{\text{ном}}} = \frac{k_{\text{сут}} (g_1 N_1 k_{\text{ч}1} + g_2 N_2 k_{\text{ч}2} + \dots + g_n N_n k_{\text{ч}n})}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (3.2)$$

где $k_{\text{сут}}$ - коэффициент суточной неравномерности потребления воды,

$$k_{\text{сут}} = 1,1 \dots 1,3;$$

$k_{\text{ч}}$ - коэффициент часовой неравномерности потребления воды (таблица 3.1);

t - расчетная продолжительность времени;

$\eta_{\text{ном}}$ - номинальный КПД насоса.

Таблица.3.1 - Коэффициенты часовой неравномерности водопотребления

Потребители	Коэффициент часовой неравномерности, $k_{\text{ч}}$
Коммунальный сектор	1,5...2
Животноводческие фермы: с автопоением	2,0...2,5
без автопоения	4
Для пастбищ	5
Водозабор из колонок	1,6...2
Детские сады	3
Общежития	2,5
Столовые	1,5
Прачечные	1
Учебные заведения, клубы, кинотеатры	2
Производственные цеха	2,5...3,5

Расход воды за секунду находится из уравнения

$$Q_{\text{с}} = \frac{Q_{\max \text{ ч}}}{3600} + Q_{\text{п}}, \quad (3.3)$$

где $Q_{\text{п}}$ - дополнительный противопожарный расход, принимаемый в зависимости от размеров фермы $Q_{\text{п}} = (2,5 \dots 10) 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

Подача насоса определяется из выражения

$$Q_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{с}}}{24\eta_{\text{ном}}}. \quad (3.4)$$

Напор насоса выбирается исходя из того, чтобы он мог подавать воду при необходимом давлении в заданную точку. Требуемый напор определяется геометрическими высотами всасывания и нагнетания,

потерями напоров во всасывающем и напорном трубопроводах и разностями скоростных напоров на входе и выходе из насоса

$$H = H_r + h_l + h_m, \quad (3.5)$$

где H_r - геометрический напор (высота подъема жидкости, т.е. расстояние по вертикали от уровня жидкости в расходном резервуаре до уровня в приемном резервуаре);

h_l, h_m - потери напора на преодоление трения на прямых участках трубопровода и потери давления на преодоление местных сопротивлений.

Линейные потери напора на преодоление трения в трубопроводе

$$h_l = \frac{\alpha L v^2}{2g d_T}, \quad (3.6)$$

где α - коэффициент линейного сопротивления, принимается для чугунных и стальных труб 0,02; для бетонных 0,22; для асбоцементных 0,025;

L - длина трубы, м;

v - линейная скорость движения воды в трубе, м/с;

d_T - диаметр трубы, м.

Скорость движения воды в трубе рассчитывается

$$v = 1,27 \frac{Q_c}{d_T^2}. \quad (3.7)$$

Местные потери давления в трубопроводе

$$h_m = n_m \beta_m \frac{v^2}{2g}, \quad (3.8)$$

где n_m - количество местных сопротивлений одного вида;

β_m - коэффициент местного сопротивления, учитывающий потери давления в задвижках, клапанах, тройниках и т.д. (таблица 3.2);

G - ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$.

Исходя из максимального часового расхода воды и суммарному расчетному давлению выбирают из каталога соответствующий насос с соблюдением условий

$$Q_{\text{нас}} \geq Q_{\text{махч}}; \quad H_{\text{нас}} \geq H.$$

Таблица 3.2 - Коэффициенты местных потерь

Место потерь	Коэффициент местного сопротивления, β
Стальные отводы труб под углом 90° диаметром 40...400 мм	0,16...0,21
Чугунные отводы труб под углом 90° диаметром до 400 мм	0,16...0,19
Вентили проходные нормального типа	3,9
Вентили проходные свободного хода	0,6
Тройники, установленные в противотоке	1,0
Тройники, установленные в направлении ответвления	1,5
Тройники, установленные в противотоке	3,0
Приемные клапаны диаметром до 40...80 мм	8...12
Приемные клапаны диаметром до 100...400 мм	3...7
Обратные клапаны 40...80 мм	10...22
Обратные клапаны 100...400 мм	2,5...8
Задвижки при полном открытии	0,81...2,1
Проходные краны при полном открытии	0,29...3,1

Расчетная мощность насоса

$$P_{\text{нас}} = \frac{Q_c H \gamma}{\eta_n}, \quad (3.9)$$

где γ - плотность воды, 1000 кг/м^3 ;

η_n - КПД насоса, для центробежных 0,5...0,8, для вихревых 0,25...0,5, для поршневых 0,5...0,6.

Мощность электродвигателя центробежного насоса определяется по формуле

$$P_{\text{дв}} = k_z \frac{P_{\text{нас}}}{\eta_{\text{п}}}, \quad (3.10)$$

где k_z - коэффициент запаса (таблица 3.3);

$\eta_{\text{п}}$ - КПД передачи (см. подраздел 2.4).

По каталогу выбирают номинальную мощность электродвигателя по условию

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{дв}}.$$

Производительность поршневых насосов однократного действия рассчитывается по уравнению

$$Q_{\text{нас}} = \frac{k_{\text{об}} S X Z}{60}, \quad (3.11)$$

где $k_{\text{об}}$ - объемный коэффициент, 0,85...0,9;
 S - площадь днища поршня, м²;
 X - ход поршня, м;
 Z - число ходов поршня в минуту.

Таблица 3.3 - Коэффициент запаса

Мощность, кВт	Коэффициент запаса, k_z
до 0,75	2
0,75...1,5	1,5
1,5...3,5	1,2
3,5...35	1,15
свыше 35	1,1

Для поршневых насосов двойного такта производительность находится как

$$Q_{\text{нас}} = \frac{k_{\text{об}} (2S - S_{\text{ш}}) X Z}{60}, \quad (3.12)$$

где $S_{\text{ш}}$ - площадь поперечного сечения штока, м².

Для центробежных насосов установлена связь между производительностью, напором, электромагнитным моментом, мощностью на валу двигателя и угловой скоростью вращения, которая вытекает из выражений,

$$Q_1 = Q_{\text{ном}} \frac{\omega_1}{\omega_{\text{ном}}}; \quad H_1 = H_{\text{ном}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2; \quad P_1 = P_{\text{ном}} \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{ном}}} \right)^3, \quad (3.13)$$

где $Q_{\text{ном}}$, $H_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$, $P_{\text{ном}}$ - номинальные параметры электропривода насоса;

Q_1 , H_1 , M_1 , P_1 - измененные параметры электропривода насосного агрегата.

Из соотношений вытекает, что в процессе завышения скорости электродвигателя потребляемая им мощность резко возрастает, а это приводит к росту тока, протекающего по обмоткам, и перегреву

электрической машины. Если скорость электропривода будет занижена, то создаваемый им напор может оказаться недостаточным для расчетной подачи.

Тип электродвигателя выбирают исходя из условий окружающей среды и особенностей монтажа. Механическая характеристика центробежного насоса имеет вентиляторный вид с начальным моментом сопротивления $M_0 = 0,1M_{\text{ном}}$.

Подачу насосных установок регулируют включением и отключением одного или нескольких насосных агрегатов, дросселированием задвижки, изменением оборотов вращения электропривода. Наиболее рациональным считается последний способ. Частоту вращения асинхронного электродвигателя можно изменять варьированием подводимого напряжения, переключением числа пар полюсов, снижением или увеличением сопротивления в роторной цепи или частоты тока в питающей сети. Скорость вращения насосных агрегатов, возможно, регулировать электромагнитной муфтой скольжения, клиноременной передачей с вариатором и применением многоскоростных электродвигателей.

Пример. Рассчитать мощность электродвигателя установки с погружным насосом, предназначенной для обеспечения водой животноводческой фермы на 400 голов. В помещениях для животных содержатся: 200 голов крупного рогатого скота мясной породы и 80 голов молодняка до двух лет. Суточный расход воды на одну взрослую особь 70 л ($0,07 \text{ м}^3/\text{сут.}$) и 30 л ($0,03 \text{ м}^3/\text{сут.}$) на одну голову молодняка. Общее число работающих на ферме 15 человек. Среднесуточный расход воды на одного работника с учетом санитарно-гигиенических нужд 85 л ($0,085 \text{ м}^3/\text{сут.}$). Водопроводная сеть запроектирована длиной 345 м, выполненная из стальных труб диаметром 75 мм, в которой установлены 7 проходных вентилей нормального типа, 4 тройника на ответвлениях и 2 задвижки. На ферме предусмотрен водоем для пожарных нужд. Дополнительный противопожарный расход составляет $0,005 \text{ м}^3/\text{с}$. Геометрический напор установки 25 м.

Алгоритм решения

Суточный расход воды на животноводческой ферме

$$Q_{\text{сут}} = g_1 N_1 + g_2 N_2 + g_3 N_3 = 0,07 \cdot 200 + 0,03 \cdot 80 + 0,085 \cdot 15 = 17,68 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Максимальный часовой расход воды на животноводческой ферме

$$Q_{\text{махч}} = \frac{k_{\text{сут}}(g_1 N_1 k_{\text{ч1}} + g_2 N_2 k_{\text{ч2}} + g_3 N_3 k_{\text{ч3}})}{t\eta_{\text{н}}} = 1,2 \frac{(0,07 \cdot 200 \cdot 2 + 0,03 \cdot 80 \cdot 2 + 0,085 \cdot 15 \cdot 1,5)}{24 \cdot 0,8} = 1,86 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Секундный расход воды на ферме

$$Q_c = \frac{Q_{\text{сут}}}{3600} + Q_{\text{п}} = \frac{17,68}{3600} + 0,005 = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Скорость движения воды в трубе

$$v = 1,27 \frac{Q_c}{d^2_T} = 1,27 \cdot \frac{0,01}{0,075^2} = 2,27 \text{ м/с}.$$

Потери напора на прямых участках водопровода

$$h_{\text{л}} = \frac{\alpha L v^2}{2g d_T} = \frac{0,024 \cdot 345 \cdot 2,27^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,075} = 28,99 \text{ м}.$$

Потери напора на местных сопротивлениях

$$h_{\text{в}} = n_{\text{в}} \beta_{\text{в}} \frac{v^2}{2g} = 7 \cdot 3,9 \frac{2,27^2}{2 \cdot 9,81} = 7,16 \text{ м};$$

$$h_{\text{т}} = n_{\text{т}} \beta_{\text{т}} \frac{v^2}{2g} = 4 \cdot 1,5 \frac{2,27^2}{2 \cdot 9,81} = 1,17 \text{ м};$$

$$h_{\text{з}} = n_{\text{з}} \beta_{\text{з}} \frac{v^2}{2g} = 2 \cdot 2,2 \frac{2,27^2}{2 \cdot 9,81} = 1,15 \text{ м}.$$

Суммарные местные потери напора рассчитываются

$$h_{\text{м}} = h_{\text{в}} + h_{\text{т}} + h_{\text{з}} = 7,17 + 1,17 + 1,15 = 9,48 \text{ м}.$$

Расчетная высота подачи воды

$$H = H_{\text{г}} + h_{\text{л}} + h_{\text{м}} = 25 + 28,99 + 9,48 = 63,47 \text{ м}.$$

Мощность насоса находится по уравнению

$$P_{\text{нас}} = \frac{\gamma Q_c H}{\eta_{\text{н}}} = \frac{1000 \cdot 0,01 \cdot 63,47}{0,8} = 793,4 \text{ Вт} = 0,79 \text{ кВт}.$$

Расчетная мощность электродвигателя, подсоединенного напрямую к насосу,

$$P_{\text{дв}} = k_{\text{з}} \frac{P_{\text{нас}}}{\eta_{\text{п}}} = 1,5 \frac{0,79}{1,0} = 1,19 \text{ кВт}.$$

Исходя из максимального часового расхода воды и расчетного давления по каталогу для скважных агрегатов выбирается насос марки ЭЦВ4-2,5-100 с

техническими параметрами: $Q_{\text{нас}}=2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H=100 \text{ м}$, $P_{\text{дв}}=1,5 \text{ кВт}$. Правильность выбора проверяется на основании выполнения неравенств

$$Q_{\text{нас}} \geq Q_{\text{махч}}, \quad H_{\text{нас}} \geq H,$$

$$2,5 > 1,86; \quad 100 > 63,47.$$

Неравенства выполняются, следовательно, насосная установка выбрана верно.

3.2 Электропривод вентиляционных установок

3.2.1 Назначение вентиляционных установок

Вентиляторы предназначены для поддержания качественного состава воздуха в производственных и административных помещениях за счет обеспечения притока чистого и удаления отработанного воздуха, отсасывания газов, поддержания микроклимата, а также подачи кислорода или газа в камеры электропечей, в котельных и других установках. Вентиляторы способны создавать перепад давления в диапазоне $(0,01 \dots 0,1) \cdot 10^5 \text{ Па}$.

В животноводческих помещениях воздух загрязняется в результате выделения животными различного рода экскрементов, углекислого газа, сероводорода, водяных паров, избыточной теплоты, аммиака и метана, а также за счет механических примесей. Неудовлетворительное поддержание параметров микроклимата в помещениях с содержанием животных приводит к падению молочной продуктивности коров на 10...15%, уменьшению привесов свиней на 20...30%, снижению яйценоскости кур до 20% и эпидемии простудных заболеваний.

Наибольшее негативное воздействие на физиологическое состояние биологических объектов и их продуктивность оказывают два основных фактора – температура и влажность воздуха в помещении.

Различают вентиляционные установки с естественной тягой, с механическим побуждением воздухообмена и комбинированного действия. Вентиляционные системы подразделяются на приточные, вытяжные и смешанные, с подогревом и без подогрева воздушных масс. Приточные системы вентиляции с естественной тягой работают за счет скоростного напора ветра, а вытяжные – за счет разности температур внутри здания и снаружи.

3.2.2 Технология поддержания микроклимата в животноводческих помещениях

Животные выделяют в окружающую воздушную среду тепло, водяной пар, газы, углекислоту и др. В результате разложения органических веществ экскрементов животных образуются вредные газы: аммиак, сероводород и др. В помещениях с недостаточным воздухообменом происходит накопление вредных выделений сверх допустимого предела. Ухудшается процесс обмена веществ, общее физиологическое состояние, переваримость и усвоение питательных веществ корма. В результате снижается естественная резистентность и здоровье животных, их продуктивность и качество продукции.

В целях поддержания параметров микроклимата в животноводческих помещениях необходимо постоянно обеспечивать воздухообмен, т.е. создавать необходимое соотношение между подачей и равномерностью распределения по объему производственных площадей приточного и вытяжного воздуха.

Микроклимат помещений представляет собой совокупность физических, химических и биологических параметров окружающей среды. Основные из них - температура и относительная влажность воздуха, его подвижность, электрические свойства, содержание углекислоты, аммиака, сероводорода, концентрация пыли и наличие микрофлоры. К этим параметрам следует добавить интенсивность производственных шумов, которая значительно возросла с внедрением механизации, а также освещенность рабочих зон.

Температура, влажность, чистота и подвижность воздуха в помещении оказывают влияние на терморегуляцию животных - совокупность физиологических процессов, поддерживающих температуру тела на постоянном уровне. Постоянство температуры тела достигается благодаря изменениям в процессе выработке теплоты в организме и теплоотдачи, а, следовательно, продуктивности животных и потребления ими кормов.

При понижении температуры внутри помещения животные потребляют больше кормов, а при повышении температуры затрудняется отдача теплоты организмом во внешнюю среду, что снижает продуктивность животных. Относительная влажность воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях обычно достигает 70...80 %. При дальнейшем ее увеличении до 90 % и более замедляются окислительно-восстановительные процессы в организме, нарушается обмен веществ, снижается сопротивляемость организма простудным заболеваниям, падает продуктивность животных.

Скорость движения воздуха должна составлять 0,2...0,5 м/с. При скорости менее 0,2 м/с образуются застойные зоны, в которых накапливаются вредные выделения, а при скоростях свыше 0,5 м/с наблюдается увеличение простудных заболеваний.

Помещения для содержания животных и птицы должны быть оборудованы вентиляцией, обеспечивающей воздухообмен для взрослого скота и молодняка не менее 17 м³/ч и для телят не менее 20 м³/ч на центнер живого веса.

Воздух в закрытых помещениях может обмениваться путем естественной или искусственной вентиляции. Естественная вентиляция - воздухообмен через ворота, двери, окна, вентиляционные установки с естественным побуждением. Искусственная вентиляция осуществляется посредством различных вентиляционных устройств с электромеханическим побуждением, рисунки 3.2 и 3.3.

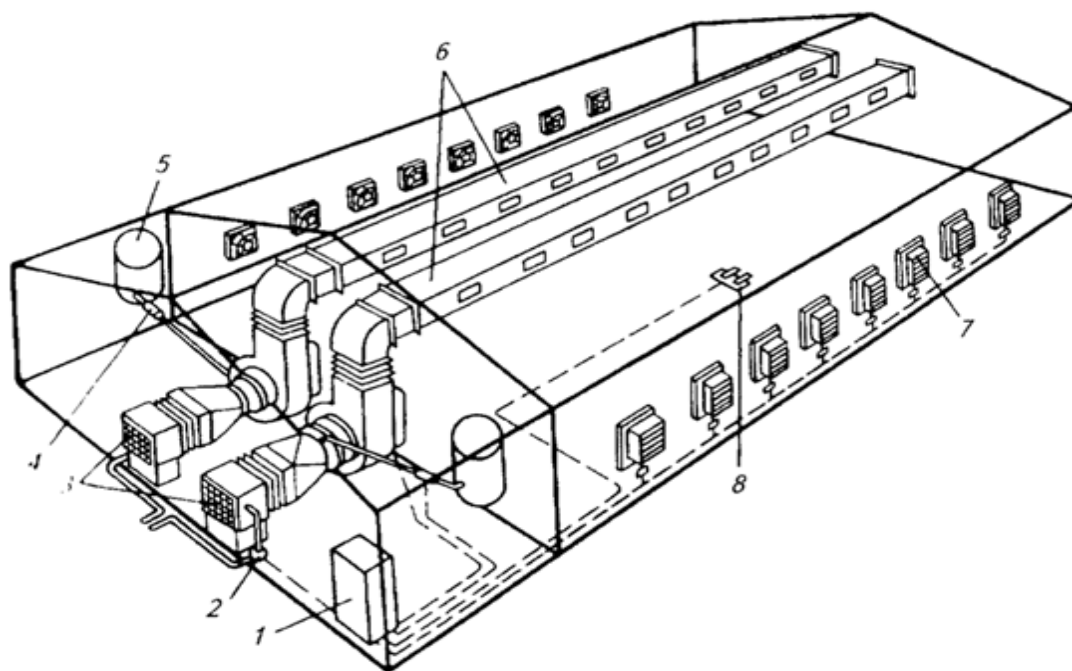


Рисунок 3.2 - Технологическая схема вентилирования в животноводческом помещении: 1- станция управления; 2 – регулирующий клапан; 3 – приточно-отопительный агрегат; 4 – электромагнитный клапан; 5 – напорный бак для воды; 6 – приточные воздуховоды; 7 – вытяжные вентиляторы; 8 – датчики температуры и влажности

В настоящее время разработаны и выпускаются промышленностью комплекты оборудования «Климат – 2», «Климат – 3», «Климат – 4», «Климат – 44», «Климат – 45», «Климат – 47» и приточно-вытяжных установок ПВУ-4, ПВУ-6, ПВУ-9, предназначенных специально для отопления и вентиляции животноводческих помещений комплексов

промышленного типа. Основными элементами установок являются вентиляционные агрегаты.

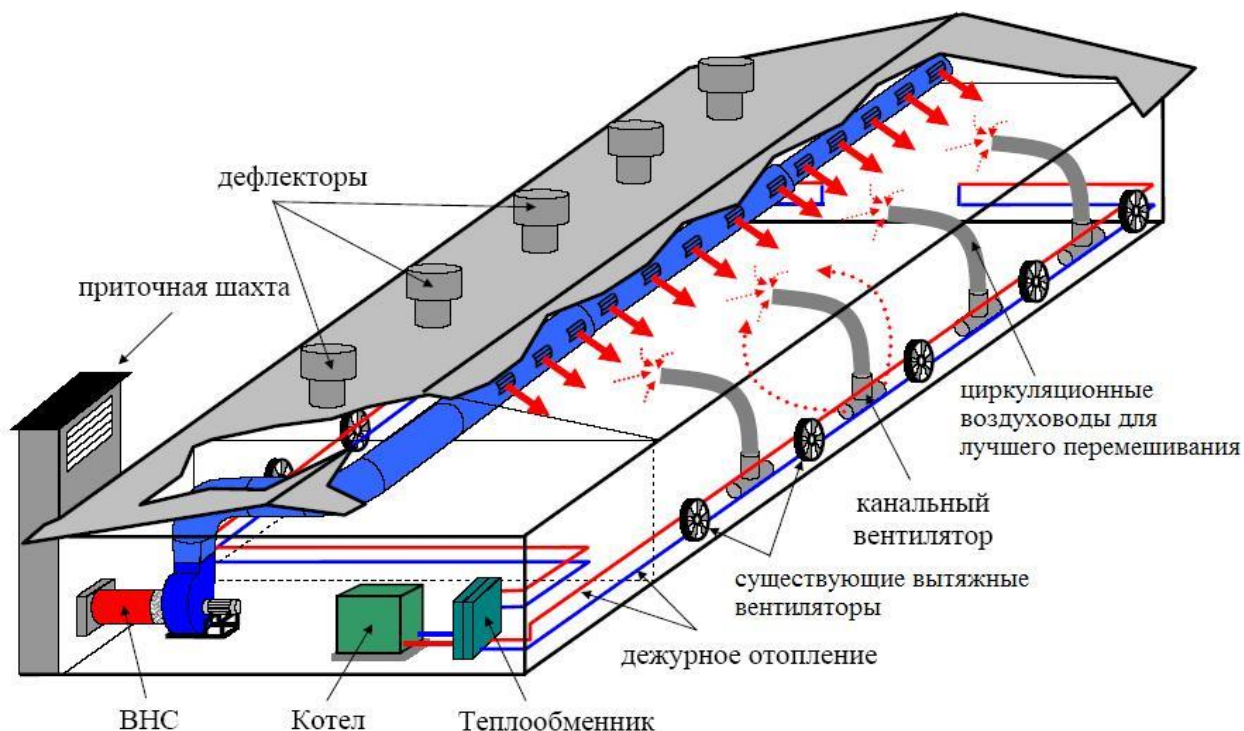


Рисунок 3.3 - Приточно-вытяжная вентиляция и система отопления птичника

По конструкции вентиляторы делятся на центробежные и осевые.

Центробежные вентиляторы выпускаются низкого, среднего и высокого давления серий ВР, ВЦ, ЦП и Ц.

Осевые вентиляторы применяются следующих марок: ВО, ВОЭ, ЕСW, AR, AW.

3.2.3 Расчет мощности электродвигателя вентиляционных установок

Вентилятор - один из самых важных элементов искусственной системы вентиляции. При подборе вентилятора стоит обратить внимание на два основных параметра – объем подаваемого воздуха (производительность) и давление создаваемого воздушного потока.

Осевые вентиляторы позволяют создавать большое давление на прямолинейных участках воздуховодов, но не способны обеспечивать высокую производительность. Если необходимо оснастить вентиляторами разветвленные сети воздуховодов, то лучше всего подойдут радиальные (центробежные) вентиляторы, которые обладают и достаточным давлением воздушного потока, и значительной производительностью. В свою очередь для монтажа в приточно-вытяжных системах вентиляции

используют канальные вентиляторы. Установка производится непосредственно в вентиляционную систему, так как вентиляторы обладают низкими шумовыми характеристиками. Для систем с механическим побуждением вентиляции промышленных, сельскохозяйственных и общественных зданий используют осевые и центробежные, так называемые крышные вентиляторы. Крышные вентиляторы устанавливают на кровле зданий, чтобы они не занимали полезную площадь сооружений. Подача и удаление воздуха происходит через предусмотренные потолочные отверстия, поскольку технологический процесс воздухообмена не предусматривает наличие воздуховодов.

Вентиляторы подбирают по подаче и развиваемому давлению. Расчетную подачу вентилятора находят исходя из определения воздухообмена, необходимого для обеспечения оптимального микроклимата в производственном помещении.

Расчет воздухообмена выполняется для нескольких основных параметров микроклимата, например, определяется количество углекислоты, водяных паров и избыточной теплоты, выделяемых в помещениях животными. После проведенных расчетов воздухообмена по указанным параметрам выбирается производительность вентилятора исходя из самого максимального полученного значения.

С целью сокращения расчетов для птичников, свинарников и коровников, расположенных в засушливых регионах страны воздухообмен в зимний период рекомендуется определять по допустимому содержанию углекислых газов в помещении, а в зданиях, построенных в незасушливых зонах - по допустимому влагосодержанию.

Воздухообмен для животноводческих помещений находят по допустимому содержанию углекислоты

$$L_{CO_2} = \frac{k_1(N_1g_1 + N_2g_2 + \dots + N_i g_i)}{(q_d - q_v)}, \quad (3.14)$$

где k_1 - коэффициент, учитывающий выделение углекислого газа микроорганизмами и подстилкой, $k_1 = 1,2$;

$N_1, N_2, \dots, N_i$ - количество животных одной группы (животные по группам подобраны по массе, возрасту и назначению);

$g_1, g_2, \dots, g_i$ - количество углекислоты, выделяемое по норме одним животным, входящим в группу, л/ч;

q_d - допустимая норма концентрации CO_2 в помещении, л/м³;

q_v - содержание углекислоты в наружном воздухе, принимается 0,3 л/м³.

Для птицеводческих помещений с содержанием птиц одной особи или разных пород в отдельных отсеках здания воздухообмен с учетом выделения углекислоты рассчитывается по формуле

$$L_{\text{CO}_2} = \frac{n_1 g_{\text{п1}} m_1 + n_2 g_{\text{п2}} m_2 + \dots + n_j g_{\text{пj}} m_j}{(q_d - q_v)}, \quad (3.15)$$

где $n_1, n_2, \dots, n_j$ - количество в отсеках птиц одной особи;

$g_{\text{п1}}, g_{\text{п2}}, \dots, g_{\text{пj}}$ - количество углекислоты на 1 кг живой массы птицы особей разных пород, л/ч (таблица А.3);

$m_1, m_2, \dots, m_j$ - средняя масса птицы каждой породы, кг.

Рекомендуемая допустимая норма предельной концентрации углекислоты в животноводческих помещениях - 2,5 л/м³, в птицеводческих зданиях - 1,8...2 л/м³.

Воздухообмен по допустимому содержанию водяных паров в объеме помещения определяется по уравнению

$$L_v = \frac{k_2 (N_1 G_1 + N_2 G_2 + \dots + N_k G_k)}{d_v - d_n}, \quad (3.16)$$

где k_2 - коэффициент, учитывающий часовое испарение влаги с поверхности пола, поилок, кормушек, стен и других ограждений, $k_2 = 1,1$;

$G_1, G_2, \dots, G_k$ - количество влаги, выделяемое одним животным той или иной группы в виде пара (таблица А.2);

d_v - допустимое содержание влаги в воздухе помещения, г/м³;

d_n - содержание влаги в наружном воздухе.

Допустимое содержание влаги в замкнутом объеме воздушного пространства животноводческого помещения

$$d_v = d_{\text{вн}} + \frac{\varphi_v}{100}, \quad (3.17)$$

где $d_{\text{вн}}$ - влагосодержание воздуха внутри помещения, г/м³;

φ_v - относительная влажность воздуха внутри помещения (таблица А.4).

Содержание влаги в наружном воздухе рассчитывается по формуле

$$d_n = d_{\text{нар}} + \frac{\varphi_n}{100}, \quad (3.18)$$

где $d_{\text{нар}}$ - влагосодержание наружного воздуха, г/м³ (таблица А.5);

φ_n - относительная влажность наружного воздуха, для южных регионов и средней полосы России 60...80% в осенне-зимний период.

Животные и птица выделяют не только углекислый газ, водяные пары, но и теплоту.

Для летнего периода времени воздухообмен по избыточной теплоте находится из уравнения

$$L_T = \frac{Q_{изб}(1 + \alpha t_v)}{c(\tau_v - \tau)}, \quad (3.19)$$

где $Q_{изб}$ - избыточное тепло в тепловом балансе помещения, удаляемое с вентилируемым воздухом, кДж/ч;

τ_v и τ_n - температура внутреннего и наружного воздуха, °С;

α - температурный коэффициент $1/273$ °С;

c - теплоемкость 1 м^3 воздуха, $c = 1,3 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{°С}$.

В теплый период года ($\tau > +10$ °С) температура воздуха в помещении с содержанием животных на подстилке должна быть не более чем на $+5$ °С выше расчетной наружной температуры принятой для проектирования системы вентилирования животноводческого помещения. В зимний и переходные периоды температура в помещениях для содержания крупного рогатого скота должна поддерживаться в интервале от $+10$ °С до $+15$ °С, при относительной влажности воздуха 80 %. Если животные во время беспривязного содержания находятся в помещении без подстилки, то температура внутри здания для взрослого скота и молодняка относительно оптимальной (средней) увеличивается на $+5$ °С. Когда крупный рогатый скот содержится на привязи, то температуру воздуха в помещении следует повышать на $+3$ °С для взрослых особей, а для телят на $+7$ °С.

Количество избыточной теплоты в летний период, удаляемое с вентилируемым воздухом,

$$Q_{изб} = k_2 Q_{ж} N, \quad (3.20)$$

где $Q_{ж}$ - теплота, выделяемая одним животным;

N - количество животных.

Часовая кратность обмена воздуха в животноводческом помещении

$$k = \frac{L}{V_{п}}, \quad (3.21)$$

где L - расчетный воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$V_{\text{п}}$ - объем помещения, м^3 .

Если $k \leq 3$, то для смены воздуха используют естественную систему вентилирования помещения за счет скоростного напора ветра или разности температур внутреннего и наружного воздуха. При $k > 3$ применяют искусственную систему вентилирования. Кратность воздухообмена в час в зимний и переходный период для животноводческих помещений без подогрева не должна превышать 5.

Скорость движения воздуха за счет разности температур внутри вытяжных шахт

$$v = 2,2 \sqrt{\frac{h(\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}})}{273}}, \quad (3.22)$$

где h - высота вытяжной шахты, м;

$\tau_{\text{в}}$ - температура воздуха внутри здания, $^{\circ}\text{C}$;

$\tau_{\text{н}}$ - температура воздуха снаружи, $^{\circ}\text{C}$.

Суммарное сечение вытяжных каналов на крыше здания

$$S = \frac{L_{\text{в}}}{3600v}. \quad (3.23)$$

Количество вытяжных шахт для удаления отработанного воздуха

$$N_{\text{в}} = \frac{S}{s_{\text{к}}}, \quad (3.24)$$

где $s_{\text{к}}$ - сечение одной вытяжной шахты, м^2 .

Применение вентиляционных систем в животноводческих и птицеводческих помещениях не возможно без расчета необходимого напора воздуха в воздуховодах.

Расчетный напор воздуха на прямолинейных участках воздуховода при движении воздуха с постоянной скоростью внутри трубы рассчитывается

$$h_{\text{л}} = f\gamma \frac{Lv^2}{2d}, \quad (3.25)$$

где γ - плотность воздуха, $1,2 \text{ кг/м}^3$;

v - скорость движения воздуха в трубе, 12...15 м/с для горизонтальных и 10 м/с для вертикальных воздуховодов;

f - коэффициент трения воздуха о внутреннюю поверхность труб воздуховодов, для круглых железных труб, $f = 0,02$;

L - длина воздуховода, м;

d - внутренний диаметр воздуховода;

Потеря давления на каждом местном сопротивлении находится по уравнению

$$h_m = \sum \beta \frac{\gamma v^2}{2}, \quad (3.26)$$

где $\sum \beta$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений (таблица А.6).

Суммарный напор внутри воздуховода рассчитывается по формуле

$$H = h_{\text{л}} + h_m. \quad (3.27)$$

Расчетная мощность электродвигателя вентиляционной системы

$$P_p = \frac{Q_v H}{3,6 \cdot 10^6 \eta_{\text{п}} \eta_v}, \quad (3.28)$$

где Q_v - подача вентилятора с учетом коэффициента трения воздуха о внутреннюю поверхность воздуховода рассчитывается $Q_v = (1,1 \dots 1,15)L$, м³/ч;

$\eta_{\text{п}}$ - КПД передачи, соединение электродвигателя и вентилятора через муфту $\eta_{\text{п}} = 0,98$, клиноременную передачу $\eta_{\text{п}} = 0,95$, плоскоременную передачу $\eta_{\text{п}} = 0,9$;

η_v - КПД вентилятора, для центробежных вентиляторов $\eta_v = 0,65 \dots 0,85$, для осевых $\eta_v = 0,75 \dots 0,92$.

Мощность электродвигателя с учетом коэффициента запаса по мощности определяется исходя из формулы

$$P_{\text{дв}} = k_3 P_p, \quad (3.29)$$

где k_3 - коэффициент запаса принимается в зависимости от полученной расчетной мощности; если в результате расчета P_p равно не более 0,5 кВт, то $k_3 = 1,5$; P_p находится в диапазоне от 0,5 до 1 кВт - $k_3 = 1,3$; P_p больше 1, но меньше 2 кВт - $k_3 = 1,2$; P_p принимает значения от 2 до 5 кВт - $k_3 = 1,05$; P_p больше 5 кВт - $k_3 = 1,1$.

По каталогу выбирается номинальная мощность электродвигателя

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{дв}}. \quad (3.30)$$

Пример. Определить мощность электродвигателя для привода вентилятора, предназначенного для поддержания параметров воздуха в животноводческом помещении на 300 животных, из них 270 коров сухостойные с живой массой 400 кг и 30 голов молодняка с живым весом 250 кг. Объем животноводческого помещения, исходя из размеров здания $85 \times 15 \times 3,3$ м, равен $4207,5 \text{ м}^3$. Высота вытяжных труб 4 м с сечением канала $s_k = 1 \times 1 = 1$ м. Нормированная температура воздуха в коровнике 12°C , относительная влажность 80 %. Температура наружного воздуха в зимний период -5°C , относительная влажность 70 %.

Приточная система выполнена на основе центробежных вентиляторов, а вытяжная работает за счет разности температур внутри и снаружи помещения. Длина воздуховодов 60 м, диаметр 0,5 м. В состав воздуховода входят 17 колен, выполненных под прямоугольным углом и 2 дроссельных задвижки.

Алгоритм решения

Воздухообмен по допустимому содержанию углекислоты

$$L_{\text{CO}_2} = \frac{k_1(N_1g_1 + N_2g_2)}{(q_d - q_b)} = 1,2 \frac{270 \cdot 110 + 70 \cdot 74}{2,5 - 0,3} = 15854,55 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Допустимое содержание влаги в воздухе помещения

$$d_b = d_{\text{вн}} + \frac{\varphi_b}{100} = 10,7 + \frac{80}{100} = 11,5 \text{ г/м}^3.$$

Допустимое содержание влаги в наружном воздухе

$$d_n = d_{\text{нар}} + \frac{\varphi_n}{100} = 3,24 + \frac{70}{100} = 3,94 \text{ г/м}^3.$$

Воздухообмен по содержанию водяных паров

$$L_b = \frac{k_2(N_1G_1 + N_2G_2)}{d_b - d_n} = 1,1 \frac{270 \cdot 350 + 30 \cdot 236}{11,5 - 3,94} = 14780,2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Из расчетов видно, что количество приточного воздуха для удаления находящего в воздухе углекислого газа из помещения требуется намного больше, чем для утилизации воздуха с повышенным содержанием влаги, поэтому за основу расчетов вентиляции берется воздухообмен по допустимому содержанию углекислоты.

Часовая кратность воздухообмена рассчитывается

$$k = \frac{L_{\text{co}_2}}{V_{\text{п}}} = \frac{15854,55}{4207,5} = 3,7 \approx 4$$

По полученной кратности воздуха в помещении с учетом рекомендаций, изложенных выше, выбирается вентиляционная установка с искусственным побудителем.

С целью обеспечения расчетного воздухообмена в коровнике и поддержания комфортных условий для содержания животных необходимо определить площадь вытяжных каналов вентиляционной системы.

Для удаления отработанного воздуха из животноводческого помещения через вытяжные шахты следует определить необходимое количество шахт и скорость движения воздуха.

Скорость движения воздушных масс в вытяжной шахте за счет разности температур внутри помещения и снаружи

$$v = 2,2 \sqrt{\frac{h(\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}})}{273}} = 2,2 \sqrt{\frac{4(12 + 5)}{273}} = 1,1 \text{ м/с.}$$

Сечение вытяжных каналов с учетом скорости v движения воздуха рассчитывается по формуле

$$S = \frac{L_{\text{co}_2}}{3600v} = \frac{15854,55}{3600 \cdot 1,1} = 4,0 \text{ м}^2.$$

Количество вытяжных шахт определяется по уравнению

$$N_{\text{в}} = \frac{S}{S_{\text{к}}} = \frac{4,0}{1} = 4$$

Потери напора на прямолинейных участках воздуховода при движении воздуха с одинаковой скоростью 12 м/с

$$h_{\text{л}} = f\gamma \frac{Lv^2}{2d} = 0,02 \cdot 1,2 \frac{60 \cdot 12^2}{2 \cdot 0,5} = 207,36 \text{ Па.}$$

Суммарные потери напора на местные сопротивления

$$h_{\text{м}} = \sum \beta \frac{\gamma v^2}{2} = (1,1 \cdot 17 + 0,08 \cdot 2) \frac{1,2 \cdot 12^2}{2} = 32,5 \text{ Па.}$$

Общие потери напора в воздуховоде находятся

$$H = h_{\text{л}} + h_{\text{м}} = 207,36 + 32,5 = 239,9 \text{ Па.}$$

Мощность электродвигателя вентилятора

$$P_p = \frac{Q_v H}{3,6 \cdot 10^6 \eta_{\Pi} \eta_v} = \frac{1,1 \cdot 15854,55 \cdot 239,9}{3,6 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,85} = 1,37 \text{ кВт.}$$

Мощность электродвигателя центробежного вентилятора с учетом коэффициента запаса рассчитывается

$$P_{\text{дв}} = k_3 P_p = 1,5 \cdot 1,37 = 2,1 \text{ кВт.}$$

Из каталога для центробежных вентиляторов серии ВЦ выбирается вентилятор низкого давления одностороннего всасывания ВЦ 4-70-5. Вентилятор имеет следующие технические характеристики: марка электродвигателя АИР100S4, мощность электродвигателя $P_{\text{ном}} = 3 \text{ кВт}$, производительность $Q_{\text{ном}} = 9000 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор $H_{\text{ном}} = 450 \text{ Па}$, частота вращения рабочего колеса $n_p = 1650 \text{ мин}^{-1}$, обороты вращения вала $n_v = 1500 \text{ мин}^{-1}$, масса вентилятора без двигателя 115 кг, уровень шума 89 дБ.

Для обеспечения необходимой кратности воздухообмена в животноводческом помещении с воздухообменом по содержанию CO_2 равным $Q_v = 17440 \text{ м}^3/\text{ч}$ выбираются 2 центробежных вентилятора указанной марки.

3.2.4 Расчет отопления помещений для содержания животных и птицы

В отапливаемых помещениях для содержания животных теплота отдается животными в виде испарений, поступает от систем обогрева и вентилирования, а также солнечной энергии. В неотапливаемых зданиях и сооружениях подогрев воздуха осуществляется за счет тепловыделений животных и воздействия, прямых солнечных лучей.

Тепловое равновесие в животноводческих помещениях наступает тогда, когда суммарное поступление тепла равно тепловым потерям. Если количество тепла извне поступает меньше по сравнению с теплопотерями, то температура снижается, а если больше - температура повышается.

Расход теплоты складывается из потерь через ограждающие конструкции здания, на нагревание воздуха в вентиляционных установках и поступившего в результате инфильтрации через неплотности в конструкциях, а также от испарения влаги с пола, подстилки, поилок и влажных поверхностей.

Количество избыточной теплоты для календарных месяцев, когда температуре воздуха $t > +10^\circ\text{C}$ (летний период) или мощность отопительного устройства в зимний период ($t < +10^\circ\text{C}$) определяется на основании уравнения теплового баланса помещения

$$Q_{\text{ж}} + Q_{\text{н}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{исп}}, \quad (3.31)$$

где $Q_{\text{ж}}$ - количество тепла, выделяемое животными, кДж/ч (таблица А.2);

$Q_{\text{н}}$ - теплопроизводительность системы отопления, кДж/ч;

$Q_{\text{огр}}$ - теплопотери помещения через ограждающие конструкции, кДж/ч;

$Q_{\text{в}}$ - количество тепла, необходимое для нагревания приточного воздуха, кДж/ч;

$Q_{\text{исп}}$ - тепло, расходуемое на испарение влаги с поверхности мокрого пола, кДж/ч.

Левая часть уравнения теплового баланса отражает поступление тепла, а правая - ее расход.

Количество тепла, необходимое для нагревания приточного воздуха

$$Q_{\text{в}} = Lc(\tau_{\text{в}} + \tau_{\text{н}}). \quad (3.32)$$

Тепло, выделяемое животными в период времени,

$$Q_{\text{ж}} = k_t Q_{\text{ж}} N, \quad (3.33)$$

где k_t - коэффициент, учитывающий изменение тепловыделения животного под действием колебаний температуры (таблица А.7).

Тепловыделение птиц определяется по формуле

$$Q_{\text{п}} = k_t' Q_{\text{п}}' g, \quad (3.34)$$

где k_t' - коэффициент, учитывающий изменение тепловыделения птиц под действием колебаний температуры (таблица А.7);

$Q_{\text{п}}'$ - норма выделения свободной теплоты одной птицей (таблица А.3).

Количество тепла, расходуемого на испарение влаги в помещении

$$Q_{\text{исп}} = 2,5q_{\text{исп}}, \quad (3.35)$$

где $q_{\text{исп}}$ - количество влаги, испаряемой с пола, поилок и др. конструкций, рассчитывается $q_{\text{исп}} = 0,1 \sum G_k N_i$, г/ч.

Потеря тепла через ограждения вычисляются по формуле

$$Q_{\text{огр}} = \sum \lambda S(\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}), \quad (3.36)$$

где λ - коэффициент теплопередачи, окон, дверей, потолка, стен, и т.п., кДж/(м³ · ч · °С) (таблица А.8);

S - площадь поверхности ограждений, м^2 .

Допустимый минимальный воздухообмен, требуемый для нормального существования животных и птицы, возможно, определить по формуле

$$Q_{\min} = \frac{mqN}{100}, \quad (3.37)$$

где m - масса одного животного, кг;

q - воздухообмен на 1 ц живой массы животных и птицы, $\text{м}^3/\text{ч}$ (таблица А.3).

Мощность электрокалорифера рассчитывается по уравнению

$$P_k = k_z \frac{Q_{\text{изб}}}{\eta_k}, \quad (3.38)$$

где k_z - коэффициент запаса по мощности;

η_k - КПД электрокалорифера.

В зависимости от величины P_k по каталогу выбирают электрокалорифер с номинальной мощностью, равной или близкой большей по отношению к расчетной.

Для обеспечения требуемого температурно-влажностного режима в животноводческих помещениях применяют два вида отопления – водяное и воздушное. В настоящее время наиболее распространено воздушное отопление, в котором в качестве генераторов теплоты выступают электрокалориферы. Электрокалориферные установки используют в основном в системах приточной вентиляции на животноводческих фермах и комплексах.

Широкое распространение получили установки СФОА и СФОЦ мощностью от 16 до 100 кВт, состоящие из электрокалориферов типа СФО, электрических теплонагревателей (ТЭН) и центробежных вентиляторов марки Ц4-70.

Подачу электровентиляционных установок можно регулировать изменением числа подключаемых вентиляторов, площадью сечения воздухопровода, частотой вращения двигателя.

Для большинства вентиляционных установок производственных помещений не требуется регулирования скорости приводных двигателей, исходя из этого, механические агрегаты укомплектовывают асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями.

Пример. Рассчитать мощность отопительного электрического устройства в зимний период в коровнике с содержанием 120 голов лактирующих коров с удоем 10 л в сутки, живой массой 400 кг и 30 телят до 4 месяцев весом 90 кг. Здание с

размерами $90 \times 20 \times 3,5$ м (объем помещения 6300 м^3) имеет: 8 окон с одинарным остеклением размером $1,5 \times 2$ м, две двойных деревянных двери с размером $2,1 \times 1,8$ м. Стены помещения изготовлены сплошной кладкой из силикатного кирпича. Крыша коровника выполнена из бетонных перекрытий, полы на грунте утепленные. Температура внутри помещения $+10 \text{ }^\circ\text{C}$, снаружи $-3 \text{ }^\circ\text{C}$. Воздухообмен по углекислоте равен $L_{\text{CO}_2} = 12000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Алгоритм расчета

Количество тепла в помещении, требуемого для нагревания приточного воздуха,

$$Q_{\text{в}} = L_{\text{CO}_2} c(\tau_{\text{в}} + \tau_{\text{н}}) = 12000 \cdot 1,3(10 - 3) = 109200 \text{ кДж/ч.}$$

Тепло, выделяемое животными в помещении коровника,

$$Q_{\text{ж}} = k_{\text{т}} Q_{\text{ж}} N = 1 \cdot (2300 \cdot 12 + 747 \cdot 30) = 50010 \text{ кДж/ч.}$$

Количество тепла, расходуемого на испарение влаги в помещении,

$$Q_{\text{исп}} = 2,5 q_{\text{исп}} = 2,5 \cdot 0,1(364 \cdot 120 + 118 \cdot 30) = 11805 \text{ кДж/ч.}$$

Площадь стен коровника

$$S_{\text{ст}} = n_{\text{шт}} h(L + l) = 2 \cdot 3,5(90 + 20) = 770 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь дверей

$$S_{\text{дв}} = n_{\text{шт}} l' h' = 2 \cdot 2,1 \cdot 1,8 = 7,56 \text{ м}^2.$$

Площадь окон, расположенных по периметру стен,

$$S_{\text{ок}} = n_{\text{шт}} ab = 8 \cdot 1,5 \cdot 2 = 24 \text{ м}^2.$$

Общая площадь перекрытия крыши

$$S_{\text{кр}} = AB = 90 \cdot 20 = 1800 \text{ м}^2.$$

Площадь пола животноводческого помещения

$$S_{\text{п}} \approx S_{\text{кр}} \approx 1800 \text{ м}^2.$$

Потери теплового потока через ограждения приблизительно можно рассчитать по уравнению

$$Q_{\text{огр}} = \sum \lambda S(\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{н}}) = (0,81 \cdot 770 + 2 \cdot 7,56 + 5,8 \cdot 24 + 1,98 \times$$

$$\times 1800 + 0,8 \cdot 1800) (10 - 3) = 40474,14 \text{ кДж/ч.}$$

Теплопроизводительность системы отопления животноводческого помещения в зимний период

$$Q_H = Q_{огр} + Q_v + Q_{исп} - Q_{ж} =$$

$$= 40474,14 + 109200 + 11805 - 50010 = 161479,14 \text{ кДж/ч.}$$

Для выбора мощности электрокалорифера необходимо осуществить перевод единицы измерения количества тепла кДж/ч в Ватт. Для перехода от одной единицы измерения к другой следует Q_H умножить на 0,27

$$Q = 0,27Q_H = 0,27 \cdot 111469,14 = 30096,7 \text{ Вт} \approx 30,1 \text{ кВт.}$$

Мощность электрокалорифера с учетом КПД

$$P_K = \frac{Q}{\eta_K} = \frac{30,1}{0,96} = 31,4 \text{ кВт.}$$

По каталогу выбирается электрокалорифер марки СФО-40 с техническими характеристиками: объем нагреваемого воздуха - 3000 м³/ч; тепловая мощность - 45 кВт; число установленных нагревателей - 18; воздушное сопротивление модуля - 200 Па; температурный диапазон воздуха на входе и выходе из электронагревателя - до 55 °С; количество электрических секций - 3; мощность одной секции - 15 кВт; масса нагревательного блока - 30 кг; габариты- 385×710×240 мм.

3.3 Электропривод сельскохозяйственных машин

3.3.1 Электропривод кормоприготовительных машин

Качественное приготовление корма очень важная задача, которая напрямую связана с величиной прибыли и рентабельности животноводческого или птицеводческого предприятия.

На животноводческих фермах корма приготавливают в кормоцехах по поточной технологии с помощью набора специализированных машин, которые в полной мере обеспечивают зоотехнические требования, предъявляемые к кормам - степень их измельчения и загрязненности, наличие вредных примесей.

В настоящее время в кормоцехах для производства кормов используются технологические линии типа КОРК-15, предназначенные для приготовления рассыпных кормосмесей из соломы, силоса, сенажа, корнеклубнеплодов, концентратов, раствора мелассы и карбамида. Технологические линии разработаны специально для молочно-товарных ферм на 800...2000 голов и откормочных ферм - до 5000 голов.

Мощность асинхронных электродвигателей, входящих в состав кормоприготовительных машин, в зависимости от их технологического назначения изменяется от 7,5 до 30 кВт.

Кроме технологических линий для измельчения соломы, корнеплодов, бахчевых, кукурузных початков применяют установки ИКС-5М, ИГК-30Б и ИКМ-5. Если корма необходимо дробить, то используют машины КДУ-2М, ИСК-3, ИРТ-165 и ДКВ-3.

Кормоприготовительные устройства оснащаются электрическим приводом и комплектуются системой автоматизированного управления. Все кормоприготовительные машины подразделяются на два типа: режущие и дробильные.

Мощность электродвигателя кормоприготовительных машин определяется из формулы

$$P_{эд} = \frac{k_x A_{и} Q}{\eta_{п}}, \quad (3.39)$$

где k_x - коэффициент, учитывающий потери холостого хода, $k_x = 1,15 \dots 1,2$;

$A_{и}$ - энергия, затрачиваемая на измельчение одной тонны продукта, кВт·ч/т;

Q - производительность установки, т/ч;

$\eta_{п}$ - КПД передачи.

Если корнеклубнеплоды перерабатываются измельчителями ИКС-5М и «Волгарь-5», то значения энергии, затрачиваемой на измельчение одной тонны продукта соответственно равны $A_{и} = 1,15$ кВт·ч/т и $A_{и} = 1,2$ кВт·ч/т. Для измельчения кормов зеленой массы, например, соломы, сена $A_{и} = 1,7 \dots 8$ кВт·ч/т, а для корнеклубнеплодов $A_{и} = 0,65 \dots 1,0$ кВт·ч/т.

Производительность (Q) измельчителей: сочных кормов ИКС-5М - 5 т/ч; установки «Волгарь-5» - 5...10 т/ч; грубых кормов ИГК-30 - 3 т/ч; универсальной дробилки ДКУ-1: на зерне - 1 т/ч, на корнеклубнеплодах - 7 т/ч; дробилки кормов КДУ-2: на зерне - 2 т/ч, на корнеклубнеплодах - 15 т/ч, на сене - 0,7 т/ч.

Мощность машин для приготовления кормов зависит от механических свойств сырья, степени измельчения продукта, материала, из которого изготавливаются режущие элементы, качества заточки лезвия и производительности кормоприготовительных установок. Запуск агрегатов осуществляется вхолостую с целью предотвращения заклинивания рабочих органов кормоприготовительных машин.

Пример. Рассчитать мощность электродвигателя для привода измельчителя корнеплодов. Энергия, расходуемая на измельчение материала $A = 1,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$, коэффициент, учитывающий потери во время работы установки в режиме холостого хода $k_x = 1,2$, производительность измельчителя кормов $Q = 15 \text{ т/ч}$, КПД передачи $\eta = 0,95$.

Алгоритм решения

Мощность электрического двигателя вычисляется по формуле

$$P_{\text{эд}} = \frac{k_x A_{\text{и}} Q}{\eta_{\text{п}}} = \frac{1,2 \cdot 1,3 \cdot 15}{0,95} = 24,6 \text{ кВт.}$$

Из таблицы справочной литературы выбирается трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутой обмоткой ротора серии АИР типа АИР180М4, имеющий следующие технические параметры: $P_{\text{ном}} = 30 \text{ кВт}$, $\eta_{\text{ном}} = 0,92$, $\cos\varphi = 0,87$, $S = 2\%$, $\lambda_{\text{п}} = 1,7$, $\lambda_{\text{max}} = 2,7$, $\lambda_{\text{min}} = 1,5$, $\lambda_{\text{I}} = 7$.

3.3.2 Электропривод транспортеров для перемещения грузов

Транспортировка грузов в хозяйствах по выращиванию животных и птицы, а также в тепличных комбинатах по трудозатратам составляет 30...40% от всех видов работ. Для облегчения труда работников и повышения уровня их производительности в сельскохозяйственном производстве наиболее широкое распространение получили электрифицированные транспортные средства, которые подразделяются на мобильные и стационарные. К мобильным машинам относятся кормораздатчики, электрические кары, тельферы и т.д. В группу стационарных установок входят: скребковые, ковшовые, ленточные, шнековые и др. агрегаты, предназначенные для перемещения разнообразных грузов в кормоцехах, складских и животноводческих помещениях, молочных блоках.

Работа транспортных устройств может выполняться по двум составляющим. Первой - перемещение груза по горизонтали и второй – подъем груза по вертикали.

Мощность, затрачиваемая на перемещение груза по горизонтали в одну секунду, рассчитывается по формуле

$$P_L = gfLQ, \quad (3.40)$$

где g - ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

f - коэффициент трения;

L - горизонтальная составляющая пути перемещения груза, м;

Q - подача, кг/с.

При подъеме груза мощность транспортера за одну секунду определяется из уравнения

$$P_h = \frac{ghQ}{\eta_T}, \quad (3.41)$$

где h - высота подъема, м;

η_T - КПД транспортера.

Мощность электродвигателя определяется как сумма мощностей, затрачиваемых на подъем и горизонтальное перемещение груза,

$$P_{эд} = \frac{gQ}{\eta_{II}} \left(fL + \frac{h}{\eta_T} \right), \quad (3.42)$$

где η_{II} - КПД передачи.

В уравнениях (3.40...3.42) основным параметром является производительность транспортера. Ниже приведены математические выражения, позволяющие рассчитать подачу (Q, т/ч) наиболее часто используемых установок для транспортировки грузов в сельскохозяйственном производстве.

Скребковые транспортеры применяются для транспортировки корнеклубнеплодов, зерна, силосной массы, грубых кормов и уборки навоза.

Подача скребковых транспортеров

$$Q = 3,6 \cdot 10^3 H B v p k C, \quad (3.43)$$

где H и B – высота и ширина скребка, м;

v - скорость движения цепи: для корнеклубнеплодов $v = 0,3 \dots 0,3$ м/с, зерна $v = 1 \dots 2$ м/с, мучных кормов и навоза $v = 0,5 \dots 1$ м/с;

ρ - объемная масса (плотность) транспортируемого груза: для корнеклубнеплодов $\rho = 0,45$ т/м³, зерна $\rho = 0,37 \dots 0,63$ т/м³, навоза $\rho = 1,0$ т/м³;

k - коэффициент заполнения скребков, $k = 0,6 \dots 0,8$;

C - коэффициент, учитывающий степень заполнения скребков в функции угла наклона транспортера: для легкосыпучих грузов $C = 0,35 \dots 0,85$, плохо сыпучих материалов $C = 0,6 \dots 1,0$.

Ковшовые транспортеры предназначены для вертикального или наклонного перемещения сыпучих грузов, например, зерна, муки, корнеплодов, гранулированных кормов и др.

Подача ковшового транспортера

$$Q = 3,6 \cdot 10^3 \frac{vV}{\alpha} \rho k, \quad (3.44)$$

где V - вместимость ковша, м^3 ;

v - скорость движения ленты: для зерна $v = 2 \dots 4$ м/с, корнеплодов $v = 0,3 \dots 0,5$ м/с, муки $v = 1,0 \dots 1,5$ м/с;

α - расстояние между ковшами, м;

k - коэффициент заполнения ковшей: для зерна $k = 0,75 \dots 0,9$, продуктов помола $k = 0,33$.

Шнековые транспортеры используются для транспортирования продуктов размола, зерновых, картофеля, влажных кормов, силоса, сена и т.п.

Подача шнека рассчитывается по формуле

$$Q = 60 \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \rho k n c, \quad (3.45)$$

где D - наружный диаметр винта, м;

d - диаметр вала винта, м;

ρ - плотность перемещаемого материала, т/м^3 ;

k - коэффициент заполнения винта: для зерна $k = 0,25 \dots 0,35$, муки $k = 0,25 \dots 0,3$, корнеплодов $k = 0,4$, полужидких кормовых смесей $k = 0,9 \dots 1,0$, навоза $k = 0,25 \dots 0,35$, $0,6 \dots 0,8$;

n - обороты вращения вала, мин^{-1} ;

c - коэффициент снижения подачи в зависимости от увеличения угла наклона шнекового транспортера $c = 1 \dots 0,3$.

Ленточные транспортеры позволяют перемещать сыпучие, кусковые и штучные грузы, а также различные виды грубых кормов.

Подача транспортера ленточной конструкции находится

$$Q = 3,6 \cdot 10^3 S v \rho, \quad (3.46)$$

где S - площадь поперечного сечения, продукта на ленте, м^2 .

Пример. Определить мощность и выбрать электрический двигатель для привода горизонтального ленточного транспортера, предназначенного для перемещения сыпучих грузов. Длина транспортера $L = 60$ м, подача $Q = 30$ кг/с. КПД ременной передачи $\eta = 0,98$. КПД транспортера $\eta = 0,89$. Высота подъема транспортера над уровнем горизонта $H = 0$. Коэффициент трения $f = 0,3$. Режим работы S1.

Алгоритм решения

Мощность электрического двигателя, входящего в состав электропривода ленточного транспортера,

$$P_{эд} = \frac{gQ}{\eta_{п}} \left(f_L + \frac{h}{\eta_{т}} \right) = \frac{9,81 \cdot 30}{0,98} \left(0,3 \cdot 60 + \frac{0}{0,89} \right) = 5405,5 \text{ Вт} \approx 5,41 \text{ кВт.}$$

По каталогу выбирается трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутой обмоткой ротора серии АИР типа АИР112М4 со следующими техническими данными: $P_{ном} = 5,5 \text{ кВт}$, $n_{ном} = 1450 \text{ мин}^{-1}$, $\eta_{ном} = 0,85$, $\cos\varphi = 0,86$, $S = 4,5 \%$, $\lambda_{max} = 2,5$, $\lambda_{min} = 1,6$, $\lambda_l = 7$.

Момент сопротивления на валу электродвигателя при полной загрузке транспортера

$$M_c = 30 \frac{P_{эд}}{\pi n_{ном}} = 30 \frac{5405,5}{3,14 \cdot 1450} = 35,6 \text{ Нм.}$$

Момент электродвигателя, развиваемый в режиме работы с номинальной нагрузкой,

$$M_{ном} = 30 \frac{P_{ном}}{\pi n_{ном}} = 30 \frac{5500}{3,14 \cdot 1450} = 36,2 \text{ Нм.}$$

Номинальный момент электродвигателя больше момента сопротивления при 100% загрузки ($36,2 > 35,6$), следовательно, электродвигатель выбран правильно и по своим техническим характеристикам удовлетворяет длительному режиму работы.

3.3.3 Электропривод навозоуборочных транспортеров

В животноводческих помещениях для уборки навоза широко распространены скребковые транспортеры кругового движения серии ТСН-160А, ТСН-160Б, ТСН-3,0Б, ТСН-2,0Б, Т-160У, конвейерные агрегаты, например КСН-Ф-100, скреперные установки типа УНС-1, Дельта, ТСГ-170, а для птицефабрик разработаны системы помётоудаления Факко.

Машины для уборки навоза кругового движения состоят из горизонтальных и наклонных транспортеров. Горизонтальные транспортеры при помощи скребков, закрепленных на стальной цепи, перемещают фекальные массы по каналам к наклонным транспортерам, которые переправляют его в средства для транспортировки.

Запуск электропривода горизонтального транспортера для уборки навоза осуществляется при максимальной нагрузке. По мере убывания

навоза в результате его сбрасывания в приемную часть наклонного транспортера нагрузка уменьшается, а в конце цикла уборки, когда цепь со скрепками совершает полный оборот, достигает значения соответствующего величине холостого хода. Время работы горизонтального транспортера марки ТСН-160А(Б) за одну уборку составляет 15 мин. Продолжительность выгрузки навоза наклонным транспортером после остановки наклонного транспортера не превышает 1,5 мин.

Максимальное усилие полностью загруженного горизонтального транспортера, необходимое для перемещения навоза по каналу,

$$F_{\max} = F_{\text{н}} + F_{\text{б}} + F_{\text{з}} + F_{\text{х}}, \quad (3.47)$$

где $F_{\text{н}}$ - усилие, затрачиваемое на преодоления сил трения при движении навоза по дну каналу, Н;

$F_{\text{б}}$ - усилие, необходимое для преодоления сопротивления трения о боковые стенки при движении навоза, Н;

$F_{\text{з}}$ - усилие, которое требуется на преодоление заклинивания навоза, возникающее между стенками канала и скребками, Н;

$F_{\text{х}}$ - сила сопротивления возникающая в результате перемещения скребков и цепи по каналу при работе транспортера в режиме холостого хода, Н.

Усилие, создаваемое навозом при движении по дну канала,

$$F_{\text{н}} = g m_{\text{н}} f_{\text{н}}, \quad (3.48)$$

где g - ускорение силы тяжести $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$m_{\text{н}}$ - масса навоза в канале, во время одной уборки, кг;

$f_{\text{н}}$ - коэффициент трения навоза о дно канала $f_{\text{н}} = 0,97$.

Усилие, возникающее при трении навоза о боковые стенки канала,

$$F_{\text{б}} = p_{\text{б}} f_{\text{н}}, \quad (3.49)$$

где $p_{\text{б}}$ - давление навоза на боковые стенки канала или желоба равно половине его суммарного веса, Па.

Усилие, затрачиваемое на преодоление сопротивления заклинивания навоза,

$$F_{\text{з}} = \frac{F_1 l}{\alpha}, \quad (3.50)$$

где F_1 - усилие, которое приходится на один скребок при заклинивании, $F_1 = 15 \text{ Н}$;

α - расстояние между скребками $\alpha = 0,46 \text{ м}$.

Усилие транспортной цепи в режиме работы горизонтального транспортера на холостом ходу

$$F_x = gmlf_{\text{тр}}, \quad (3.51)$$

где m - масса одного метра цепи со скребками, кг;

l - длина цепи, м;

$f_{\text{тр}}$ - коэффициент трения цепи по деревянному настилу канала $f_{\text{тр}} = 0,5$.

Момент сопротивления на валу электродвигателя рассчитывается по формуле

$$M_{\text{max}} = \frac{F_{\text{max}}v}{\omega\eta_{\text{п}}}, \quad (3.52)$$

где ω - угловая скорость вращения электродвигателя, с^{-1} ;

$\eta_{\text{п}}$ - КПД передачи;

v - линейная скорость перемещения скребков, м/с.

Статический момент сопротивления, возникающий во время трогания горизонтального транспортера под нагрузкой,

$$M_{\text{тр}} = 1,2M_{\text{max}}. \quad (3.53)$$

Электромагнитный момент электрического двигателя

$$M_{\text{эд}} \geq \frac{M_{\text{тр}}}{k_u^2 \mu_{\text{п}} - 0,25}, \quad (3.54)$$

где k_u - коэффициент, учитывающий снижение напряжения в сети во время запуска;

$\mu_{\text{п}}$ - кратность пускового момента.

Мощность электродвигателя для привода горизонтального транспортера

$$P_{\text{эд}} = M_{\text{эд}}\omega. \quad (3.55)$$

Активная мощность наклонного транспортера, применяемого для выгрузки навоза в транспортное средство, определяется из выражения (3.42).

Пример. Рассчитать мощность электродвигателя горизонтального транспортера для уборки навоза на свиноводческой ферме. Животные находятся на откорме до 80 кг. На ферме содержатся $n = 300$ голов животных. Горизонтальный транспортер обладает следующими техническими характеристиками: масса одного погонного метра цепи со скребками $m = 6,1$ кг, длина транспортной цепи $l = 170$ м, скорость движения цепи $v_{\text{ц}} = 0,19$ м/с, число зубьев ведущей звездочки $Z = 13$, скорость вращения звездочки $v_3 = 15$ м/с, шаг цепи $0,23$ м. Коэффициент трения цепи по деревянному настилу $f_{\text{тр}} = 0,5$, коэффициент трения навоза о дно канала $f_{\text{н}} = 0,97$. Суточный выход навоза от одного животного $m = 5,1$ кг/сут. Количество уборок $N = 4$. КПД передачи $\eta_{\text{п}} = 0,9$. Коэффициент, учитывающий снижения напряжения в сети во время запуска $k_{\text{у}} = 0,8$. Кратность пускового момента $\lambda_{\text{п}} = 2$.

Алгоритм решения

Усилие транспортной цепи в режиме работы горизонтального транспортера на холостом ходу

$$F_{\text{х}} = gmlf_{\text{тр}} = 9,81 \cdot 6,1 \cdot 170 \cdot 0,5 = 5086,5 \text{ Н.}$$

Масса навоза в канале определяется по формуле

$$m_{\text{н}} = \frac{nq}{N} = \frac{300 \cdot 5,1}{4} = 382,5 \text{ кг.}$$

Усилие, возникающее при перемещении навоза по каналу,

$$F_{\text{н}} = gm_{\text{н}}f_{\text{н}} = 9,81 \cdot 382,5 \cdot 0,97 = 3639,8 \text{ Н.}$$

Сопротивление, возникающее при трении навоза о боковые стенки канала,

$$F_{\text{б}} = p_{\text{б}}f_{\text{н}} = \frac{m}{2} f_{\text{н}} = \frac{382,5}{2} 0,97 = 185,5 \text{ Н.}$$

Сопротивление цепи при заклинивании навоза между скребками и поверхностью канала

$$F_3 = \frac{F_1 l}{\alpha} = \frac{15 \cdot 170}{0,46} = 5543,5 \text{ Н.}$$

Максимальное усилие, создаваемое при работе транспортера,

$$F_{\text{max}} = F_{\text{н}} + F_{\text{б}} + F_3 + F_{\text{х}} = 3639,8 + 185,5 + 5543,5 + 5086,5 = 14455,3 \text{ Н.}$$

Обороты вращения приводной звездочки определяются по формуле

$$n_3 = \frac{60v_3}{ZS} = \frac{60 \cdot 15}{13 \cdot 0,23} = 301,0 \text{ мин}^{-1}.$$

Угловая скорость вращения ведущей звездочки привода транспортера

$$\omega_3 = \frac{\pi n_3}{30} = \frac{3,14 \cdot 301,0}{30} = 31,5 \text{ с}^{-1}.$$

Исходя из оборотов вращения рабочей машины $n = 301 \text{ мин}^{-1}$, выбирается электродвигатель серии АИР с синхронной частотой вращения $n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$ и угловой скоростью вращения $\omega = 157 \text{ с}^{-1}$.

Максимальный момент, развиваемый электродвигателем транспортера,

$$M_{\max} = \frac{F_{\max} v_{\text{ц}}}{\omega \eta_{\text{п}}} = \frac{14455,3 \cdot 0,19}{157 \cdot 0,9} = 19,4 \text{ Нм}.$$

Момент, создаваемый электродвигателем в режиме холостого хода,

$$M_x = \frac{F_x v_{\text{ц}}}{\omega \eta_{\text{п}}} = \frac{5086,5 \cdot 0,19}{157 \cdot 0,9} = 6,8 \text{ Нм}.$$

Момент трогания горизонтального транспортера

$$M_{\text{тр}} = 1,2 M_{\max} = 1,2 \cdot 19,4 = 23,3 \text{ Нм}.$$

Электромагнитный момент двигателя, входящего в состав привода горизонтального транспортера,

$$M_{\text{эд}} \geq \frac{M_{\text{тр}}}{k_u^2 \mu_{\text{п}} - 0,25} \geq \frac{23,3}{0,8^2 \cdot 2 - 0,25} \geq 22,6 \text{ Нм}.$$

Мощность электродвигателя для привода горизонтального транспортера

$$P_{\text{эд}} = M_{\text{эд}} \omega = 22,6 \cdot 157 = 3548,2 \text{ Вт} \approx 3,5 \text{ кВт}.$$

Из каталога выбирается электродвигатель типа АИР100L104, имеющий следующие технические параметры: $P_{\text{ном}} = 4 \text{ кВт}$, $\eta_{\text{ном}} = 0,85$, $\cos \varphi = 0,84$, $S = 6\%$, $\lambda_{\text{п}} = 2$, $\lambda_{\text{max}} = 2,2$, $\lambda_{\text{min}} = 1,6$, $\lambda_{\text{I}} = 7$.

Продолжительность работы горизонтального транспортера для уборки навоза

$$t_p = \frac{1,05l}{v_{\text{ц}}} = \frac{1,05 \cdot 170}{0,19} = 939 \text{ с} \approx 16 \text{ мин}.$$

Время, затрачиваемое на одну уборку навоза горизонтальным транспортером равно 16 мин, а периоды пауз между уборками составляют 5,7 ч.

3.3.4 Электропривод доильных установок

Технология машинного доения основывается на применении доильного аппарата, который содержит подвесную часть, пульсатор, вакуумную установку и молокоприемник. Подвесная часть на всех доильных аппаратах имеет идентичное устройство и состоит из четырех доильных стаканов, коллектора, молочных и вакуумных шлангов. Вакуумная установка и молокоприемник видоизменяются в зависимости от технологической схемы машинного доения, которая экономически обосновывается на этапах строительства или реконструкции молочно-товарных ферм в зависимости от объемов производства молока и количества коров в стаде. Пульсатор обеспечивает работу доильных стаканов с необходимыми параметрами режима доения.

Современная доильная установка функционирует на переменном вакууме, который создается вакуумным насосом. Основная задача вакуумного насоса заключается в создании разрежения (вакуума) в системе взаимосвязанных трубопроводов и устройств для создания, измерения и регулирования работы доильной установки.

В сельском хозяйстве широко распространены следующие марки вакуумных насосов: ДВН-1, СНД-60М, НВА-75-1, НВМ-75, НВУ-75 и др.

Мощность электродвигателя вакуумного насоса

$$P_{\text{эд}} = \frac{Q_n p}{10^3 \eta_n \eta_{\text{п}}}, \quad (3.56)$$

где Q_n - подача вакуума насосом, $\text{м}^3/\text{ч}$;

p - вакуумметрическое давление, $\text{Н}/\text{м}^2$;

η_n - КПД насоса;

$\eta_{\text{п}}$ - КПД передачи.

Подача вакуум-насоса определяется

$$Q_n = k q n, \quad (3.57)$$

где k - коэффициент, учитывающий неполную герметизацию системы трубопроводов, $k = 2 \dots 3$;

q - расход воздуха одним доильным аппаратом $q = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$;

n - количество доильных аппаратов в установке.

Пример. Для ротационного вакуумного насоса марки РВН-40/350 рассчитать и подобрать электродвигатель. Насос имеет следующие технические характеристики: производительность $Q = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$, остаточное давление в насосе $p = 48000 \text{ Н/м}^2$, коэффициент запаса $k_3 = 1,3$, КПД насоса $\eta_n = 0,25$, КПД передачи $\eta_{\pi} = 0,9$.

Алгоритм решения

Мощность электродвигателя вакуумного насоса находится по уравнению

$$P_{\text{эд}} = \frac{Q_n p}{10^3 \eta_n \eta_{\pi}} = 1,3 \frac{0,01 \cdot 48000}{10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,9} = 2,7 \text{ кВт.}$$

Из каталога выбирается электродвигатель серии АИР типа АИР100S4. Двигатель имеет следующие технические характеристики: $P_{\text{ном}} = 3 \text{ кВт}$, $n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $\eta_{\text{ном}} = 0,82$, $\cos \phi = 0,83$, $S = 6 \%$, $\lambda_{\pi} = 2,0$, $\lambda_{\text{max}} = 2,2$, $\lambda_{\text{min}} = 1,6$, $\lambda_l = 7$.

3.3.5 Электропривод сепараторов молока

Сепараторы предназначены для разделения молока на фракции: сливки и обезжиренное молоко - обрат. Процесс механического разделения происходит в результате воздействия на частицы молока гравитационных и центробежных сил. Из-за большой массы барабана сепаратора электропривод имеет затяжной пуск, исходя из этого, механическая характеристика сепаратора носит вентиляторный характер и выглядит в виде параболы.

По назначению различают сепараторы: молокоочистители, сливкоотделители, установки для получения высокожирных сливок и универсальные со сменными барабанами. По способу подачи молока и отвода продуктов сепарирования аппараты бывают открытые, полузакрытые и закрытые.

Выбор устройства зависит от назначения, производительности, паспортных данных и технологического процесса.

Сепараторные установки отличаются по виду привода. Изготавливаются конструкции с ручным приводом, с электроприводом и комбинированные.

Промышленность выпускает следующие марки сепараторов-молокоочистителей: СОМ-600, ОСП-3М, ОМ-1А, Г9-ОМА, А1-ОЦМ-5, Ж5-ОМ2-Е-С и др.

Статический момент сопротивления сепаратора определяется по формуле

$$M_c = M_0 + k\omega^2, \quad (3.58)$$

где M_0 - начальный момент сопротивления, Нм;

k - коэффициент пропорциональности $k = 1,8 \cdot 10^{-6}$ Нм/с⁻¹;

ω - угловая частота вращения барабана, с⁻¹.

Мощность электродвигателя привода сепаратора молока

$$P_{эд} = k_3 M_c \omega, \quad (3.59)$$

где k_3 - коэффициент запаса по мощности электродвигателя $k_3 = 1,2 \dots 2$.

Пример. Определить мощность электродвигателя молочного сепаратора со следующими исходными данными: коэффициент, учитывающий наличие пускового механизма, например, центробежную фрикционную муфту $k_1 = 1$, коэффициент, учитывающий трение барабана сепаратора о воздух $k_2 = 1,2$, момент инерции барабана относительно оси вращения $J = 950$ кг·м², угловая скорость вращения барабана $\omega = 157$ с⁻¹, КПД передачи $\eta = 0,8$, время разгона $t = 120$ с.

Алгоритм решения

Мощность электродвигателя сепаратора определяется по средней пусковой мощности барабана сепаратора

$$P_{эд} = \frac{k_1 k_2 J \omega^2 10^{-3}}{t \eta_{п}} = \frac{1 \cdot 1,2 \cdot 950 \cdot 157 \cdot 10^{-3}}{120 \cdot 0,8} = 1,9 \text{ кВт.}$$

Для привода барабана сепаратора с учетом коэффициента запаса по мощности выбирается трехфазный асинхронный электродвигатель марки АИР90L4, имеющий паспортные данные: $P_{ном} = 2,2$ кВт, $n_0 = 1500$ мин⁻¹, $\eta_{ном} = 0,81$, $\cos \varphi = 0,83$, $S = 7$ %, $\lambda_{п} = 2,1$, $\lambda_{max} = 2,2$, $\lambda_{min} = 1,6$, $\lambda_l = 6,5$.

3.3.6 Электропривод машин для сушки зерна

Зерно в процессе уборке комбайнами засоряется на 15...18 %, при этом его влажность может достигать 28...30 %. Высокая влажность семян и сильная засоренность не позволяет отправлять собранный урожай зерна для закладки на хранение в секции элеватора без предварительной их очистки и просушки.

Отечественная промышленность выпускает комплекты оборудования серии КЗС для зерноочистительных и сушильных пунктов, состоящие из набора специализированных машин, позволяющие обеспечивать различные технологические схемы обработки зерновых культур, средств транспортировки, емкостей для хранения зерна и отходов и автоматических устройств управления работой электроприводов.

Зерноочистительные комплексы ЗАВ-20 и ЗАВ-40 работают по шести технологическим схемам очистки и сушки зерна. Основной

считается схема, при которой зерноочистка проходит по двум параллельным потокам. Остальные схемы используются тогда, когда из полной технологии очистки исключаются некоторые этапы.

В сельскохозяйственном производстве широко применяется метод активного вентилирования зерна перед закладкой на хранение с электрическим подогревом воздуха в специально построенных для этой цели бункерах. Бункер активного вентилирования состоит из двух концентрически расположенных перфорированных цилиндров с кольцевым зазором, в который засыпается зерновая масса. Наружный воздух подогревается электрокалорифером от 2 до 6 °С и подается во внутренний цилиндр бункера. Горячий воздух, проходя через слой зерна и внешний перфорированный цилиндр, отбирает излишнюю влагу и снижает влажность семян до 16 %.

Для сельского хозяйства выпускают бункера марки БВ-25, БВ-40, БВ-40А и БВ-40Б.

Зерноочистительную машину подбирают в соответствии с количеством зерна, поступающего на зерновой пункт в течение одного часа, по формуле

$$Q_3 = \frac{qF}{kNt}, \quad (3.60)$$

где F- уборочная площадь, занимаемая культурой, га;

q – урожайность, т/га;

N – продолжительность уборки;

t – число часов работы зерноочистительного пункта в сутки, ч;

k - коэффициент, учитывающий изменение производительности при сушки разных культур.

Производительность сушильного оборудования

$$Q_c = \frac{1}{n_d t_p k_n} \sum_{i=1}^n \frac{M_i K_i C}{100 k_3 k_c}, \quad (3.61)$$

где n_d - число дней работы зерноочистительного агрегата;

t_p - продолжительность работы сушильного оборудования в течение суток, ч;

K_i - коэффициент, учитывающий изменение производительности сушилок в функции влажности зерна;

C - процент зерна, подлежащий сушки, %;

k_3 - коэффициент, учитывающий снижение производительности при сушке семенного зерна;

k_c - коэффициент, зависящий от производительности сушилок и вида зерна;

M_i - запланированный сбор зерновой культуры, т.

Мощность электродвигателя зерноочистительных машин рассчитывается по уравнению

$$P_3 = \frac{P_x + A_1 Q + A_2 Q}{\eta_{\pi}}, \quad (3.62)$$

где P_x - мощность холостого хода, кВт;

A_1 и A_2 - коэффициенты, зависящие от конструкции зерноочистительной машины и технологии очистки, кВт·ч/т;

Q - пропускная способность машины, т/ч;

η_{π} - КПД передачи.

Пример. Определить мощность электродвигателя, входящего в состав привода центробежного вентилятора, предназначенного для сушки сена. Горячий воздух подается вентилятором в стог сена по трубе снизу вверх. Длина трубопровода $L = 16$ м, диаметр $D = 0,8$ м, производительность вентилятора $Q = 5,4$ м³/с. Температура нагретого воздуха $\theta = 95$ °С, сопротивление слоя травы в стоге сена массой 18...20 т потоку теплого воздуха $h_{ст} = 500$ Па. Удельный вес нагретого воздуха $\gamma = 0,95$ кг/м³, коэффициент трения воздуха о поверхность стальной трубы $\lambda = 0,02$, коэффициент местного сопротивления для колен $\varepsilon = 0,3$, КПД центробежного вентилятора $\eta_v = 0,6$, КПД передачи $\eta_{\pi} = 0,98$.

Алгоритм решения

Скорость перемещения воздуха внутри трубопровода

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 5,4}{3,14 \cdot 0,8^2} = 10,7 \text{ м/с.}$$

Скоростной напор, обеспечивающий повышение скорости воздуха с ростом температуры,

$$h_{дин} = \frac{\gamma v^2}{2g} = \frac{0,95 \cdot 10,7^2}{2 \cdot 9,81} = 5,5 \text{ Па.}$$

Потери скоростного напора внутри трубы за счет трения воздуха о внутреннюю поверхность трубопровода

$$h_{тр} = \frac{4\lambda L}{D} h_{дин} = \frac{4 \cdot 0,02 \cdot 16}{0,8} 5,5 = 1,6 \text{ Па.}$$

Потери напора на местные сопротивления

$$h_{\text{мест}} = \varepsilon h_{\text{дин}} = 0,3 \cdot 5,5 = 1,7 \text{ Па.}$$

Полный напор горячего воздуха, развиваемый вентилятором, рассчитывается по формуле

$$H = h_{\text{дин}} + h_{\text{тр}} + h_{\text{мест}} + h_{\text{ст}} = 5,5 + 1,6 + 1,7 + 500 = 508,8 \text{ Па.}$$

Мощность электродвигателя вентилятора находится из выражения

$$P_{\text{дв}} = \frac{QH}{1000\eta_{\text{в}}\eta_{\text{п}}} = \frac{5,4 \cdot 508,8}{1000 \cdot 0,6 \cdot 0,98} = 4,67 \text{ кВт.}$$

С учетом коэффициента запаса по мощности ($k_3 = 1,05$) получим

$$P_{\text{эд}} = k_3 P_{\text{дв}} = 1,05 \cdot 4,67 = 4,9 \text{ кВт.}$$

По каталогу выбирается ближайший электродвигатель серии АИР типа АИР112М4, имеющий паспортные данные: $P_{\text{ном}} = 5,5 \text{ кВт}$, $n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $\eta_{\text{ном}} = 0,855$, $\cos\varphi = 0,86$, $S = 4,5 \%$, $\lambda_{\text{max}} = 2,5$, $\lambda_{\text{min}} = 1,6$, $\lambda_{\text{I}} = 7$.

3.3.7 Электропривод металлообрабатывающих станков

Сельскохозяйственные ремонтные мастерские предназначены для ремонта автомобилей, тракторов, комбайнов, электрооборудования и другой вспомогательной техники, используемой в стационарных и мобильных технологических процессах в животноводстве растениеводстве, переработке и хранении продукции.

Для вытачивания деталей, сверления отверстий, сварки поверхностей используются металлообрабатывающее оборудование, потребляющее электрическую энергию из сети.

Станки, устанавливаемые в мастерских, как правило, комплектуются электрическими приводами и системами автоматизированного управления.

Мощность электродвигателей станков в зависимости их назначения рассчитывается по аналитическим выражениям.

Для токарных, токарно-винторезных, карусельных и строгальных станков активная номинальная мощность находится из уравнения

$$P_{\text{ном}} = \frac{F_c s_c v_p}{\eta_c \eta_{\text{п}}}, \quad (3.63)$$

где F_c - удельное сопротивление резанию, кН/мм²;

s_c - площадь сечения стружки, мм²;

v_p - скорость резания, м/с;

η_c - КПД станка;

η_{π} - КПД передачи.

Мощность электродвигателей сверлильных станков определяется по формуле

$$P_{\text{ном}} = \frac{M_c n_c}{19,2 \eta_c \eta_{\pi}}, \quad (3.64)$$

где M_c - момент сопротивления на сверле, кНм;

n_c - обороты вращения сверла, мин⁻¹.

Момент на сверле находится

$$M_c = C_c d^m S^n 10^{-2}, \quad (3.65)$$

где C_c - постоянная величина, зависящая от формы и материала сверла;

d - диаметр сверла, мм;

S - подача сверла, мм⁻¹;

m и n - показатели степени, изменяющиеся от вида обработки материала, $m = 1,4 \dots 1,9$, $n = 0,7 \dots 1,2$.

Отечественные и зарубежные электроприводы главного движения и подачи современных станков строятся на базе отечественных и зарубежных асинхронных и синхронных электродвигателей, обеспечивающие в широком диапазоне регулирование оборотов вращения и обладающие постоянным моментом и мощностью.

Пример. Определить мощность электродвигателя для сверлильного станка, если в патрон установлено сверло, образующее наибольший диаметр отверстия в стальной заготовке при сверлении $d = 30$ мм, постоянные величины, зависящие от формы и физико-механических свойств обрабатываемого материала и сверла: $C_c = 0,127$, $C_m = 44$, $m = 1,8$, $n = 0,78$, $C_v = 10,5$, $x_v = 0,3$, $y = 0,167$, $y_1 = 0,5$, показатель степени $x = 0,5$, стойкость сверла $T = 19$ мин. Показатели степени выбираются из технологической карты, разработанной технологами для каждого изделия, с учетом вида обработки, материала детали, конструкции и материала сверла и т.д.

Алгоритм решения

Подача сверла определяется из уравнения

$$S = C_c d^x = 0,127 \cdot 30^{0,5} = 0,69 \text{ мм /об.}$$

Крутящий момент на сверле рассчитывается по формуле

$$M_c = C_m d^m b^n 10^{-2} = 44 \cdot 30^{1,8} \cdot 0,69^{0,78} \cdot 10^{-2} = 150 \text{ Нм.}$$

Скорость резания металла во время сверления отверстия

$$v_c = \frac{C_v d^{x_v}}{T^{y_1} S^{y_1}} = \frac{10,5 \cdot 30^{0,3}}{190,167 \cdot 0,69^{0,5}} = 24,1 \text{ м/мин.}$$

Обороты вращения сверла находятся согласно формуле

$$n_c = \frac{10^3 v_c}{\pi d} = \frac{10^3 \cdot 24,1}{3,14 \cdot 30} = 255,8 \text{ мин}^{-1}.$$

Мощность электродвигателей сверлильного станка определяется по уравнению

$$P_{\text{ном}} = \frac{M_c n_c}{19,2 \eta_c \eta_{\text{п}}} = \frac{150 \cdot 255,8}{19,2 \cdot 0,75 \cdot 0,9} = 2960,6 \text{ Вт} \approx 2,96 \text{ кВт.}$$

Из справочной литературы выбирается электродвигатель серии АИР типа АИР100 S4 с паспортными данными: $P_{\text{ном}} = 3 \text{ кВт}$, $n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $\eta_{\text{ном}} = 0,82$, $\cos \varphi = 0,83$, $S = 6 \%$, $\lambda_{\text{max}} = 2,2$, $\lambda_{\text{min}} = 1,6$, $\lambda_1 = 7$.

3.3.8 Электропривод деревообрабатывающих станков

Деревообрабатывающие станки предназначены для обработки древесины, распиловки бревен и изготовления деталей требуемого размера и формы. Станки для обработки древесины устанавливаются в специальных мастерских, которые комплектуются разнообразным оборудованием в зависимости от объема и характера выполняемых работ. В состав приводов деревообрабатывающих станков входят асинхронные короткозамкнутые электрические двигатели мощностью до 50 кВт, рассчитанные на 750...3000 мин^{-1} оборотов вращения.

Лесопильная рама предназначена для распиловки бревен на доски и брусья. Промышленность выпускает пилорамы производительностью от 2,5 до 8,2 $\text{м}^3/\text{ч}$, оснащенные электроприводами с асинхронными двигателями мощностью 20...35 кВт, оборотами вращения 240...250 мин^{-1} и с числом пил 8...12 в одной пильной раме. Пилорамы используются для распиливания бревен диаметром от 350 до 520 мм.

В настоящее время для нужд сельского хозяйства - распиловки бревен выпускаются одноэтажные лесопильные рамы Р63-4Б, Р63-5А, Р63-6, «Барс 5», а для изготовления тарных досок РТ36.

Расчет мощности (кВт) электродвигателя лесопильной рамы производится по формуле

$$P_{эд} = \frac{vF_p}{10^3 \eta_c \eta_n}, \quad (3.66)$$

где v - скорость резания, м/с;

F_p - усилие резания, кН;

η_c - КПД станка;

η_n - КПД передачи.

Усилие резания вычисляется по уравнению

$$F_p = \frac{ks \sum h \Delta}{2H}, \quad (3.67)$$

где k - удельная сила резания, кН/мм² (для сосны 0,11, ели 0,12, березы 0,14, дуба 0,2 кН/мм²);

s - толщина пилы, мм;

$\sum h$ - суммарная высота пропила, мм;

Δ - подача $\Delta = 3 \dots 8$ мм/с;

H - ход пильной рамки, мм.

Общая высота пропила рассчитывается

$$\sum h = 0,75 d_{ср} N, \quad (3.68)$$

где $d_{ср}$ - диаметр средней площади бревна, мм;

N - количество лезвий пилы.

Скорость резания определяется

$$v = \frac{Dn}{30}, \quad (3.69)$$

где D - диаметр кривошипа, м;

n - обороты вращения, мин⁻¹.

Для повышения $\cos \phi$ деревообрабатывающих станков с кривошипно-шатунным механизмом вращения, предназначенных для распиловки бревен, следует постоянно регулировать подачу материала с целью снижения расхода электроэнергии на кубометр распиленных досок. Оптимальная загрузка лесопильных рам достигается за счет введение в состав привода дополнительной машины постоянного тока, предназначенной для автоматического регулирования подачи брусьев, питание которой осуществляется через тиристорный регулятор напряжения.

Круглопильные станки в сельском хозяйстве получили широкое распространение из-за своей надежности, простоты конструкции и ремонтпригодности. Станки используются для распиловки небольших по длине и диаметру бревен, брусьев и заготовок строительного назначения. Выпускаются стационарные марки круглых пил: Н-376, Н-377, Н-378 и легкие дисковые ручные пилы типа: Bosch PKS 40, RYOBI RWSL 1801M, Skil 5740 CA и Makita 5704R.

Мощность (кВт) круглопильного деревообрабатывающего станка, развиваемая электродвигателем, входящим в состав привода,

$$P_{эд} = \frac{kbHv_{п}}{10^3\eta_c\eta_{п}}, \quad (3.70)$$

где b - ширина пропила, мм;

$v_{п}$ - скорость подачи, м/с;

η_c - КПД станка $\eta_c = 0,75 \dots 0,85$.

Скорость подачи древесины

$$v_{п} = \frac{u_3nz}{6 \cdot 10^4}, \quad (3.71)$$

где u_3 - подача на один зуб пилы $u_3 = 0,4 \dots 0,5$;

n - обороты вращения, мин⁻¹;

z - количество зубьев пилы.

Диаметр круглой пилы выбирается в зависимости от наибольшего диаметра бревна и рассчитывается из выражения

$$D = \left(3 + \sqrt{10 + 2,5d}\right)^2 \cdot 10^{-3}, \quad (3.72)$$

где d - наибольший диаметр бревна, мм.

Для быстрой остановки электропилы при отключении электропривода от сети применяется один из хорошо известных в теории электропривода способов - торможение в режиме противовключения с использованием реле скорости. Реле предназначено для обесточивания катушки противовключения реверсивного магнитного пускателя в момент, когда обороты вращения дисковой пилы достигают минимального значения.

Пример. Рассчитать мощность электрического двигателя для привода пилорамы со следующими техническими условиями: диаметр средней площади бревна 300 мм, число пил 5, толщина пилы 2 мм, скорость подачи 3 мм/с, порода дерева береза, коэффициент резания 140 Н/мм², обороты вращения кривошипно-

шатунного механизма 230 мин^{-1} , ход пильной рамки 400 мм, КПД передачи 0,8, КПД станка 0,85.

Алгоритм решения

Общая высота пропила рассчитывается из уравнения

$$\sum h = 0,75 d_{\text{ср}} N = 0,75 \cdot 300 \cdot 5 = 1125 \text{ мм.}$$

Усилие резания станка для распиловки бревен

$$F_p = \frac{k_s \sum h \Delta}{2H} = \frac{140 \cdot 2 \cdot 1125 \cdot 3}{2 \cdot 400} = 1181,3 \text{ Н.}$$

Средняя скорость резания бревна на доски

$$v = \frac{2Hn}{60} = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 230}{60} = 3,1 \text{ м/с.}$$

Мощность электродвигателя лесопильной рамы

$$P_{\text{эд}} = \frac{v F_p}{10^3 \eta_c \eta_{\text{п}}} = \frac{3,1 \cdot 1181,3}{0,8 \cdot 0,85} = 5,4 \text{ кВт.}$$

Из таблицы справочной литературы выбирается трехфазный асинхронный двигатель серии АИР типа АИР112 М4 с паспортными данными: $P_{\text{ном}} = 5,5 \text{ кВт}$, $n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $\eta_{\text{ном}} = 0,85$, $\cos \varphi = 0,86$, $S = 4,5 \%$, $\lambda_{\text{max}} = 2,5$, $\lambda_{\text{min}} = 1,6$, $\lambda_l = 7$.

3.3.9 Электропривод крановых механизмов

В сельскохозяйственных мастерских, на складах и в производственных помещениях широкое применение находят тельферы – электрические тали, кран-балки, порталные и козловые краны. Крановое оборудование предназначено для подъема, перемещения и опускания разнообразных грузов при строительных, ремонтных и погрузочно-разгрузочных работах.

В сельском хозяйстве используют электрические канатные тали, произведенные в Болгарии серии: VAT, HVAT, CVAT, KVAT, ТЭ-025-511, TF1000, рассчитанные на грузоподъемность 0,5...5,0 тонн, высоту подъема грузов 3...18 м, скорость передвижения 20 м/мин и скорость подъема от 4 до 8 м/мин.

В состав комплекта электрооборудования электроталей входят электродвигатели подъема и передвижения, подвесной пульт управления,

пусковой шкаф, блок концевых выключателей, тормозная катушка и ограничитель грузоподъемности.

Для подъема груза используют асинхронные электродвигатели с повышенным скольжением, мощность которых рассчитывается по формуле,

$$P_1 = \frac{gv_1(m + m_0)}{10^3 \eta_{\text{пм}}}, \quad (3.73)$$

где v_1 - скорость подъема груза, м/с;

m - масса груза, кг;

m_0 - масса захватывающего приспособления, кг;

$\eta_{\text{пм}}$ - КПД подъемного механизма $\eta = 0,7$;

g - ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Мощность электрического двигателя, развиваемая при спуске груза,

$$P_2 = (2 - \eta^{-1}) \frac{gv_2(m + m_0)}{10^3}, \quad (3.74)$$

где v_2 - скорость опускания груза м/с.

Эквивалентные мощности, развиваемые электродвигателем во время подъема и спуска груза,

$$P_{\text{э1}} = \sqrt{\frac{P_{\text{п}}^2 t_{\text{п1}} + P_1^2 t_1}{0,75 t_{\text{п1}} + t_1}}; \quad P_{\text{э2}} = \sqrt{\frac{P_{\text{п}}^2 t_{\text{п2}} + P_2^2 t_2}{0,75 t_{\text{п2}} + t_2}}, \quad (3.75)$$

где $P_{\text{п}}$ - максимальная мощность при пуске электродвигателя, Вт;

$t_{\text{п1}}$ и $t_{\text{п2}}$ - продолжительность пуска электропривода при подъеме и опускании груза, с;

t_1 и t_2 - время, затрачиваемое на подъем и опускание груза, с.

Эквивалентная мощность за один цикл работы

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{P_{\text{э1}}^2 (t_{\text{п1}} + t_1) + P_{\text{э2}}^2 (t_{\text{п2}} + t_2) + P_{\text{х1}}^2 t_{\text{х1}} + P_{\text{х2}}^2 t_{\text{х2}}}{t_{\text{п1}} + t_{\text{п2}} + t_1 + t_2 + t_{\text{х1}} + t_{\text{х2}} + t_3 + t_4}}, \quad (3.76)$$

где $P_{\text{х1}}$ и $P_{\text{х2}}$ - мощности в режиме холостого хода во время подъема и спуска пустого крюка, Вт;

$t_{\text{х1}}$ и $t_{\text{х2}}$ - время, затрачиваемое на подъем и спуск пустого крюка, с;

t_3 - продолжительность перемещения электротали к месту назначения и обратно, с;

t_4 - продолжительность паузы между циклами работы, с.

Если пренебречь мощностью, которую кратковременно развивает электродвигатель во время запуска, то можно перейти к упрощенному уравнению для расчета эквивалентной мощности

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{t_1 + 2\alpha t_0 + t_2}}, \quad (3.77)$$

где α - коэффициент, учитывающий ухудшение теплоотдачи электрического двигателя во время паузы $\alpha = 0,5$.

Время, затрачиваемое на перемещения крюка в период подъема или спуска груза,

$$t_i = \frac{h}{v_i}, \quad (3.78)$$

где h - высота подъема или спуска, м;

v_i - скорость перемещения груза во время подъема или спуска, м/с.

Обороты, развиваемые электродвигателем в разных скоростных режимах работы,

$$n_i = 60 \frac{v_i \eta_{\text{пм}}}{\pi D}, \quad (3.79)$$

где D - диаметр барабана, на который наматывается трос.

Мощность электродвигателя перемещения тали несколько меньше мощности электродвигателя подъема и может составлять от нее 10...15 %. Питание тали выполняется с помощью гибких кабелей или жестких троллей.

Пример. Найти мощность развиваемую электродвигателем, входящим в состав привода крана, предназначенного для подъема и спуска груза. Масса груза 1,5 т, вес захватывающего приспособления 36 кг, скорость подъема груза 0,9 м/с, скорость спуска груза 0,2 м/с, КПД передачи лебедки 0,7, высота подъема 12 м, время между подъемом и спуском 87 с. Диаметр барабана, на который наматывается трос 0,5 м.

Алгоритм решения

Мощность, развиваемая электрическим двигателем во время подъема груза,

$$P_1 = \frac{g v_1 (m + m_0)}{10^3 \eta_{\text{пм}}} = \frac{9,81 \cdot 0,9 (1500 + 36)}{10^3 \cdot 0,7} = 19,4 \text{ кВт.}$$

Необходимая мощность электродвигателя при спуске груза

$$P_2 = (2 - \eta_{\text{пм}}^{-1}) \frac{g v_2 (m + m_0)}{10^3} = (2 - 0,7^{-1}) \frac{9,81 \cdot 0,2 (1500 + 36)}{1000} = 1,8 \text{ кВт.}$$

Время, затрачиваемое на подъем груза,

$$t_1 = \frac{h}{v_1} = \frac{12}{0,9} = 13,3 \text{ с.}$$

Расчетное времени, за которое происходит опускание груза,

$$t_2 = \frac{h}{v_2} = \frac{12}{0,2} = 60 \text{ с.}$$

Эквивалентная мощность электродвигателя

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{t_1 + 2\alpha t_0 + t_2}} = \sqrt{\frac{19,4^2 \cdot 13,3 + 1,8^2 \cdot 60}{13,3 + 2 \cdot 0,5 \cdot 87 + 60}} = 32,4 \text{ кВт.}$$

Обороты вращения электродвигателя при подъеме груза

$$n_1 = 60 \frac{v_1 \eta_{\text{пм}}}{\pi D} = 60 \frac{13,3 \cdot 0,7}{3,14 \cdot 0,5} = 355,8 \text{ мин}^{-1}.$$

Частота вращения ротора электродвигателя во время спуска груза

$$n_2 = 60 \frac{v_2 \eta_{\text{пм}}}{\pi D} = 60 \frac{0,2 \cdot 0,7}{3,14 \cdot 0,5} = 5,4 \text{ мин}^{-1}.$$

Из справочной литературы выбирается крановый трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором типа МТН511-6, имеющий следующие технические характеристики: $P_{\text{ном}} = 37 \text{ кВт}$, ПВ = 40%, масса 390 кг, обороты вращения $n = 955 \text{ мин}^{-1}$, номинальный ток двигателя при напряжении сети 380 В $I_{\text{ном}} = 80 \text{ А}$, ток ротора $I_r = 80 \text{ А}$, КПД $\eta_{\text{ном}} = 0,87$, коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,81$, отношение максимального момента к номинальному $\lambda_{\text{max}} = 3,0$, номинальный момент $M_{\text{ном}} = 370 \text{ Нм}$, максимальны момент $M_{\text{max}} = 1110 \text{ Нм}$.

Электромагнитный момент, соответствующий наибольшей мощности развиваемой электродвигателем,

$$M_{\text{наиб}} = \frac{9,55 P_1}{n_{\text{ном}}} = \frac{9,55 \cdot 19,4 \cdot 10^3}{955} = 194 \text{ Нм.}$$

Момент, развиваемый электродвигателем во время снижения напряжения сети на 20% от номинального значения ($\beta = 0,8$),

$$M_{\text{сн}} = \beta M_{\text{max}} = 0,8 \cdot 1110 = 888 \text{ Нм.}$$

Проверка электродвигателя на перегрузочную способность

$$M_{\text{наиб}} < \beta M_{\text{max}}; \quad 194 < 888.$$

Неравенство выполняется, следовательно, выбранный электродвигатель проходит по перегрузочной способности.

4 ЭЛЕКТРОНАГРЕВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

4.1 Электрический подогрев воды

Электрический нагрев в сельскохозяйственном производстве используют для подогрева воды, нагрева воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях, обогрева молодняка животных и птицы, подогрева почвы в теплицах и парниках, поддержания температурного режима в овощных, картофельных и фруктовых хранилищах, сушки зерна, сена, овощей и фруктов.

Для подогрева воды применяют электродные и элементные водонагреватели. Электродный нагрев - прямой, основан на протекании тока через нагреваемый материал и применяется для подогрева воды, молока, фруктовых и ягодных соков, сочных кормов и т.д. Элементный нагрев - косвенный, более безопасен, так как нагреваемое вещество помещается в пространство между изолированными тепловыми электронагревательными элементами, по которым протекает переменный электрический ток.

В сельскохозяйственном производстве широкое распространение получили электрические водонагреватели типов УАП, САОС, ЭПВ, УНС и ВЭТ.

На животноводческих фермах применяются емкостные-аккумуляционные водонагреватели марки ВЭТ. Нагреватель представляет собой металлический бак вместимостью от 200 до 1600 л, внутри которого установлены трубчатые электронагреватели. Электронагреватели предназначены для нагрева воды до заданной терморегулятором температуры от 8 до 90 °С. Водонагреватель имеет слой теплоизоляции из стеклянной или шлаковой ваты, благодаря которому после отключения нагревателя от электрической сети снижение температуры воды в течение часа не превышает 0,8...1,0 °С. Наличие емкости для нагрева и хранения воды позволяет включать водонагреватель в часы наименьшей загрузки электросетей. Кроме того не требуются дополнительные резервуары для накопления горячей воды на случай отключения электроэнергии.

Для непосредственного нагрева воды перед употреблением в сельском хозяйстве используют проточные водонагреватели, которые намного дешевле, компактнее и позволяют больше получать горячей воды за короткое время. Температура нагрева воды на выходе из рабочей зоны может достигать 90 °С. Существенным недостатком подобных нагревателей следует считать отсутствие автоматической возможности регулировать температуру нагрева воды. Кроме того при перерывах во время электроснабжения хозяйство лишается горячей воды.

Водонагреватели проточного тепла отличаются компактностью и быстродействием.

В животноводстве распространен электрический проточный водонагреватель серии ЭПВ-2А. Нагрев воды производится тремя трубчатыми нагревателями, установленными в цилиндрический теплоизолированный корпус. Общая мощность ТЭНов 12 кВт. При температуре нагрева воды 90°C производительность аппарата достигает 120 л/ч, что достаточно для удовлетворения потребности в горячей воде, например коровника на 100 голов.

Прямоточные водонагреватели обычно используют для полива растений в парниках и теплицах, в системе отопления, мойки машин и оборудования и т.д.

В таблице 4.1 представлены технические характеристики электроводонагревателей, используемых в сельскохозяйственном производстве.

Таблица 4.1 - Технические характеристики водонагревателей

Тип электро-нагревателя	Вместимость резервуара, л	Номинальная мощность, кВт	Максимальная температура нагрева воды, °C	Производительность, л/ч	Время нагрева воды до 80 °C, ч
ВЭТ-400	400	10,5	85-90	110	3,8
ВЭТ-800	800	16,5	85-90	165	4,7
ВЭТ-1600	1600	31,5	85-90	320	50
ЭВ-150-М	150	6	36±4	50	3,1
УАП 400	400	12	90	120	3,3
УАП 800	800	18	90	180	4,4
УАП 1600	1600	30	90	300	5,2

Выбор электронагревателей осуществляется по следующему условию

$$P_{\text{ном}} \geq P_p, \quad (4.1)$$

где $P_{\text{ном}}$, P_p - номинальная и расчетная мощности электронагревателя, кВт.

Расчетная мощность (кВт) емкостных водонагревателей находится по уравнению

$$P_p = \frac{k_3 mc(T_r - T_x)}{3600 \eta_B \eta_{\text{т.с}}}, \quad (4.2)$$

где k_3 - коэффициент запаса по мощности, $k_3 = 1,1 \dots 1,2$;
 m - масса нагреваемой воды, кг;

c - теплоемкость воды, $c = 4,19$ кДж/кг·°С;
 $T_{\text{г}}$ - температура горячей воды, °С;
 $T_{\text{х}}$ - температура холодной воды, $T = (7 \dots 10)$ °С;
 t - время работы водонагревателя, ч;
 $\eta_{\text{в}}$ - КПД водонагревателя, $\eta_{\text{в}} = 0,85 \dots 0,95$;
 $\eta_{\text{т.с}}$ - КПД тепловой сети, $\eta_{\text{т.с}} = 0,8 \dots 0,9$.

Для проточных электроводонагревателей расчетная мощность (кВт) определяется по формуле

$$P_p = \frac{k_3 Q c (T_{\text{г}} - T_{\text{х}})}{3600 t \eta_{\text{в}} \eta_{\text{т.с}}}, \quad (4.3)$$

где Q - производительность установки, $\text{дм}^3/\text{ч}$.

В сельскохозяйственном производстве наибольшее количество горячей воды потребляют животноводческие фермы и комплексы. В таблице 4.2 приведены нормы расхода горячей воды на свинофермах и фермах, где содержится крупный рогатый скот.

Таблица 4.2 - Нормы расхода горячей воды на животноводческих фермах

Вид животных	Суточная норма расхода горячей воды, л/гол	Вид животных	Суточная норма расхода горячей воды, л/гол
Коровы молочные	15	Свиньи на откорме	9
Быки и нетели	5	Ремонтный молодняк	9
Телята	2	Поросята- отъемыши	4
Молодняк	2		
Свиноматки	26		

В зависимости от вида технологического процесса вода на фермах подогревается на разные значения температур. Для приготовления кормов вода должна подогреваться от 40 до 65 °С. Нагрев воды до 55...65 °С необходим для технологических нужд, мойки посуды, молокопроводов, основного и вспомогательного оборудования. Гигиеническая обработка вымени коров перед доением выполняется водой нагретой до 37...39 °С. В зимние периоды для поения животных воду подогревают в электронагревателях и подают в поилки для крупного рогатого скота с температурой 5...7 °С. Для дойных коров холодная вода нагревается до 12...14 °С, а для свиней, находящихся на откорме, температуру питьевой воды повышают на 1...3 °С. Кур несушек поят теплой водой подогретой до 10...13 °С. На фермах воду для поения подогревают не только в

электрических нагревателях емкостного или проточного типов, но и в групповых автопоилках серий АГК-4А и АГС-24, АУС-24 и УАС-500.

Расчетная мощность (кВт) электронагревателя для поилок с подогревом воды

$$P_p = \frac{k_c k_q q c n (T_r - T_x)}{3600 \cdot 24 \eta_b \eta_{т.с}}, \quad (4.4)$$

где k_c - коэффициент суточной неравномерности водопотребления,

$$k_c = 1,2 \dots 1,3;$$

k_q - коэффициент часовой неравномерности водопотребления,

$$k_q = 1,6 \dots 1,3;$$

q - суточная норма потребления горячей воды на одну голову, $\text{дм}^3/\text{гол}$;

n - количество голов одного вида.

Животноводческие фермы являются крупными потребителями пара.

Пар используется в следующих технологических процессах: варка зерновых, запаривание корнеклубнеплодов, пастеризации молока, пропаривание молочных фляг и подогреве воды от 10 до 90 °С.

Производительность источников тепла для получения пара

$$Q = G(i - \lambda), \quad (4.5)$$

где G - суммарный расход пара, кг/ч ;

i - энтальпия пара при давлении 20 кПа, $i = 2690 \text{ кДж/кг}$;

λ - теплосодержание конденсата нагретого до 90 °С, $\lambda = 380 \text{ кДж/кг}$.

Мощность тепловых котлов в кВт рассчитывается по уравнению

$$P_p = \frac{kQ}{3600 \eta}, \quad (4.6)$$

где k - коэффициент, учитывающий расход тепла на собственные нужды электрокотельной, $k = 1,02 \dots 1,05$;

η - КПД тепловых сетей, $\eta = 0,9 \dots 0,94$.

Пример. Рассчитать мощность емкостного нагревателя для подогрева холодной воды в коровнике массой $m = 350 \text{ кг}$. Начальная температура воды $T_x = 10 \text{ °С}$, конечная температура подогретой воды $T_r = 90 \text{ °С}$. Время нагрева составляет 5 ч. КПД нагревателя $\eta_b = 0,85$, КПД тепловой сети $\eta_{т.с} = 0,8$.

Алгоритм расчета

Мощность емкостного водонагревателя определяется из формулы (4.2)

$$P_p = \frac{k_3 m c (T_r - T_x)}{3,6 t \eta_b \eta_{т.с}} = \frac{1,1 \cdot 350 \cdot 4,19 (90 - 10)}{3600 \cdot 5 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 10,5 \text{ кВт}.$$

Из таблицы 4.1 выбираем нагреватель ВЭТ-400 с номинальной мощностью $P_{\text{ном}} = 10,5 \text{ кВт}$ и производительностью $Q_v = 110 \text{ л/ч}$.

4.2 Электрокалориферные установки

Электрокалориферные установки применяют в сельскохозяйственном производстве для подогрева воздуха в вентиляционных системах помещений для содержания животных и птицы, нагрева воздуха в теплицах и парниках, сушки и вентилирования зерновой продукции, поддержания температурного режима в картофелехранилищах и хранилищах овощей и фруктов.

В агропромышленном комплексе для подогрева холодных воздушных масс, поступающих в животноводческие и птицеводческие помещения через систему вентиляции, используют электрические калориферы типа СФОЦ и ЭКУ, рисунок 4.1.



а



б

Рисунок 4.1- Электрокалориферные установки: а - электрокалорифер типа СФОЦ; б - установка для нагрева воздуха марки ЭКУ

Электрокалориферные установки рассчитаны на мощность от 5 до 100 кВт напряжением 380/220 В и предназначены для работы в сырых и агрессивных средах с температурой окружающего воздуха от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$, относительной влажностью 100%, содержанием сероводорода $0,08 \text{ г/м}^3$ и аммиака $0,09 \text{ г/м}^3$.

Электрокалориферные агрегаты серии СФОЦ предназначены для подогрева воздуха в системах отопления и вентиляции в помещениях промышленного, сельскохозяйственного, общественного и бытового назначения. Агрегаты применяются в районах с умеренным и холодным климатом и размещаются в закрытых помещениях с воздушной средой,

несодержащей взрывоопасных примесей и токопроводящей пыли.

Установка СФОЦ (рисунок 4.1 а) содержит электрокалорифер серии СФО, центробежный вентилятор, переходный гибкий патрубок и виброизоляторы. В состав комплекта входит щит управления и температурные датчики. Установка СФОЦ рассчитана на ступенчатое ручное и автоматическое переключение мощности на 100, 67 и 33 % от номинальной. Выбор требуемой мощности достигается за счет включения различного числа секций трубчатых электронагревателей.

Электрокалориферные агрегаты СФОЦ поставляются потребителю в собранном виде на раме. Система автоматического управления агрегатом предусматривает: регулирование температуры воздуха в отапливаемом помещении, отключение ее при отключении вентилятора и при повышении температуры на поверхности оребренных нагревательных элементов выше 180 °С.

Установка ЭКУ (рисунок 4.1 б) создает перепад температур воздуха от +35 °С до +65 °С и используется в сельскохозяйственных помещениях для приточной вентиляции и обогрева в режиме циркуляции и может применяться в помещениях с температурой от -20 °С до +40 °С.

В состав установки входит электрокалорифер марки ВНЭ, осевой вентилятор ВО-06-300 и элементы крепления. Электрокалорифер может устанавливаться на площадку или подвешиваться на кронштейны.

В теплый период года установку для подогрева воздуха ЭКУ рекомендуется использовать как вентилятор, предварительно отключив нагревательные элементы и снизив перепад давления входящего и выходящего воздуха за счет вывода из работы одной секции электрокалорифера.

Технические характеристики электрокалориферных установок типа СФОЦ и ЭКУ приведены в таблицах 4.2 и 4.3.

Электрический обогрев воздуха обладает рядом преимуществ перед другими видами нагрева, заключающихся в возможности регулирования температурных режимов в помещениях, в использовании одного вида энергии, в значительной экономии затрат труда.

Таблица 4.2 - Технические характеристики электрокалориферов типа СФОЦ

Модели калориферов	СФОЦ-16	СФОЦ-25	СФОЦ-40	СФОЦ-60	СФОЦ-100	СФОЦ-160	СФОЦ-250
Мощность калорифера, кВт	16	24	40	60	90	162	252
Напряжение, В	380	380	380	380	380	380	380
Производительность, м ³ /ч	1500	2000	3000	4000	5000	7000	11500
Мощность, вентилятора, кВт	0,55	1,1	1,1	2,2	2,2	5,5	7,5
Тип тэнов	Ореб. прямой	Ореб. прямой	Ореб. прямой	Ореб. прямой	Ореб. прямой	Ореб. прямой	Ореб. прямой
Масса, кг	80	100	140	160	200	260	380

Таблица 4.3 - Технические характеристики электрокалориферов марки ЭКУ

Модель	ЭКУ-12	ЭКУ-21	ЭКУ-25	ЭКУ-42	ЭКУ-64	ЭКУ-90
Мощность, кВт	12	21	26,25	42	64	90
Производительность по воздуху, м ³ /ч.	1000	1000	2500	3000	5000 3000	11000
Кол-во секций	2	3	2	2	3	3
Вентилятор	ВО-06-300-3,15	ВО-06-300-3,15	ВО-06-300-4,0	ВО-06-300-4,0	ВО-06-300-4,0	ВО-06-300-6,3
Мощность электродвигателя/кол-во оборотов, кВт/мин ⁻¹	0,18/1000	0,25/1500	0,25/1500	0,25/1500	0,75/3000 0,25/1500	1,1/1500
Тип напряжения/частота В/Гц	380/50	380/50	380/50	380/50	380/50	380/50
Масса, кг	40	45	53	55	67 62	105

4.3 Расчет и выбор электрокалорифера

Расчетная мощность электрокалорифера определяется из уравнения

$$P_k = \frac{P_T}{\eta_k}, \quad (4.7)$$

где P_T - теплоотдача калорифера, кВт;

η_k - КПД калорифера, при установке в обогреваемом помещении

$\eta_k = 1$, если устанавливается в специальном помещении, то $\eta_k = 0,9$.

Теплоотдача калорифера рассчитывается по формуле

$$P_T = P_o + P_B - P_{\Pi}, \quad (4.8)$$

где P_o - тепловые потери через ограждения, кВт;

P_B - теплота, уносимая с вентилируемым воздухом, кВт;

P_{Π} - тепловыделения в помещении, кВт.

Теплопотери через ограждения находятся из выражения

$$P_o = \sum kF(\theta_{\Pi} - \theta_H)10^{-3}, \quad (4.9)$$

где k - коэффициент теплопередачи через ограждения, Вт/(м²·°С);

F - площадь ограждения, м²;

θ_{Π} - температура внутри помещения, °С;

θ_H - температура наружного воздуха, °С.

Значения коэффициентов теплопередачи для различных материалов ограждения приведены в таблице 4.4.

Тепловыделения, уносимые с вентилируемым потоком воздуха,

$$P_B = c\gamma V(\theta_{\Pi} - \theta_H)k_B 10^{-3}, \quad (4.10)$$

где c - удельная теплоемкость воздуха, $c = 0,28$ Вт·ч/(кг·°С);

γ - плотность наружного воздуха, кг/м³;

V - объем помещения, м³;

k_B - часовая кратность воздухообмена.

Тепловыделения от животных в помещении определяются по уравнению

$$P_{\Pi} = \sum qN10^{-3}, \quad (4.11)$$

где q - количество теплоты, выделяемое одним животным или птицей данного вида, Вт;

N - количество животных или птицы одного вида.

Таблица 4.4 - Значения коэффициента теплопередачи для разных материалов

Тип ограждения	Толщина стены, мм	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·°С)
Стены из кирпича	395	1,54
	525	1,24
	655	1,04
Стены из дерева	160	1,02
	200	0,85
Стены из шлакобетона	205	1,85
	305	1,38
	405	1,1
Окна одинарные		5,65
Окна двойные		2,68
Перекрытия с термозасыпкой		1,17
Одинарные ворота		4,68
Двойные ворота		2,33

Пример. Рассчитать электрокалориферную установку для обогрева коровника на 200 голов в зимний календарный период. Размеры коровника: длина $l = 90$ м, ширина $b = 20$, высота $h = 3$ м. Здание коровника выложено из кирпича, толщина стен 395 мм, окна одинарные, ворота двойные. Калорифер устанавливается в помещении здания коровника. Температура воздуха в коровнике 20 °С. Температура наружного воздуха -7 °С. Электрокалофит трехфазный, рассчитанный на напряжение 380 В частотой питающего тока 50 Гц. Кратность воздухообмена $k_v = 4$. Теплота, выделяемая одним животным весом 400 кг, равна $q = 610$ Вт.

Алгоритм решения

Количество теплоты, выделяемое в помещении от животных,

$$P_n = \sum qN \cdot 10^{-3} = 610 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 122 \text{ кВт.}$$

Площадь перекрытия здания

$$F_{\text{пер}} = lb = 90 \cdot 20 = 1800 \text{ м}^2.$$

Площадь стен

$$F_{\text{ст}} = nlh + nbh = 2 \cdot 90 \cdot 3 + 2 \cdot 20 \cdot 3 = 660 \text{ м}^2,$$

где n - количество одинаковых по размерам и составу стен.

Площадь ворот и окон принимается 5% от площади стен, тогда

$$F = 0,05 \cdot 660 = 33 \text{ м}^2.$$

Потеря теплоты через ограждения находится как

$$P_o = \sum kF(\theta_{\text{п}} - \theta_{\text{н}})10^{-3} = (1,17 \cdot 1800 + 1,54 \cdot 660 + 5,65 \cdot 33 + 2,33 \cdot 33) \times \\ \times (20 - (-7)) = 91,4 \text{ кВт}.$$

Объем помещения

$$V = l b h = 90 \cdot 20 \cdot 3 = 5400 \text{ м}^3.$$

Теплота, уносимая с вентилируемым воздухом,

$$P_v = c \gamma V (\theta_{\text{п}} - \theta_{\text{н}}) k_v 10^{-3} = 0,28 \cdot 1,342 \cdot 5400 (20 + 7) 4 \cdot 10^{-3} \\ = 219,1 \text{ кВт}.$$

Расчетная мощность электрокалорифера с учетом тепла выделяемого животными

$$P_T = P_o + P_v - P_{\text{п}} = 91,4 + 219 - 122 = 188,5 \text{ кВт}.$$

Мощность электрокалорифера, необходимая для обогрева помещения коровника,

$$P_k = \frac{P_T}{\eta_k} = \frac{188,5}{1} = 188,8 \text{ кВт}.$$

Из таблицы 4.2 выбираем электрокалорифер марки СФОЦ-250.

4.4 Электрообогреваемые полы

В фермерских и сельскохозяйственных хозяйствах проблема обогрева помещений для животных занимает такое же место, как и обогрев жилых помещений. Холодный пол становится причиной медленного развития приплода, болезням взрослых особей, что в конечном итоге влияет на общую прибыль производства.

Изучение вопроса благоприятного температурного режима биологами и ветеринарами показало, что снижение температуры всего на 5-10 °С градусов ведет к снижению прироста суточной массы свиней до 5%, увеличению расхода корма на 25% и снижению репродуктивности животных до 30%.

Для создания комфортных условий для молодняка в животноводческих и птицеводческих помещениях применяют локальный

обогрев в местах расположения животных. В отдельные участки пола закладываются нагревательные элементы из провода, кабеля, стальной оцинкованной проволоки диаметром от 2 до 5 мм, металлической сетки или используют поверхностные обогреваемые плиты и коврики. В качестве нагревательных элементов широко применяются изолированные провода марки ПОСХВ, ПНСВ, ПОСХП, ПОСХВТ и ПНВСВ. Напряжение питания полов - сетевое 380/220 В или пониженное 24...36 В. Нагревательные провода ПОСХВ и ПОСХП допускают длительный нагрев от 50 до 70 °С и имеют коэффициент теплопроводности 0,17 и 0,3 Вт/(м· °С). Данные нагревательных проводов представлены в таблице 4.5.

Если обогреваемый пол сооружают в готовом животноводческом или птицеводческом помещении, бетонное покрытие с нагревательным устройством в виде проводов накладывают на существующее основание с применением гидро- и теплоизоляции при необходимости, рисунок 4.2.

Таблица 4.5 - Основные данные нагревательных проводов

Марка провода	Диаметр жилы, мм	Допустимая температура нагрева, °С	Линейное сопротивление жилы, Ом/м	Допустимая линейная мощность Вт/м
ПОСХВ	1,1	70	0,174	7
ПНСВ	1,2	80	0,150	35-40
ПОСХП	1,1	90	0,194	9
ПОСХВТ	1,4	105	0,120	11

При питании полов сетевым напряжением поверх нагревательного провода в бетон закладывают металлическую сетку - экран с размерами ячеек 50...70 мм, соединяемую с заземляющим контуром здания или специально устраиваемым заземлением. Всего должно быть два заземлителя, расположенных в противоположных углах помещения. Заземлители забивают в землю на глубину не менее 3 м, считая от нижних концов. От стен здания заземлители должны отстоять на расстоянии около 1 м. Электрообогреваемые полы без сетки-экрана получают питание от понижающих термоустойчивых трансформаторов, например, типа ТС-2,5 кВА, 380/36 В. Для распределения тока между нагревательными проводами его концы скрыто выводят на специальные бетонные панели с клемными коробками. Для равномерной нагрузки фаз число отрезков нагревательного провода принимают кратным трем. Отрезки провода присоединяют к питающему кабелю в клемных коробках.

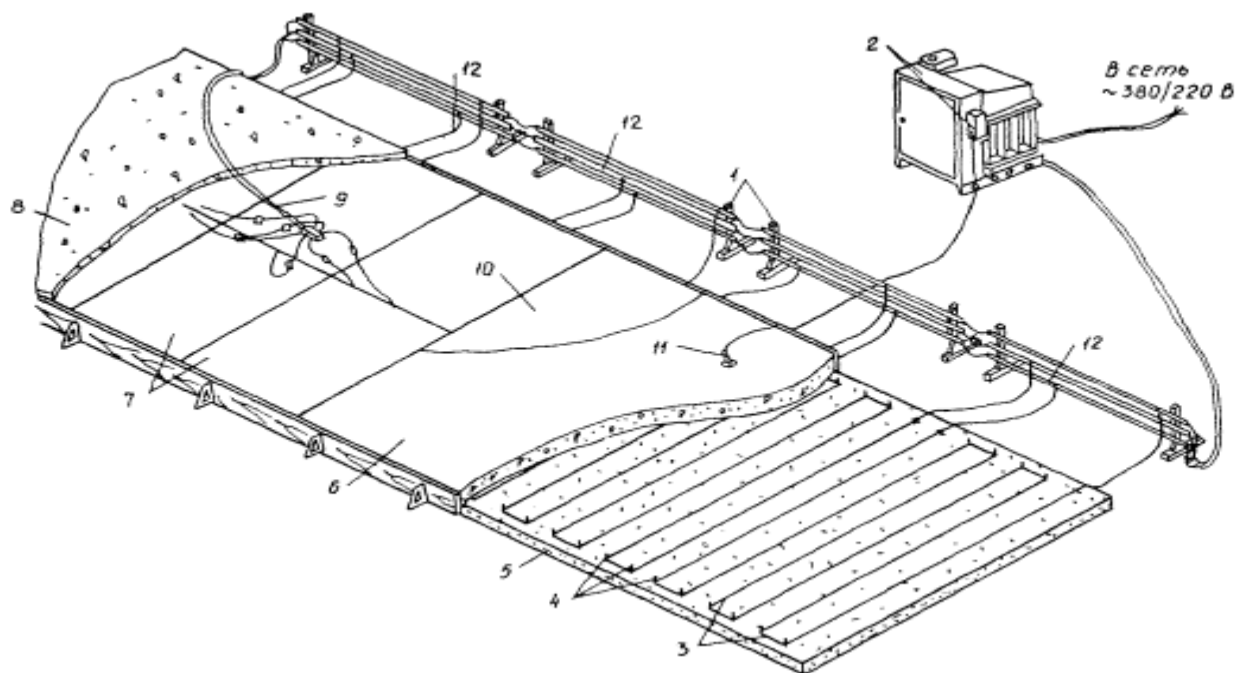


Рисунок 4.2 - Устройство монолитного покрытия с комбинированным электрообогревом: 1 - инвентарные трехфазные секции шинопроводов; 2 - трансформаторная подстанция типа КТП-63-0Б с блок-приставкой АРТ-2; 3 - нагревательный провод; 4 - штыри; 5 - песчаное (щебеночное) основание; 6 - обогреваемый бетон; 7 -греющие плоские элементы; 8 - утеплитель; 9 - коммутирующий кабель с клеммной (распределительной) коробкой; 10 - битуминированная бумага; 11 - температурный датчик; 12 - отводы

На рисунке 4.3 представлены конфигурации, придаваемые отрезкам нагревательного провода.

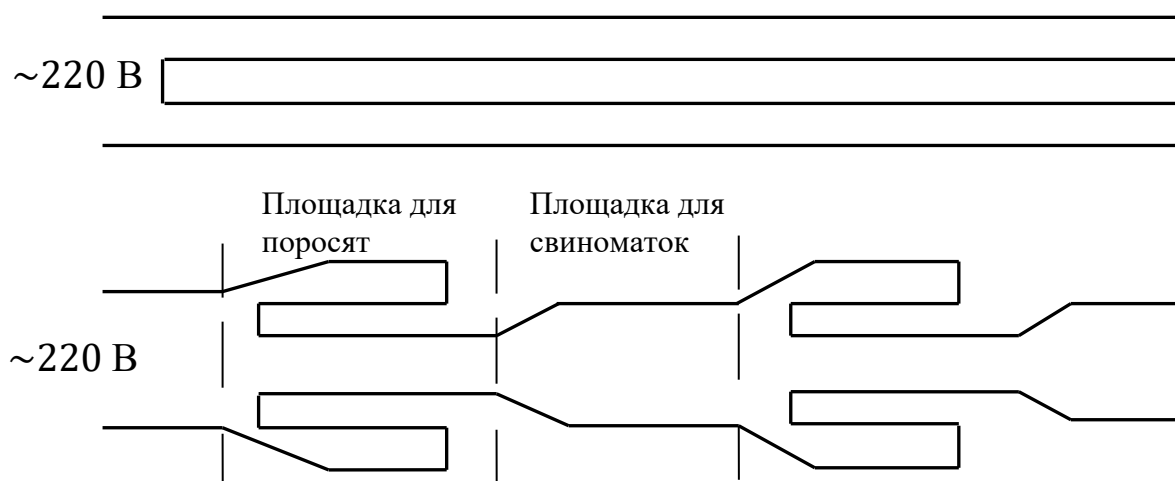


Рисунок 4.3 - Примеры конфигурации, придаваемые отрезкам нагревательного провода

Вся обогреваемая площадь разбивается на несколько секций. Каждая секция соответствует обогреваемой полосе, ограниченной средним поперечным проходом помещения. Управление секциями осуществляется от двухпозиционного регулятора температуры. Датчик регулятора выводится в массив пола и устанавливается между нитками нагревательного провода.

Таблица 4.6 - Исходные данные для расчета электрообогреваемых полов

Вид животных и птицы	Рекомендуемая температура пола, °C	Удельная мощность пола, Вт/м ²	Удельная обогреваемая площадь пола, м ² /гол	Рекомендуемый шаг укладки провода, м
Цыплята суточные	35...40		0,015...0,017	0,05...0,1
Цыплята в возрасте 30...40 суток	35	150...300	0,03...0,04	0,05...0,1
Цыплята в возрасте 60...70 суток	35		0,07...0,08	0,05...0,1
Поросята-сосуны	25...30	160...250	1...1,2	0,1...0,15
Поросята-отъемыши	20...25	150...200		0,1...0,15
Поросята на откорме при массе, кг: 15...30 30...45 45...60	25 20 15...20	90...150		0,1...0,15 0,1...0,15 0,1...0,15
Свиноматки	18...20	80...150		0,15...0,2
Коровы дойные	10...13	150...190		0,15...0,2

Практический расчет установки начинают с определения конфигурации и площади обогреваемого участка пола, затем задаются значениями температуры пола и воздуха в помещении и удельной поверхностной мощностью пола (таблица 4.6).

Для поросят одного помета обогреваемая площадь пола - 1...1,4 м², для свиноматки - 2...2,8 м². В птичниках обогрев выполняется вдоль центральной разделительной полосы пола шириной от 1/4 до 1/3 ширины помещения. Размер площадок устанавливается, исходя из плотности

посадок, например, 60 голов на 1 м² для суточных цыплят и 80 голов на 1 м² для 30 дневных цыплят.

Необходимая температура пола устанавливается зоотехническими нормами и зависит от вида и возраста животных: для поросят - от 22 до 28 °С, для свиноматок - 16...20 °С, для мясных цыплят - 35 °С.

4.5 Методика расчета электрообогреваемых полов

Расчетная мощность, затрачиваемая на обогрев пола,

$$P_{\pi} = p_0 S_{\pi}, \quad (4.12)$$

где p_0 – поверхностная плотность теплового потока, Вт/м²;

S_{π} – обогреваемая площадь, м².

Поверхностная плотность теплового потока обогреваемого пола

$$p_0 = \frac{\alpha(\theta_{\pi} - \theta_{\text{в}})}{\eta}, \quad (4.13)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от пола к воздуху, $\alpha = 10$ Вт/(м² · °С);

θ_{π} – температура поверхности пола, °С;

$\theta_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, °С;

η – КПД обогреваемой полосы, для поросят-сосунов, $\eta = 0,85$, для свиноматок, $\eta = 0,75$.

Площадь обогреваемого пола с учетом площади станка и их количества

$$S_{\pi} = ks, \quad (4.14)$$

где k – количество станков в помещении;

s – обогреваемая площадь одного станка, м².

Мощность, приходящаяся на одну фазу одной секции,

$$P_{\phi} = \frac{P_{\pi}}{3n} \quad (4.15)$$

где n – число секций.

Обогреваемая площадь, приходящаяся на одну фазу секции,

$$S_{\phi} = \frac{S_{\pi}}{3n}. \quad (4.16)$$

Длина отрезка проводника на одну фазу секции

$$l_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{\Delta P}, \quad (4.17)$$

где ΔP - линейная мощность проводников, Вт/м.

Шаг укладки проводников

$$h = \frac{S_{\phi}}{l_{\phi}}, \quad (4.18)$$

где n - количество секций.

Количество параллельных отрезков провода в одной фазе

$$z = \frac{P_{\phi}}{U_{\text{ном}}} \sqrt{\frac{r}{\Delta P}}, \quad (4.19)$$

где r - линейное сопротивление провода, Ом/м.

Пример. Определить мощность и количество параллельных ветвей в одной фазе электрообогреваемого пола в свиарнике-маточнике на $k = 200$ станков. Электронагревательные провода подключаются к сети 380/220 В, температура воздуха в помещении 17 °С. Температура пола 25 °С, размер обогреваемой площадки на один станок, $s = 1,2 \text{ м}^2$.

Алгоритм расчета

Плотность теплового потока с 1 м^2 обогреваемого пола

$$p_0 = \frac{\alpha(\theta_{\pi} - \theta_{\text{в}})}{\eta} = \frac{10(25 - 17)}{0,75} = 106,7 \text{ Вт/м}^2.$$

Общий размер обогреваемой площади в свиарнике

$$S_{\pi} = ks = 200 \cdot 1,2 = 240 \text{ м}^2.$$

Суммарная расчетная мощность обогреваемого пола

$$P_{\pi} = p_0 S_{\pi} = 106,7 \cdot 240 = 25608 \text{ Вт} \approx 25,61 \text{ кВт}.$$

Разбиваем обогреваемую площадь на 5 секций, тогда мощность, затрачиваемая на обогрев одной фазой секции

$$P_{\phi} = \frac{P_{\pi}}{3n} = \frac{25,61}{3 \cdot 5} = 1,71 \text{ кВт.}$$

Площадь обогреваемого пола, приходящаяся на одну фазу секцию,

$$S_{\phi} = \frac{S_{\pi}}{3n} = \frac{240}{3 \cdot 5} = 16 \text{ м}^2.$$

Из таблицы 4.5 выбираем провод ПОСХП с допустимой линейной мощностью $\Delta P = 9 \text{ Вт/м.}$

Длина провода на одну фазу секции определяется как

$$l_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{\Delta P} = \frac{1710}{9} = 190 \text{ м.}$$

Шаг укладки провода в пол находится из уравнения

$$h = \frac{S_{\phi}}{l_{\phi}} = \frac{16}{190} = 0,08 \text{ м.}$$

Число параллельных ветвей при соединении нагревательных проводов по схеме звезда

$$z = \frac{P_{\phi}}{U_{\text{ном}}} \sqrt{\frac{r}{\Delta P}} = \frac{1710}{220} \sqrt{\frac{0,194}{9}} = 1,14.$$

По результатам расчета принимается 1 параллельная ветвь на фазу секции.

5 ОСВЕЩЕНИЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

5.1 Системы освещения

В сельскохозяйственном производстве используются две системы освещения: первая - общая равномерная или локализованная и вторая - комбинированная, включающая в себя общее и местное освещение. Считается, что самыми наиболее экономичными являются системы общего локализованного и комбинированного освещения. При общем освещении светильники располагаются равномерно по всей площади освещаемого помещения. Если используется общая локализованная система, то на основной площади в зоне наиболее напряженной работы норма освещенности может превышать среднюю освещенность помещения на 25%. Локализация освещения достигается путем концентрации светильников в местах с повышенными нормами освещения. При комбинированной системе освещения нормируемая освещенность намного выше, чем тогда, когда используется общая система освещения, однако, высокая освещенность создаётся светильниками местного освещения. Применение светильников местного освещения без светильников общего освещения внутри помещения недопустимо, поскольку частая переадаптация глаз к различным яркостями в окружающем пространстве приводит к быстрой утомляемости зрения. Освещенность, создаваемая светильниками общего освещения, может быть ниже нормируемой на 10%, но не менее 150 лк, если в помещении эксплуатируются светильники с люминесцентными лампами и 75 лк, когда применяются светильники с лампами накаливания.

Рабочее освещение является основным видом освещения. Данный вид освещения применяется для создания нормальных условий работы персонала в помещении. Рабочее освещение выполняется на основе светильников общего назначения или общего и местного освещения. Из рабочего освещения в отдельную группу выделяют дежурное освещение, которое для всех видов помещений составляет 10% от общего количества светильников расположенных в помещении и 15% для родильных отделений животноводческих ферм.

Аварийное освещение предназначено для продолжения работы на объектах с непрерывным технологическим процессом, а также для эвакуации людей из помещений во время перебоев с электроснабжением. Аварийное освещение должно обеспечивать не менее 5% освещенности, установленной для нормальных условий.

Аварийное освещение обеспечивается светильниками общего освещения, подключаемые отдельной линией к резервному источнику электроснабжения. Аварийное

освещение применяют в производственных помещениях с не менее 50 работниками и в непроизводственных с длительным нахождением более 100 человек.

Общее освещение используется для создания надлежащих условий освещенности по всей площади помещения и на рабочих поверхностях. Освещение может быть равномерным или локализованным.

Общее равномерное освещение обеспечивает равномерное освещение в замкнутых пространствах в соответствии с установленными нормами для данного вида помещения и выполняется светильниками одной серии и мощности, располагаемыми на одинаковой высоте подвеса.

Общее локализованное освещение предназначено для создания перепадов уровней освещенности на различных участках освещаемой поверхности. Тип, расположение и мощность выбираются индивидуально для каждого светильника или группы осветительных приборов в зависимости от расположения и особенностей рабочих мест.

Местное освещение служит для обеспечения необходимого уровня освещенности в пределах рабочей поверхности. Светильники устанавливают в непосредственной близости от рабочих поверхностей. Местное освещение дополняется общим освещением всего помещения.

Комбинированное освещение создает нормируемую освещенность на рабочем месте в результате совместного действия общего и местного освещения, а на остальной площади требуемая освещенность достигается за счет применения общего равномерного освещения.

В качестве источников света применяют лампы накаливания, люминесцентные или светодиодные лампы.

5.2 Источники света

Лампы накаливания представляют собой источники света, работающие по принципу температурного излучения. В стеклянной колбе помещена спираль из нити, нагреваемая электрическим током. Нить накала может быть моноспиральной (односпиральной), биспиральной, а в некоторых лампах состоять из трех спиралей. Некоторые типы ламп наполняют нейтральным газом (азот, аргон, криптон). Лампы накаливания общего назначения мощностью до 40 Вт выпускают вакуумными (тип НВ), большей мощности изготавливают газополными моноспиральными (тип НГ) и биспиральными (тип НБ). В вакуумной лампе мощностью 40 Вт в видимое излучение превращается всего лишь 7 % потребляемой мощности, на образование инфракрасного излучения - 70 %; треть потребляемой мощности переходит в тепловые потери. В настоящее время в сельском хозяйстве в основном применяются лампы накаливания,

рассчитанные на напряжение 220 и 235 В. Лампы типа В220-235 и Б220-235 (таблица 5.1) рассчитаны на повышенное напряжение, срок их службы в 2 раза больше (2500 ч), чем у ламп типов В220, Б220. Лампы накаливания общего назначения снабжаются цоколями Е-27.

Таблица 5.1 - Характеристики ламп накаливания

Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	Продолжи- тельность горения, ч
В220-15-1	15	220	105	1000
В220-25-1	25	220	220	1000
Б220-40-1	40	220	400	1000
Б220-60-1	60	220	715	1000
Б220-230-100-1	97	220	1250	1300
Б220-230-150	150	220	2090	1900
Б220-235-200-1	200	220	2920	2000
В220-235-15	15	220 - 235	85	2500
Б220-235-25	25	220 - 235	190	2500
Б220-235-40	40	220 - 235	300	2500
Б220-235-60	60	220 - 235	550	2500
Б220-235-150	150	220 - 235	1840	2500

Люминесцентные лампы широко используются в сельскохозяйственном производстве. Принцип их действия основывается на электрическом разряде. В стеклянной трубке между двумя электродами, расположенными на ее концах, происходит электрический разряд в парах ртути. Ультрафиолетовое излучение, возникающее при этом, вызывает свечение специального состава -люминофора, которым покрыта внутренняя поверхность трубы. Стеклянная трубка становится источником света, который равномерно распространяется по ее длине. В зависимости от состава люминофора получается различная цветность излучения: нашли применение люминесцентные лампы дневного (типы ЛД и ЛДЦ), белого (тип ЛБ), тепло-белого (тип ЛТБ) и холодно-белого (тип ЛХБ) света. Люминесцентные лампы экономичнее ламп накаливания,

срок их службы гораздо больше и достигает 12 000 ч. Недостатками этих ламп являются: необходимость в приборах для зажигания и ограничения тока, большие габариты, чувствительность к температуре окружающей среды.

Основные типы люминесцентных ламп низкого давления приведены в таблице 5.2. Для работы в условиях повышенной запыленности выпускаются рефлекторные лампы типа ЛБР-40.

Таблица 5.2 - Люминесцентные лампы низкого давления на 220 В

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Размеры трубки, мм	
			диаметр	длина
ЛБ-30	30	2100	27	909
ЛТБ-30	30	1720	27	909
ЛХБ-30	30	1720	27	909
ЛДЦ-40	40	2100	40	1213
ЛД-40	40	2340	40	1213
ЛБ-40	40	3000	40	1213
ЛТБ-40	40	2680	40	1213
ЛХБ-40	40	2000	40	1213
ЛДЦ-80	80	3660	39,5	1496
ЛД-80	80	4070	39 5	1496
ЛБ-80	80	5220	39,5	1496
ЛТБ-80	80	4440	39,5	1496

В настоящее время наиболее перспективными люминесцентными лампами для использования в народном хозяйстве считаются лампы нового поколения серии ЛБЦТ (Т8 и Т5) с диаметром трубки 26 и 16 мм, укомплектованные электронными пускорегулирующими аппаратами.

Лампа Т8 имеет диаметр 26 мм и обладает следующими техническими характеристиками: средняя светотдача - 65 лм/Вт; цветовая температура – 2800...6000 К; индекс цветопередачи - $R_a = 55...80$; оптимальная температура - 25 °С; средний срок службы 9000...13000 ч. К концу срока службы световой поток падает на 20...30 %.

Лампа Т5 диаметром 16 мм и трехполосным люминофором является более экономичной, так как на ее изготовление затрачивается на 38 % меньше стекла и люминофора. Лампа обладает: высокой светотдачей 95 лм/Вт; цветовой температурой 25 °С; индексом цветопередачи $R_a = 80...90$; сроком службы 16000...20000 ч; типом цоколя G5.

В отличие от Т8 у лампы Т5 после 10000 часов работы световой поток падает не более чем на 5 %. Лампа Т5 более экологична поскольку в ней содержится в 5 раз меньше ртути по сравнению с Т8. Лампа обладает высоким качеством цветопередачи. Максимальный световой поток лампы достигается при температуре окружающей среды +35 °С. Лампа работает только с электронной пускорегулирующей аппаратурой.

Технические характеристики лампы Т5 серий НЕ и НО приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Характеристики люминесцентной лампы Т5

Мощность, Вт	Длина L, мм	Световой поток, лм	Светоотдача, лм/Вт	Яркость, кд/см ²
14	548	1350	96	1,7
21	848	2100	100	1,7
28	1148	2900	104	1,7
35	1448	3650	104	1,7
54	1149	4750	87	2,9
80	1149	6650	83	3,2

В таблице 5.4 представлены сравнительные характеристики ламп Т8 и Т5.

Таблица 5.4 - Сравнительные характеристики люминесцентных ламп Т8 и Т5

Характеристики	Т8		Т5	
Мощность, Вт	18	36	14	35
Световой поток, лм	1150	2850	1350	3650
Световая отдача, лм/Вт	64	79	96	104
Индекс цветопередачи	60 - 69		80 - 90	
Рабочая температура, °С	25		35	
Средний срок службы, ч	9000 - 13000		16000 - 20000	
Снижение светового потока через, 40% среднего срока службы лампы, %	20		5	

Компактные люминесцентные лампы являются современными энергоэкономичными источниками света, используются в светильниках местного, общего, и декоративного освещения жилых и административных помещений. Лампы включают в сеть переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой (ПРА). Лампы типа КЛ имеют встроенный в цоколь стартер и эксплуатируются с электромагнитными

ПРА. Компактные люминесцентные лампы типа 10ГУ предназначены для работы как с электромагнитными, так и с электронными ПРА. Лампы типа КЛЭ имеют встроенный в цокольную часть лампы электронный ПРА, стандартный цоколь E14 или E27 и предназначены для прямой замены ламп накаливания. Эти лампы получают широкое распространение, что позволяет значительно улучшить экономические показатели световых приборов и снизить их материалоемкость, таблицы 5.5 и 5.6.

Таблица 5.5 - Лампы ствольчатого типа (3U, 4U)

Тип лампы	Цоколь	Цветовая температура, К	Потребляемая мощность, Вт	Длина с цоколем, мм	Диаметр, мм	Световой поток, лм
3UM-7	E14	3000	7	105	40	420
3U-15	E27	2700	15	135	41	850
3U-20	E27	2700	20	160	49	1200
3U-26	E27	2700	26	175	52	1560
3U-30	E27	4200, 6500	30	180	58	1800
4U-35	E27	4200, 6500	35	190	60	2100
4U-40	E27	4200, 6500	40	190	60	2400

Таблица 5.6 - Лампы спирального типа

Тип лампы	Цоколь	Цветовая температура, К	Потребляемая мощность, Вт	Длина с цоколем, мм	Диаметр, мм	Световой поток, лм
SM-9	E14	3000	9	100	40	540
SPM-9	E14/E27	3000	9	95	35	540
SPM-12	E14/E27	3000	12	97	42	720
SPM-15	E14/E27	3000	15	104	42	900
SM-20	E27	3000	20	110	60	1280
SPM-20	E27	3000	20	114	52	1280
SPM-26	E27	3000	26	124	52	1560
SPM-35	E27	3000	35	165	65	2100

Светодиоды превосходят все источники искусственного света, включая энергосберегающие люминесцентные лампы. Их основное преимущество - эффективная работа и экономный энергетический расход. Благодаря этому вопрос освещения коровников, свинарников, птичников решается оптимальным образом.

Светодиоды обладают пониженным тепловыделением. Они почти не нагреваются, поэтому не меняют микроклимат в помещении. В составе конструкции отсутствуют вредные вещества. Светодиоды излучают свет в результате преобразования энергии электронов. Основу источника света составляет полупроводниковый кристалл. В нем нет ртути или газов, в конструкции отсутствуют хрупкие компоненты. Светильники со

светодиодными лампами мгновенно включаются в работу и сразу начинают излучать световой поток максимальной эффективности, независимо от числа включений или выключений.

Промышленность выпускает светодиодные лампы марок РИЭТ, ЛЕДАРЕ, Gauss, Estares, Elektrostandart, Navigator, Ecola, Osram, Pulsar, Foton, Feron.

Основной недостаток светодиодных ламп - высокая стоимость. Цена 1 люмена свечения светодиода в 10 раз выше ламп накаливания, поэтому на текущий момент светодиодные лампы по этому показателю не могут конкурировать с лампами накаливания.

Наиболее значимый технический параметр для оценки эффективности ламп - мощность излучения света. В таблице 5.7 приведены сравнительные характеристики ламп накаливания, компактных люминесцентных ламп и светодиодных источников.

Таблица 5.7 - Сравнение светового потока различных источников света

Лампа накаливания, мощность, Вт	Люминесцентная лампа, мощность, Вт	Светодиодная лампа, мощность, Вт	Световой поток, лм
20	5-7	2-3	250
40	10-13	4-5	400
60	15-16	8-10	700
75	18-20	10-12	900
100	25-30	12-15	1200
150	40-50	18-20	1800
200	60-80	25-30	2500

Для освещения помещений сельскохозяйственных построек, в которых содержатся животные и птица, административных зданий, цехов, где выполняются работы, требующие распознавания оттенков цвета, в соответствии с нормами освещения (таблица А.9) рекомендуется применять газоразрядные люминесцентные лампы низкого давления или светодиодные источники света, а для подсобных помещений – лампы накаливания.

Освещение прилегающих к зданиям территорий, производственных площадок, проездов и периметра ограждения необходимо применять газоразрядные лампы высокого и низкого давления.

Входа и выходы зданий, основные производственные помещения, открытые территории в соответствии с технико-экономическим обоснованием могут освещаться светильниками с лампами накаливания.

Освещение в помещениях, где содержатся различные особи птиц необходимо проектировать с возможностью автоматического регулирования светового режима.

Выбор типа светильника основывается на учете условий окружающей среды, требований к характеру светового распределения, условий монтажа, высоты подвеса, надежности и экономичности.

5.3 Светильники, рекомендуемые для применения в сельском хозяйстве

Светильники предназначены для ограничения слепящего действия источников света, а также для направления светового потока на освещаемые поверхности, защиты ламп от воздействия окружающей среды и механических повреждений.

По назначению светильники выпускают для освещения закрытых помещений общественно-административных зданий, производственных цехов, открытых пространств, судовых кают, железнодорожных вагонов, сельскохозяйственных зданий и тд.

Светильники классифицируются в зависимости от степени защиты от воздействия окружающих факторов и среды. Например, для защиты от пыли выпускаются светильники трех классов: пыленезащищенные, пылезащищенные и пыленепроницаемые. Для сохранности источников света от влажности изготавливаются светильники восьми классов: водонезащищенные, каплезащищенные, брызгозащищенные, герметичные и др. С целью обеспечения пожарной безопасности выпускаются светильники с повышенной надежностью против взрыва, взрывобезопасные и особовзрывобезопасные.

Выбор светильника с учетом правильного светораспределения обуславливает экономичное использование светового потока источника света и приводит к снижению установленной мощности осветительной установки. При равных условиях предпочтительнее выбирать осветительные установки с более высоким КПД, несмотря на их повышенную стоимость.

В производственных помещениях с низкими коэффициентами отражения стен, потолков целесообразно применение светильников прямого света класса П, которые применяются для освещения производственных помещений и строительных площадок. Светильники обеспечивают светораспределение соответствующее концентрированной КСС (К) и предназначены для помещений с высокими потолками (более 6-8 м). Для зданий с меньшей высотой потолков используются светильники со световым распределением типа Д (косинусная КСС), реже

Г (глубокая КСС). С увеличением высоты потолка применяемый светильник должен иметь большую степень концентрации светового потока (К, Г) и, наоборот, в низких помещениях рекомендуется использовать светильники с более широким светораспределением (Д, Г).

При высоких отражающих свойствах стен и потолков административных и лабораторных помещений (светлые потолки и стены) целесообразно применение светильников преимущественно прямого света класса Н.

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве используются светильники ЛПО, ЛПБ, ЛПП, ЛСП, ПВЛМ и ПВЛМ-П с люминесцентными лампами серии ЛБ (Т) мощностью 18, 36, и 58 Вт (рисунок 5.1) и степенью защиты IP20, IP65, IP66 и с лампами накаливания типа НСП, НПО, НПП, ПСХ, СС, НПБ (рисунок 5.2).

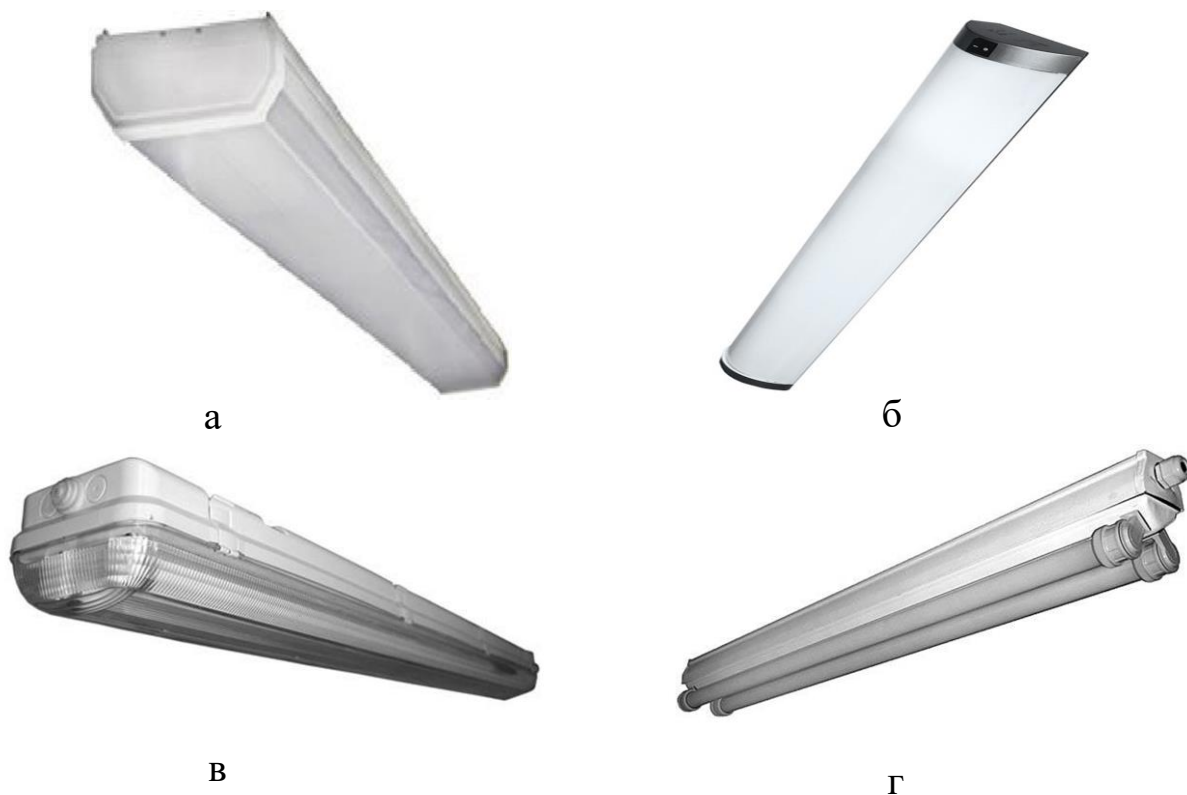


Рисунок 5.1 - Люминесцентные светильники: а - серии ЛПО; б - типа ЛПБ; в - марки ЛСП; г - серии ПВЛМ-П

Пылевлагозащищенные светильники ЛПО со степенью защиты IP65 предназначены для освещения общественных и производственных помещений: торговых залов супермаркетов, помещений вокзалов, автостанций, складских помещений, производственных помещений электротехнической, легкой, пищевой, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности и сельского хозяйства.



Рисунок 5.2 - Светильники с лампами накаливания: а - серии НСП; б - марки НПО; в - ряда НПП; г - вида ПСХ; д - типа СС; е – марки НПБ

Светильники рассчитаны на работу с прямыми трубчатыми люминесцентными лампами типа ЛБ (Т8). Потребляемая мощность светильника не более 85 Вт. Корпус светильника оснащается двумя лампами мощностью 36 Вт каждая, напряжение питания 220 ± 22 В переменного тока, частотой 50 Гц, КПД более 70 %, световой поток 3000 лм.

Область применения ЛПП 22 «STANDARD»: промышленные закрытые и открытые площадки, производственные корпуса электротехнической, пищевой, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности и сельского хозяйства, автостоянки, паркинги, спортзалы, бассейны, склады, общественные помещения с большой посещаемостью - торговые залы, вокзалы, автостанции, подземные переходы, а так же светильники этой серии могут использоваться в качестве архитектурной подсветки. Высокая износостойкость материалов, из которых изготовлен светильник, к аммиаку дает возможность широкого применения в животноводстве и птицеводстве.

Светильники рассчитаны на работу с прямыми трубчатыми люминесцентными лампами марки ЛБ (Т5). Напряжение питания 220В переменного тока частотой 50 Гц. Выпускают светильники с одной и двумя люминесцентными лампами. Степень защиты светильника IP65.

Пылевлагозащищенные светильники типа ЛПП используются для освещения промышленных закрытых и открытых территорий, производственных помещений электротехнической, легкой, пищевой, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности и сельского хозяйства, автомобильных паркингов, спортивных залов, помещения бассейнов, складских площадей, общественных помещений с интенсивным людским потоком - торговых залов супермаркетов, помещений вокзалов, автостанций и подземных переходов. Работают в сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Основание корпуса, крепление изготовлены из высокопрочного, влагостойкого ABS - пластика. Монтаж производится на потолок или на вертикальную поверхность. Светильник ЛСП 2×36 имеет КПД не менее 65 %, номинальное напряжение - 220 В, электромагнитный ПРА, источник света - две линейные люминесцентные лампы типа Т8 мощностью - 2×36 (40) Вт, цоколь - G5, степень защиты – IP65, габариты - 1270 × 170 × 93 мм, вес - 3,2 кг.

Светильники серии НСП-21У 100 с одной лампой накаливания мощностью до 100 Вт предназначены для освещения подсобных помещений, складов, производственных цехов, строительных площадок и сельскохозяйственных объектов. Корпус светильника изготовлен из стеклонаполненного полипропилена и поликарбоната. Светильник используется в сети 220 В переменного тока частотой 50 Гц. Степень защиты IP54.

5.4 Светотехнический расчет методом коэффициента использования светового потока

Расчет освещения ведется, руководствуясь основным нормативным документом «Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений».

Светотехнический расчет осветительной установки сводится к определению необходимой мощности источников света для обеспечения нормируемой освещенности на рабочей поверхности.

Перед началом светотехнического расчета следует выбрать следующие параметры: нормированную освещенность, вид и систему освещения, источник света, тип светильников и их размещение.

В процессе расчета определяется световой поток светильников, на основании которого из справочной литературы выбирается мощность лампы. Считается допустимым, если световой поток принимаемой стандартной лампы отличается от расчетного не более чем на -10 или +20%.

В практике светотехнических расчетов наиболее часто применяются три метода: метод коэффициента использования светового потока, точечный метод и метод удельной мощности. Наиболее широкое распространение получил метод коэффициента использования светового потока, который основывается на расчете средней освещенности в помещении.

В животноводческих помещениях предусматривается два вида освещения: технологическое и дежурное. Технологическое - обеспечивает необходимый световой климат для животных и надлежащих условий для нормальной работы обслуживающего персонала; дежурное - служит для наблюдения за животными в ночное время.

Различают основные и вспомогательные помещения в сельскохозяйственных зданиях. К основным помещениям относятся стойловые корпуса, доильные площадки, проходы для животных, помещения первичной обработки молока, кормоприготовительные места и другие помещения, входящие в состав технологической линии производства продукции. К вспомогательным помещениям относятся кабинеты для персонала, коридоры, комнаты отдыха, туалеты, душевые, слесарные, щитовые и другие не входящие в основную технологическую цепочку.

Для освещения помещений сельскохозяйственных зданий, где нормируемая освещенность больше 50 лк рекомендуется использовать люминесцентные лампы низкого давления и светодиодные источники света. При более низких уровнях освещенности предпочтительнее лампы накаливания и компактные люминесцентные лампы.

Отраженный от поверхностей (стены, потолок, пол) световой поток повышает уровень освещенности на рабочем месте. Величина отраженного потока зависит от коэффициента отражения ρ .

Побеленный потолок в сухих помещениях дает коэффициент отражения - 0,7; стены в сухих помещениях и потолок в сырых пространствах с бетонным или деревянным перекрытием - 0,5; бетонный или деревянный потолок в сырых помещениях, а также бетонные или деревянные стены светлых тонов - 0,3; темные стены, пол, потолок в помещениях с большим выделением пыли, красный кирпич - 0,1.

Коэффициент отражения стен рекомендуется выбирать на порядок ниже коэффициента отражения потолка при одинаковой окраске.

Коэффициент отражения темного пола принимается $\rho_p = 0,1$, а светлого $\rho_p = 0,3$.

Для обеспечения продуктивности коров в рабочем помещении для содержания поголовья, необходимо обеспечить нормативную освещенность.

Делая выбор между лампами накаливания и люминесцентными источниками света, необходимо руководствоваться следующими соображениями:

- лампы накаливания более надежны в работе, и их светотехнические характеристики более стабильны;

- капитальные затраты на осуществление осветительных установок с люминесцентными и светодиодными лампами в несколько раз превосходят соответствующие затраты при использовании ламп накаливания;

- нормативные допущения регламентируют более высокие нормы освещенности при использовании газоразрядных ламп, чем при использовании ламп накаливания.

Светотехнический расчет начинается с определения высоты помещения, свеса светильника и рабочей поверхности, рисунок 5.3.

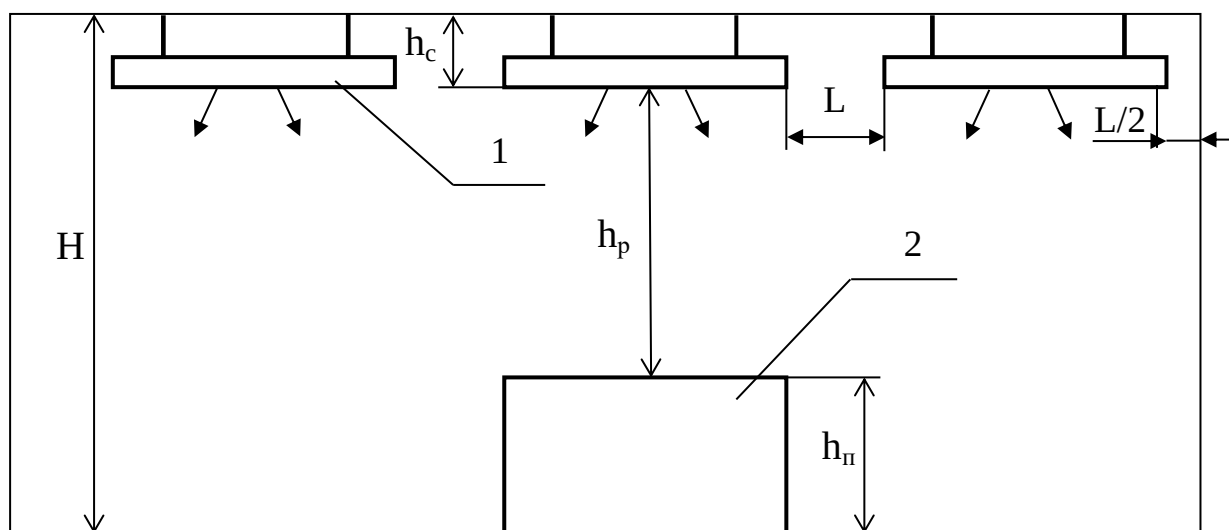


Рисунок 5.3 - Определение расчетной высоты подвеса светильника:
1- светильник, 2 - рабочая поверхность

Расчетная высота подвеса светильника над поверхностью освещения определяется

$$h_p = H - h_c - h_{\text{п}}, \quad (5.1)$$

где H - высота помещения, м;

h_c - расстояние светильника от перекрытия, м;

$h_{\text{п}}$ - высота рабочей поверхности над полом, м.

Высота подвеса светильников над полом в помещениях, относящихся по степени опасности поражения электрическим током к помещениям с повышенной опасностью и особо опасным, должна быть более 2,5 м.

По справочным таблицам для выбранного помещения находятся: коэффициент запаса k_z , коэффициент неравномерности освещенности Z , нормированная освещенность $E_{\text{норм}}$, коэффициенты отражения стен $\rho_{\text{с}}$, потолка $\rho_{\text{п}}$, пола $\rho_{\text{р}}$ и коэффициент использования светового потока $I_{\text{оу}}$.

Для светильников, расположенных на расстоянии близком к наивыгоднейшему, коэффициент Z принимается равным: $Z = 1,1 \dots 1,3$.

Приближенные значения коэффициента запаса для помещений сельскохозяйственных построек представлены в таблице 5.8.

Оптимальное расстояние между светильниками

$$L = \lambda h_{\text{р}}, \quad (5.2)$$

где λ - относительное расстояние между светильниками выбирается с учетом кривой силы света лампы.

Таблица 5.8 - Значения коэффициента запаса

Характеристика помещения	Коэффициент запаса k_z	
	Для люминесцентных ламп	Для ламп накаливания
Территории предприятий	1,5	1,3
Животноводческие помещения, мастерские	1,8	1,5
Конторы, клубы, общественные помещения	1,5	1,3
Кормокухни, кузницы, мельницы, склады фуража, и зерна, зерноочистительные пункты	2,0	1,7

Относительное расстояние между светильниками выбирается по условию

$$\lambda_{\text{с}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{з}}, \quad (5.3)$$

где λ_c - светотехнически наивыгоднейшее расстояние между светильниками в относительных единицах;

λ_3 - энергетически наивыгоднейшее расстояние между светильниками в относительных единицах, таблица 5.9.

Таблица 5.9 - Значения наивыгоднейших расстояний между светильниками

Кривая силы света	λ_c	λ_3
Концентрированная	0,4 – 0,7	0,6 – 0,9
Глубокая	0,8 – 1,2	1,0 – 1,4
Косинусная	1,2 – 1,6	1,6 – 2,1
Равномерная	1,8 – 2,6	2,6 – 3,4
Полуширокая	1,4 – 2,0	1,8 – 2,3

По известному расстоянию и размерам помещения определяют число рядов светильников и общее их количество.

Число светильников в ряду

$$n_a = \frac{a - 2l}{L_a} + 1, \quad (5.4)$$

где L_a - расстояние между светильниками в ряду, м.

Количество рядов светильников в помещении

$$n_b = \frac{b - 2l}{L_b} + 1, \quad (5.5)$$

где L_b - расстояние между рядами светильников, м.

Обычно для упрощения расчетов принимается $L_a = L_b = L$.

Общее число светильников в помещении

$$N = n_a n_b, \quad (5.6)$$

где a - длина помещения, м;

b - ширина помещения, м;

l - расстояние от крайних светильников до стен, м;

n_a, n_b - соответственно количество рядов светильников и число светильников в ряду;

N - общая численность светильников в помещении.

При равномерном размещении светильников по углам прямоугольной поверхности и соотношении $\frac{L_a}{L_b} \leq 1,5$, расстояние от стен до крайних светильников принимается в пределах $l = (0,3 \dots 0,5)L$.

Индекс помещения

$$i = \frac{S}{h_p(a + b)}, \quad (5.7)$$

где S - площадь освещаемой поверхности, m^2 .

Коэффициент использования светового потока

$$I_{oy} = \frac{k_z E_{норм} ZS}{\Phi_p N}, \quad (5.8)$$

где Φ_p - расчетный световой поток лампы, лм.

Расчетный световой поток для нормированной освещенности основного помещения определяется по формуле

$$\Phi_p = \frac{k_z E_{норм} ZS}{NI_{oy}}. \quad (5.9)$$

Коэффициент использования светового потока I_{oy} для светильника ЛСП с люминесцентными лампами и светильников с лампами накаливания выбирается в зависимости от индекса помещения из таблиц 5.10 и 5.11. В этих же таблицах приводятся значения коэффициентов отражения потолка, стен и пола помещения.

Таблица 5.10 - Коэффициенты использования светового потока для светильника с люминесцентными лампами

Тип светильника	Светильник с люминесцентными лампами ЛСП 2 × 36					
$\rho_n, \%$	80	70	70	50	50	50
$\rho_c, \%$	50	50	30	50	30	30
$\rho_p, \%$	30	30	30	30	30	10
i	Коэффициенты использования, о.е.					
0,6	0,23	0,22	0,17	0,20	0,16	0,16
0,8	0,29	0,28	0,22	0,25	0,21	0,20
1,0	0,34	0,32	0,27	0,29	0,25	0,24
1,25	0,38	0,36	0,31	0,33	0,29	0,27
1,5	0,42	0,40	0,35	0,36	0,32	0,30
2,0	0,48	0,45	0,40	0,41	0,37	0,35
2,5	0,50	0,50	0,44	0,44	0,40	0,38
3,0	0,55	0,52	0,47	0,46	0,43	0,40
4,0	0,59	0,56	0,52	0,50	0,46	0,43
5,0	0,61	0,58	0,55	0,52	0,50	0,45

Из справочной литературы выбирается тип лампы и ее технические характеристики: номинальная мощность, номинальное напряжение, величина светового потока.

Таблица 5.11 - Коэффициент использования светового потока для светильников с лампами накаливания

Тип светильника	Светильники с лампой накаливания НСР01, НСП, ППР				
$\rho_{п}, \%$	70	70	50	50	0
$\rho_{с}, \%$	50	50	30	10	0
$\rho_{р}, \%$	30	10	10	10	0
i	Коэффициенты использования, о.е.				
0,6	0,24	0,23	0,15	0,11	0,8
0,8	0,33	0,31	0,23	0,18	0,14
1,0	0,37	0,35	0,26	0,20	0,16
1,25	0,43	0,40	0,30	0,24	0,19
1,5	0,46	0,42	0,32	0,25	0,20
2,0	0,52	0,47	0,37	0,29	0,23
2,5	0,56	0,50	0,40	0,32	0,25
3,0	0,60	0,53	0,43	0,35	0,27
4,0	0,64	0,57	0,47	0,38	0,30
5,0	0,67	0,59	0,49	0,40	0,32

После выбора технических характеристик источника света выполняется расчет фактической освещенности. Стандартный световой поток лампы должен находиться в диапазоне не менее 0,9 и не более 1,2 расчетного значения. Выбранный световой поток лампы подставляется в расчетную формулу (5.10) для уточнения фактической освещенности в помещении.

Фактическая освещенность определяется по уравнению

$$E_{\phi} = \frac{n_{л} \Phi_{ном} NI_{оу}}{k_{з} ZS}, \quad (5.10)$$

$n_{л}$ - количество ламп в светильнике.

Мощность осветительной системы помещения рассчитывается по уравнению

$$P = n_{л} NP_{л}, \quad (5.11)$$

где $P_{\text{л}}$ - мощность, потребляемая одной лампой, Вт.

Метод удельной мощности в основном используется для приближенного расчета осветительных установок с лампами накаливания, в помещениях к которым не предъявляются особые требования, например вспомогательные, складские, кладовые помещения и коридоры.

Таблицы удельной мощности составлены для люминесцентных ламп и ламп накаливания с учетом типа светильника, нормируемой освещенности, коэффициента запаса и коэффициентов отражения поверхностей помещений.

Расчет по методу удельной мощности проводят в следующем порядке.

Из справочной таблицы 5.12 для выбранного типа светильника определяется значение удельной мощности $p_{\text{уд}}$ (Вт/м²) источника света. Выбор производится на основании расчетной высоты подвеса, установленной площади освещаемой поверхности помещения и принятой нормируемой освещенности.

Таблица 5.12 - Значения удельной мощности для освещения помещений светильниками типа НСП02, НСП03, НБО07, НПО20, НБО16

Высота подвеса светильника h_p , м	Освещаемая площадь S , м ²	Удельная мощность $p_{\text{уд}}$ (Вт/м ²) при освещенности, лк						
		5	10	20	30	50	75	100
1,5 - 2	10-15	3,4	6,7	13,3	20	33,2	50	66,5
	15-25	2,9	5,8	11,6	17,4	29	43,5	58
	25-50	2,4	4,8	9,6	14,4	24	36	48
	50-150	2	4	7,9	11,8	19,8	29,6	39,5
	150-300	1,6	3,1	6,2	9,3	15,5	23,3	31
	>300	1,4	2,7	5,4	8,1	13,5	20,2	27
2 - 3	10-15	5	10	20	30	50	75	100
	15-25	3,8	7,5	15	22,5	37,5	56,3	75
	25-50	2,8	5,7	11,4	17,1	28,5	42,7	57
	50-150	2,3	4,5	9	13,5	22,5	33,8	45
	150-300	1,9	3,8	7,5	11,3	18,8	28,1	37,5
	>300	1,5	3	6	9	15	22,5	30
$\rho_{\text{п}} = 50\%$, $\rho_{\text{с}} = 30\%$, $\rho_{\text{р}} = 10\%$, $k_3 = 1,3$, $Z = 1,15$								

Расчетное значение мощности лампы находится по формуле

$$P_{\text{л}} = \frac{p_{\text{уд}} S}{N}. \quad (5.12)$$

На основании расчетной мощности лампы из справочной литературы выбирается лампа с близкой по значению к расчетной стандартной мощностью.

Если стандартная мощность значительно больше расчетной, то количество светильников пересчитывается по уравнению

$$N = \frac{P_{уд} S}{P_{л}}. \quad (5.13)$$

Исходя из полученного количества ламп в помещении, корректируется их расположение над освещаемой поверхностью.

Результаты светотехнического расчета сводятся в светотехническую ведомость.

Пример. Определить установленную мощность в животноводческом помещении для содержания коров и ремонтного молодняка размером 70×20 м и высотой 5 м, выбрать марки люминесцентных светильников и ламп, рассчитать их количество, если нормированная освещенность над уровнем кормушек высотой $h_{п} = 0,3$ м равна $E_{норм} = 75$ лк. Высота свеса светильника 0,5 м. Относительное расстояние между светильниками для косинусной кривой силы света $\lambda = 1,4$. Расстояние от крайних рядов светильников до стены 3 м.

Алгоритм решения

Для освещения помещения по своим характеристикам подходят светильники серии ЛСП, рассчитанные на номинальное напряжение 220 В, частоту тока 50 Гц, имеющие степень защиты IP65. В комплект поставки светильников входят ЭПРА и трубчатая люминесцентная лампа Т8. Светильники этой серии полностью пыле- и влагонепроницаемые, а также устойчивы к воздействию аммиака.

Расчетная высота подвеса светильника

$$h_p = H - h_c - h_{п} = 5 - 0,5 - 0,3 = 4,2 \text{ м.}$$

Оптимальное расстояние между светильниками

$$L = \lambda h_p = 1,4 \cdot 4,2 = 5,88 \text{ м.}$$

Принимается расстояние между светильниками $L = 6$ м.

Расстояние от стен до крайних светильников определяется

$$l = (0,3 \dots 0,5)L = 0,5 \cdot 4,2 = 2,1 \text{ м.}$$

Расчетное расстояние от стен до крайних светильников округляется до 2 м.

Число светильников в ряду, если $L_a = L_b = L$

$$n_a = \frac{a - 2l}{L} + 1 = \frac{70 - 2 \cdot 2}{6} + 2 = 13.$$

Количество рядов светильников в помещении

$$n_b = \frac{b - 2l}{L} + 1 = \frac{20 - 2 \cdot 2}{6} + 2 \approx 3.$$

Общее число светильников в помещении

$$N = n_a n_b = 13 \cdot 3 = 39.$$

Индекс животноводческого помещения с учетом расстояний от стен до крайних светильников

$$i = \frac{S}{h_p(a + b)} = \frac{66 \cdot 14}{4,2(70 + 20)} = 2,4.$$

Из таблицы по расчетному индексу помещения округленному до $i = 2,5$ и коэффициентам отражения от потолка, стен и пола: 70, 30, 30 выбирается коэффициент использования светового потока $И_{oy} = 0,44$.

Расчетный световой поток для нормированной освещенности основного помещения определяется по формуле

$$\Phi_p = \frac{k_3 E_{\text{норм}} ZS}{NI_{oy}} = \frac{1,8 \cdot 75 \cdot 1,1 \cdot 924}{39 \cdot 0,44} \approx 7996 \text{ лм.}$$

По таблице из справочной литературы выбирается светильник ЛСП 44 IP65 с двумя люминесцентными лампами Т8 (Osram L 58W/765). Мощность одной лампы $P_{\text{л}} = 58 \text{ Вт}$, номинальный световой поток $\Phi_{\text{л}} = 4000 \text{ лм}$, длина 1500 мм.

Фактическая освещенность с учетом двух ламп в светильнике определяется по уравнению

$$E_{\phi} = \frac{n_{\text{л}} \Phi_{\text{ном}} NI_{oy}}{k_3 ZS} = \frac{2 \cdot 4000 \cdot 39 \cdot 0,44}{1,8 \cdot 1,1 \cdot 924} = 75 \text{ лк.}$$

Мощность осветительной системы помещения рассчитывается по уравнению

$$P = n_{\text{л}} N P_{\text{л}} = 2 \cdot 39 \cdot 58 = 4524 \text{ Вт.}$$

Из светильников рабочего освещения, которое является основным и служит для создания нормированной освещенности, выделяется 10% для дежурного освещения - 4 светильника.

Светотехнический расчет, выполняемый при проектировании внутреннего освещения помещений, является комплексной задачей. Решение, которой основывается на выборе нормированной освещенности, марки светильников и места расположения, а также расчете количества рядов, числа светильников в ряду и расстояний между ними.

Пример. Рассчитать мощность ламп и выбрать марку светильника для электрощитовой жилого здания. Высота помещения 2 м, занимаемая площадь 12 м². Для освещения помещения рекомендуется четыре светильника с лампой накаливания типа НСП02. Нормированная освещенность в электрощитовой $E_{\text{норм}} = 75$ лк.

Из справочной таблицы 5.12 с учетом нормированной освещенности выбирается удельная мощность $\rho_{\text{уд}} = 50$ Вт/м².

Алгоритм решения

Расчетное значение мощности лампы находится по формуле

$$P_{\text{л}} = \frac{\rho_{\text{уд}} S}{N} = \frac{50 \cdot 12}{4} = 150 \text{ Вт.}$$

Для освещения электрощитовой принимается 4 светильника НСПО2-200-002 «Желудь А» со степенью защиты IP52, оснащенные лампами накаливания ЛОН Б220-230-150-7 имеющие: тип цоколя Е27, мощность 150 Вт, световой поток 2160 лм, срок службы 1000 ч.

6. УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ И ИНФРАКРАСНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

6.1 Ультрафиолетовое облучение в сельскохозяйственном производстве

Ультрафиолетовое облучение (УФ) играет важную роль в биологических процесса сельскохозяйственных животных и птицы. Оно предназначено для устранения дефицита естественной – солнечной ультрафиолетовой радиации в осенне-зимний период при стойловом содержании животных, а также для обеззараживания воды, воздуха, технологической тары, семян различных культур, облучения кормов с целью обогащения их витамином Д и растений в тепличном овощеводстве, рисунок 6.1.



а



б

Рисунок 6.1 - Использование УФ-облучательных установок: а - облучение растений в теплице; б - облучение поросят

Установлено, что УФ повышает удои коров на 7...10 %, привесы молодняка животных и птицы на 7...13 %, яйценоскость птицы на 10...15 %, увеличивает урожайность огурцов на 20...40 % , томатов на 15...20 %, салата и зеленого лука на 50...70 %.

Если животные и птица находятся в помещениях в беспривязном и бесклеточном содержании, то УФ - облучение осуществляется через стационарные облучательные установки. При содержании в станках, стойлах и клетках используются подвижные облучательные системы.

Для ультрафиолетового облучения животных и птицы применяют ртутно-кВАрцевые дуговые лампы высокого давления серии ДРТ мощностью 200, 400 и 1000 Вт, эритемные лампы трубчатого типа ЛЭР и

лампы ЛКН-11, ОЭ-15, ОЭ-30. В таблице 6.1 приведены технические характеристики источников ультрафиолетового излучения.

Таблица 6.1 - Технические характеристики источников УФ - облучения

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток, лм	Эритемный поток, мэр	Бактерицидный поток, мб	Срок службы, ч
ЛЭ-15	15	127	40	330	55	3000
ЛЭО-15	15	127	650	110	-	5000
ЛЭ-30-1	30	220	110	750	125	5000
ЛЭР-40	40	220	120	1600	-	1500
ДРТ-400	400	220	8000	4750	10500	2500
ДРТ-1000	1000	220	32000	16500	39500	1200
ДРВЭД220-250	250	220	3250	600	-	1500
ДБ-30-1	30	220	140	35	6000	3000
ДБ-60-1	60	220	180	41	8000	2000

Промышленность выпускает ультрафиолетовые установки 301-30М, ОЭ-1, ОЭ-2, ОРК-2, ОРКШ, УО-4, УОК-1, а также комбинированные облучатели для освещения и облучения ОЭСПО-2, комбинированные установки инфракрасного и УФ - облучения ИКУФ.

Искусственное облучение растений в теплицах играет важную роль в повышении урожайности. Под действием оптического излучения в тепличных растениях протекает реакция фотосинтеза, в результате которой энергия ультрафиолетовых лучей переходит в биоэнергию органических соединений растений с выделением кислорода.

Для УФ - облучения растений разработаны и серийно выпускаются установки: ОТ-400М, ЖСП30, ЖСП55, КЭТЗ, РСП и ОГС. Облучательные установки укомплектовываются лампами, обеспечивающие наиболее высокую фотосинтезную эффективность излучения, к которым можно отнести люминесцентные трубчатые лампы низкого давления типа ЛФ-40-1 и ЛФ-40-2, люминесцентные лампы высокого давления типа ДРЛФ-400-1, ДРФ-1000-04, ДРФ-2000 и лампы смешанного излучения типа ДРВ-750. В комплект оборудования могут входить и металлогалогенные лампы типа ДРИ.

Расчет облучательных установок начинается с определения суточной дозы облучения, таблица 6.2.

Из таблицы 6.1 выбирается тип источника облучения и рассчитывается количество облучательных установок

$$N = \frac{S}{(\lambda h_p)^2}, \quad (6.1)$$

где S - площадь облучаемой поверхности, м^2 ;

λ - относительное расстояние между облучателями для ламп ДРТ и ЛЭ равно 1,4;

h_p - расчетная высота подвеса облучателя, м.

Таблица 6.2 - Суточная доза облучения животных и птицы

Вид, возраст животных и птицы	Суточная доза облучения, D_3 мэр·ч/м ²
Телята: до 6 мес.	120 – 140
старше 6 мес.	160 - 180
Телки и нетели	180 - 210
Коровы и быки	270 - 290
Поросята-сосуны	20 - 25
Поросята - отъемыши	60 – 80
Поросята на откорме и свиноматки	80 - 90
Цыплята: при содержании на полу	15 – 20
при содержании в клетках с решетчатыми передними стенками	20 – 25
при содержании в клетках со штампованными передними стенками	40 - 50
Куры-несушки: при содержании на полу	20 – 25
при содержании в клетках	40 - 50

Средняя облученность объекта находится из выражения

$$E_{cp} = \frac{k_{\phi} \eta_3 \Phi_3 N}{k_3 S}, \quad (6.2)$$

где k_{ϕ} - коэффициент формы животных или птицы, принимается от 0,5 до 0,64;

η_3 - коэффициент использования эффективного потока;

Φ_3 - эритемный поток излучения лампы, мэр;

k_3 - коэффициент запаса, равный 1,5 - 2,0.

Коэффициент использования эффективного потока определяется из таблицы 6.3 с учетом индекса помещения, который рассчитывается по уравнению (5.7).

Продолжительность работы УФ-облучательной установки

$$t = \frac{D_3}{E_{cp} k_a}, \quad (6.3)$$

где D_9 - суточная доза облучения, $\text{мэр} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$;

k_a - коэффициент, учитывающий влияние арматуры на перераспределение ультрафиолетового потока $k_a = 1,2 \dots 1,4$.

Таблица 6.3 - Значения коэффициента использования излучения

Индекс помещения, i	Коэффициент η_i для источников излучения			Индекс помещения, i	Коэффициент η_i для источников излучения		
	ДРВЭД	ДРТ	ЛЭ, ЛЭР, ДБ		ДРВЭД	ДРТ	ЛЭ, ЛЭР, ДБ
0,5	0,24	0,16	0,2	1,75	0,48	0,46	0,49
0,6	0,29	0,21	0,21	2,0	0,5	0,49	0,52
0,7	0,33	0,29	0,29	2,25	0,51	0,51	0,54
0,8	0,35	0,33	0,31	2,5	0,52	0,53	0,56
0,9	0,38	0,36	0,34	3,0	0,54	0,56	0,58
1,0	0,4	0,37	0,37	3,5	0,56	0,59	0,6
1,1	0,41	0,39	0,39	4,0	0,57	0,6	0,62
1,25	0,43	0,41	0,42	5,0	0,58	0,62	0,64
1,5	0,46	0,44	0,46				

Пример. Определить параметры стационарной УФ - облучательной установки ОЭ-2 с лампой ЛЭ-30-1 для эритемного облучения телят до 6 месяцев. Размеры помещения $38 \times 12 \times 3$ м, высота подвеса над облучательной поверхностью 2 м.

Алгоритм решения

Количество облучателей в помещении рассчитывается по уравнению

$$N = \frac{S}{(\lambda h_p)^2} = \frac{38 \cdot 12}{(1,4 \cdot 2)^2} = 58.$$

Расстояние между рядами и число рядов облучателей в помещении определяется по формуле

$$L = \lambda h_p = 1,4 \cdot 2 = 2,8 \text{ м.}$$

$$n = \frac{b}{L} = \frac{12}{2,8} = 4,3 \text{ м.}$$

Для облучения помещения с телятами принимается 60 облучателей с расположением их в 4 ряда по 15 светильников в каждом ряду.

Индекс помещения для телятника находится из выражения

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{38 \cdot 12}{2(38+12)} = 4,56 \approx 5.$$

По таблице 6.3 для лампы типа ЛЭ определяется коэффициент использования светового потока для округленного индекса помещения $i = 5$, $\eta_3 = 0,64$. Из таблицы 6.1 выбирается эритемный поток лампы ЛЭ-30-1, равный $\Phi_3 = 750$ мэр.

Средняя облученность поверхности животных находится как

$$E_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{ф}} \eta_3 \Phi_3 N}{k_3 S} = \frac{0,5 \cdot 0,64 \cdot 750 \cdot 60}{1,7 \cdot 456} = 18,57 \text{ мэр/м}^2.$$

Из таблицы 6.2 выбирается суточная облученность $D_3 = 130$ мэр·ч/м².

Время облучения телят рассчитывается, исходя из формулы

$$t = \frac{D_3}{E_{\text{ср}} k_a} = \frac{130}{18,57 \cdot 1,4} = 5 \text{ ч.}$$

6.2 Инфракрасное излучение в сельском хозяйстве

Инфракрасное излучение (ИК) в сельскохозяйственном производстве применяется для лечения и обогрева животных. В процессе выращивания молодняка птицы используются электробрудеры укомплектованные инфракрасными зеркальными лампами (ИКЗК) с окрашенной колбой. Температура внутри обогреваемой зоны регулируется высотой подвеса, количеством подключаемых источников ИК-излучения и с помощью тиристорного регулятора напряжения питания.

Лампы ИКЗК и ЗС находят широкое распространение для обогрева телят, ягнят и поросят при станочном их содержании. Инфракрасное излучение с длиной волны в диапазоне от 769 до 10⁵ нм хорошо проникает в подкожный слой животных на глубину до 2,5 мм, преобразовывая лучистую энергию в тепловую.

В сельскохозяйственном производстве с помощью потоков инфракрасного излучения сушатся и дезинсецируются: зерно, фрукты, овощи, чай, хмель, табак, пастеризуется молоко, осушаются лакокрасочные покрытия и др.

Очень часто в технологических процессах по выращиванию животных и птицы применяются комбинированные установки серии ИКУФ, предназначенные для одновременного инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка. В состав облучателя входят две инфракрасные лампы ИКЗК-220-250, одна ультрафиолетовая ЛЭ-15, а также аппаратура управления, защиты и блок программного управления. Установки ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч» предназначены для местного обогрева поросят-сосунов в возрасте от 10 до 60 дней, цыплят, индюшат, утят, гусят до 20...30 дневного возраста. В комплект установок входят 20, 40, 60 или 80 облучателей.

Средневолновое ультрафиолетовое излучение вызывает у животных способность быстрее поглощать витамин D, необходимый для роста и развития биологической массы, и препятствует развитию рахита.

В настоящее время в сельском хозяйстве для обогрева животных и птицы применяют установки ИК - излучения серий: ССПО1-250, ОРИ, ОВИ-1, ЭО-1-30М и комбинированные ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч» укомплектованные инфракрасными лампами ИКЗК и источниками ультрафиолетового излучения ЛЭ и ЛЭР. В облучателях угол установки ламп типа ИКЗК можно изменять на 45, 70 и 90 °С.

Расчет инфракрасных излучателей начинается с определения дозы облучения животного или птицы по формуле

$$E_{ик} = (E_0 - \tau\theta) \left(1 - \frac{D}{L}\right), \quad (6.4)$$

где E_0 - оптимальная облученность для молодняка животных и птицы при нулевой температуре в помещении Вт/м²;

τ - градиент температуры $s = 25$ Вт/м²·град;

θ - температура внутри помещения, °С;

D - возраст животного, дн;

L - количество дней полной адаптации животных к температуре $L = 100$ дн.

Высота подвеса облучателя с одной лампой над спинами животных рассчитывается из уравнения

$$h = \sqrt{\frac{\eta_{л} I P_{л}}{10^3 E_{ик} Z}}, \quad (6.5)$$

где $\eta_{л}$ - КПД лампы, $\eta_{л} = 0,7 \dots 0,85$;

I - сила света инфракрасной лампы, кд;

$P_{л}$ - мощность одной лампы, Вт;

Z - коэффициент неравномерности облученности животных и птицы $Z = 1,4 \dots 1,6$ для КСС косинусного и глубокого светораспределения.

Если значение силы света инфракрасной лампы ИКЗК выбирается по графикам кривых КСС, то формула для расчета высоты подвеса может быть упрощена

$$h = \sqrt{\frac{I_{\alpha}}{E_{ик} Z}}, \quad (6.6)$$

где I_α - сила света по КСС, Вт/ср.

Определение остальных параметров, например, вычисление количества светильников и расстояния между ними осуществляется по одному из выбранных светотехнических методов расчета или по приведенным формулам.

Число излучателей определяется по выражению

$$n = \frac{k_3 n s_0 E_{ик}}{\eta_3 k_{эф} P_{ном}}, \quad (6.7)$$

где k_3 - коэффициент запаса $k_3 = 1,1 \dots 1,25$;

n - количество животных или птицы;

s_0 - облучаемая поверхность тела одного животного или птицы, m^2 ;

η_3 - энергетический КПД излучателей для светлых $\eta_3 = 0,7$, темных $\eta_3 = 0,35 \dots 0,4$;

$k_{эф}$ - коэффициент эффективного использования излучателя, зависящий от высоты подвеса, $k_{эф} = 0,7 \dots 0,85$;

$P_{ном}$ - номинальная мощность одного ИК-излучателя, Вт.

Расстояние между облучательными установками рассчитывается по уравнению

$$l = k_p \sqrt{\frac{k_{эф} P_{ном}}{E_{ик}}}, \quad (6.8)$$

где k_p - коэффициент, зависящий от расположения облучательных устройств в помещении, если установки расположены в ряд, то $k_p = 1$, а если в шахматном порядке, то $k_p = 0,93$.

В таблице 6.4 представлены значения оптимальной облученности для новорожденных животных.

Таблица 6.4 - Значение облученности для молодняка при нулевой температуре окружающей среды

Начальная облученность	Молодняк животных					
	Цыплята	Поросята	Телята	Ягнята	Индюшата	Утята и гусята
$E_0, \text{Вт/м}^2$	825	700	500	380	900	710

Пример. Найти высоту подвеса облучателей в установке ИКУФ-1 над спинами поросят в возрасте 30 дней при минимальной температуре в телятнике +10 °С. Каждый светильник оснащен двумя лампами типа ИКЗК-220-250 и одной лампой марки ЛЭ-15. Поверхность облучения одного животного $s_0 = 0,15 \text{ м}^2$. Количество животных $n = 50$. Суммарная номинальная мощность ламп одного облучателя $P_{\text{ном}} = 515 \text{ Вт}$. Облучатели расположены в ряд.

Алгоритм решения

Облученность, необходимая для компенсации расхода биоэнергии животных,

$$E_{\text{ИК}} = (E_0 - \tau\theta) \left(1 - \frac{D}{L}\right) = (700 - 25 \cdot 10) \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 315 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Высота подвеса облучателя над спинами поросят с учетом $I_\alpha = 155 \frac{\text{Вт}}{\text{ср}}$

$$h = \sqrt{\frac{I_\alpha}{E_{\text{ИК}} Z}} = \sqrt{\frac{155}{315 \cdot 1,4}} = 0,59 \text{ м} \approx 0,6 \text{ м}.$$

Количество ИК-излучателей в помещении с молодняком

$$n = \frac{k_3 n s_0 E_{\text{ИК}}}{\eta_3 k_{\text{эф}} P_{\text{ном}}} = \frac{1,2 \cdot 50 \cdot 0,15 \cdot 315}{0,4 \cdot 0,7 \cdot 515} = 19,7 \approx 20.$$

Расстояние между облучателями находится из формулы

$$l = k_p \sqrt{\frac{k_{\text{эф}} P_{\text{ном}}}{E_{\text{ИК}}}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{0,7 \cdot 515}{315}} = 1,07 \text{ м} \approx 1 \text{ м}.$$

Для обогрева поросят в помещении выбирается стандартная установка ИКУФ-1 с 20 облучателями в комплекте. Расстояние между отдельными источниками излучения 1 м, высота подвеса над спинами животных 0,6 м.

7 ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

7.1 Расчет внутренних электрических сетей

Внутренние электрические проводки согласно ПУЭ в производственных и административных зданиях должны выполняться с учетом следующих условий:

- электрическое оборудование, принадлежащее организациям, занимающимся различной хозяйственной деятельностью и находящиеся в одном здании, может быть подключено через ответвление проводов и кабелей к общей питающей линии или от отдельных электрических линий низкого напряжения, идущих от вводного распределительного устройства;

- в жилых зданиях светильники лестничных клеток, вестибюлей, холлов, поэтажных коридоров и других внутридомовых помещений вне кВАртир должны питаться по самостоятельным линиям или от отдельных групповых щитков, подключаемых к ВРУ;

- питание электроустановок нежилого и производственного фонда следует выполнять отдельными линиями;

- прокладка внутренних сетей в зданиях и промышленных корпусах должна осуществляться кабелями и проводами с медными жилами;

- питание отдельных электроприемников, например, насосов, вентиляторов, калориферов, установок кондиционирования воздуха может выполняться проводами и кабелями с алюминиевыми жилами сечением не менее 2,5 мм²;

- в зданиях линии групповой сети, прокладываемые от этажных и кВАртирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными с разделением на фазный (L), нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники;

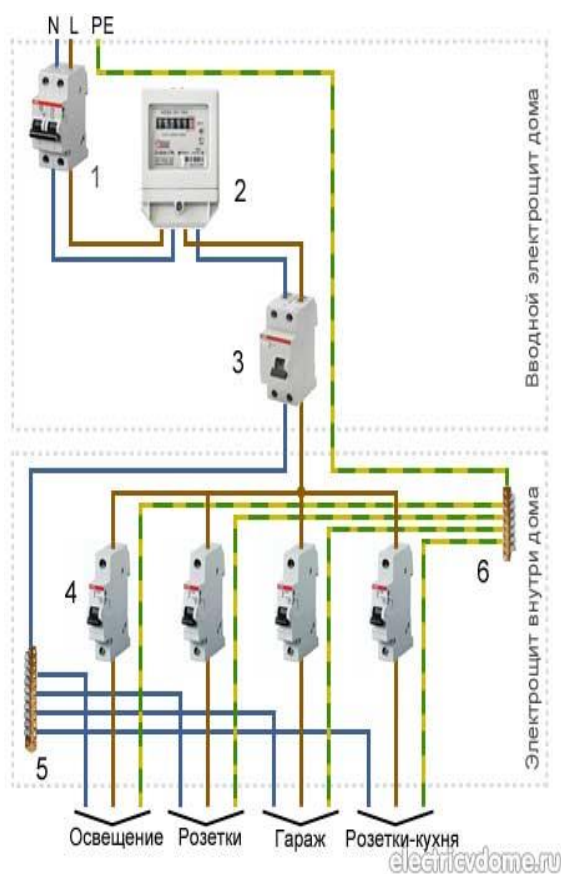
- не допускается объединение нулевых рабочих и нулевых защитных проводников различных групповых линий, а также подключать указанные провода на щитках под общий контактный зажим.

Внутренние сети могут быть проводными или кабельными. Прокладка проводов для сельскохозяйственных помещений выполняется открыто - проводом непосредственно по поверхностям стен, потолков и конструкций, на изоляторах, в винипластовых или стальных трубах, на тросах; скрыто – под штукатуркой, в полах, перекрытиях, в пластмассовых или стальных трубах, коробах; кабелем – по поверхностям стен и на тросе.

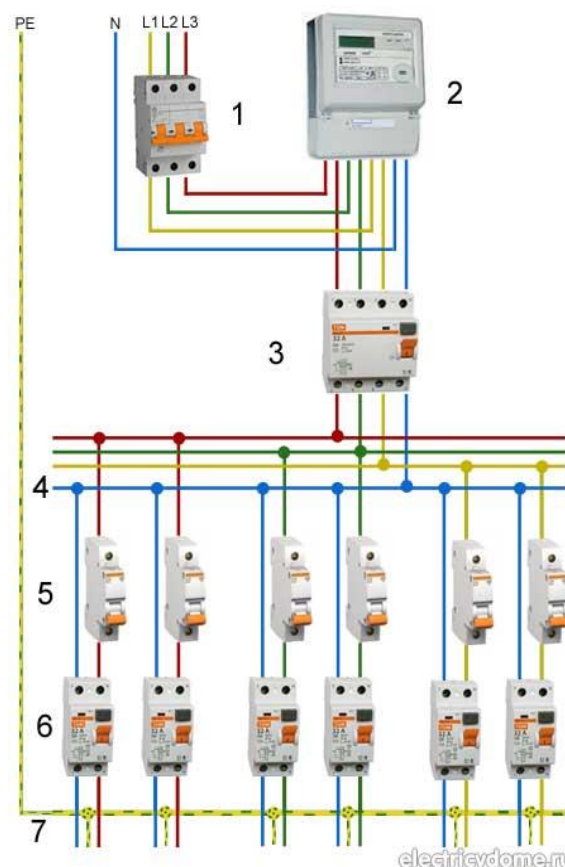
Способ прокладки и тип провода или кабеля выбирается в зависимости от вида помещения, например, сухое или сырое, а также исходя из рекомендаций по выполнению электропроводок силовых и осветительных сетей и вторичных цепей в животноводческих и других сельскохозяйственных производственных помещениях.

В животноводческих и птицеводческих помещениях для внутренних электропроводок применяют изолированные электрические провода и кабели с пластмассовой изоляцией и в пластмассовой оболочке. В бытовых и вспомогательных помещениях, возможно, использовать проводники с резиновой изоляцией.

При проектировании разветвленных электропроводок зданий (рисунок 7.1) очень важен выбор наилучшей схемы. Внутренние электрические проводки должны иметь минимальную протяженность, соответствовать условиям окружающей среды в помещении, обеспечивать безопасность работников, сельскохозяйственных животных и птицы, а также пожаробезопасность и взрывобезопасность.



а



б

Рисунок 7.1 - Схемы подключения и распределения электропроводки:

а - однофазное подключение электрических приемников; б - трехфазное подключение электроприемников

Внутренние электропроводки подключаются к водным распределительным устройствам, которые располагаются в центре нагрузки в местах удобных для доступа и обслуживания. Для питания силовых потребителей сельскохозяйственного производства используют распределительные пункты серии ПР8503, вводно-распределительные устройства ВРУ-1, ВРУ-85, шкафы силовые распределительные ШР11, ШРС-1, СП-62, СПМ-75, СПМ-99, щитки осветительные ЯУО, ОЩВ и др.

Расчет внутренних распределительных сетей сводится к выбору сечения по длительно допустимому току

$$I_{\text{дл.доп}} \geq I_{\text{расч}},$$

где $I_{\text{расч}}$ – расчетный ток участка сети, А.

Информация о значениях длительно допустимых токов для проводов и кабелей с медными жилами представлена в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки на провода, А					
	Проложенные открыто	Проложенные в одной трубе				
		Два одно-жильных	Три одно-жильных	Четыре одно-жильных	Один двух-жильный	Один трех-жильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	-	-	-

Полный набор таблиц для длительно допустимых токов проводов и кабелей в зависимости от их сечения приведены в ПУЭ.

Внутренние электропроводки рассчитывают не только на нагрев, но и на потерю напряжения. При 100 % нагрузке допустимое отклонение напряжения у самого удаленного электроприемника животноводческих комплексов и птицефабрик не должно превышать $\pm 5\%$, у всех остальных сельскохозяйственных потребителей $\pm 7,5\%$. В соответствии с ПУЭ потеря напряжения для сетей внутренних электрических проводок не должна быть более $\Delta U_{\text{доп}} = 2,5\%$.

Допустимая потеря напряжения во внутренних электропроводках рассчитывается

$$\Delta U_{\text{доп}} = V - (-7,5) = V + 7,5, \quad (7.1)$$

где V - уровень напряжения на вводе линии, %.

Правильность выбора проводов и кабелей по допустимой потере напряжения оценивается неравенством

$$\Delta U_{\text{расч}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (7.2)$$

где $\Delta U_{\text{расч}}$ - расчетная потеря напряжения в линии, %.

Для внутренних проводок, проложенных без применения стальных труб, индуктивным сопротивлением можно пренебречь. Исходя из этого, потеря напряжения в линии в общем виде находится по формуле

$$\Delta U = IR, \quad (7.3)$$

где I - расчетный ток линии, А;

R - активное сопротивление линии, Ом.

На практике падение напряжения в линиях и на участке линии определяют из уравнений

$$\Delta U_{\text{расч}} \% = \frac{\sum P_{\text{расч}} l}{CS}; \quad \Delta U_{\text{расч}} \% = \frac{P_{\text{расч}} l}{CS}, \quad (7.4)$$

где $P_{\text{расч}}$ - расчетная мощность, передаваемая по участку, кВт;

l - длина участка, м;

S - сечение провода, мм^2 ;

C - коэффициент, зависящий от напряжения, количества фаз и материала провода.

Коэффициент C определяют в зависимости от вида линии по следующим формулам.

Для трехфазной линии переменного тока

$$C = \frac{\gamma U_{\text{л}}^2}{10^5}, \quad (7.5)$$

где γ - удельная проводимость, м/Ом·мм²;

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

Для трехфазной линии переменного тока с нулевым проводником

$$C = \frac{\gamma U_{\text{л}}^2}{2,25 \cdot 10^5}. \quad (7.6)$$

Для двухпроводной линии переменного или постоянного тока

$$C = \frac{\gamma U^2}{2 \cdot 10^5}, \quad (7.7)$$

где U – напряжение двухпроводной линии, В.

Численный результат коэффициента C для различных сетей переменного тока приводится в таблице 7.2.

Таблица 7.2 - Значение коэффициента C для сетей переменного тока

Система распределения электрической энергии	Напряжение сети, В	Значение коэффициента C для жил проводников	
Три фазы с нулевым проводом	380/220	77	46
Две фазы с нулевым проводом	380/220	34	20
Одна фаза с нулевым проводом	220	12,8	7,7

Сечение провода для линии и одного участка определяется как

$$S = \frac{\sum M}{C \Delta U_{\text{доп}}}; \quad S = \frac{M}{C \Delta U_{\text{доп}}}, \quad (7.8)$$

где $M = P_{\text{расч}} l$ - момент нагрузки, кВт·м;

$\Delta U_{\text{доп}}$ - допустимая потеря напряжения, %.

С учетом требований по механической прочности для алюминиевых проводов внутренних электропроводок принимаются следующие минимальные площади сечения: 4 мм² - для изолированных

незащищенных проводов прокладываемых по стенам, конструкциям или опорам на изоляторах и $2,5 \text{ мм}^2$ - при прокладке под штукатуркой, в трубах и тросах. Провода с медными проводниками минимальным сечением 1 мм^2 рекомендуется прокладывать внутри помещения по основаниям на роликах, клицах, тросах, в лотках, неглубоких коробах и в трубах, а для линии групповой сети в жилых и общественных зданиях с наименьшим сечением $1,5 \text{ мм}^2$.

Пример. Найти площадь сечения одной жилы трехжильного кабеля марки ВВГ, проложенного в трубе по металлоконструкциям. Кабель предназначен для питания электродвигателя вентилятора мощностью 5,5 кВт, номинальный ток которого 11 А.

Алгоритм решения

Из таблицы 7.1 для трехжильного кабеля выбирается наибольшее близкое к 11 А значение тока – 18 А. Для выбранной величины тока определяется сечение одной токопроводящей жилы трехжильного кабеля – 1 мм^2 .

Пример. Рассчитать потерю напряжения в кабеле марки ВРГ3х2,5+1х1,6, проложенного внутри коровника длиной 40 м суммарная нагрузка на конце которого в виде электронагревателя составляет 10 кВт. Коэффициент $C = 77$ для указанной марки кабеля выбирается из таблицы 7.2.

Алгоритм решения

Расчетное падение напряжения на линии рассчитывается по уравнению

$$\Delta U_{\text{расч}} \% = \frac{P_{\text{расч}} l}{CS} = \frac{10 \cdot 40}{77 \cdot 2,5} = 2,1\%.$$

Полученное значение падения напряжения в линии подставляется в неравенство

$$\Delta U_{\text{расч}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad 2,1\% \leq 2,5\%.$$

Из неравенства видно, что расчетное значение падения напряжения во внутренней электропроводке не превышает допустимого значения, следовательно, сечение жил кабеля выбрано верно.

7.2 Нагрузки сельских электрических сетей

Проектирование электрических линий, подстанций для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей начинается с определения нагрузки отдельных электрических приемников и их групп.

При расчете электрических нагрузок следует учитывать периодическое включение и отключение различных потребителей, так как

технологические процессы, в которых они участвуют, не совпадают во времени. Кроме того ряд машин и агрегатов работают с переменной нагрузкой, а некоторые электропривода могут быть недогружены.

В сельскохозяйственном производстве расчетной нагрузкой считается наибольшее значение полной мощности действующей в течение 30 мин на вводе у потребителя в расчетном году.

Расчетную нагрузку на вводе в здание определяют несколькими способами: по суточному технологическому графику работы электрического оборудования, по данным замеров потребляемой мощности на объекте.

Суточный график строят на основании учета мощностей электродвигателей и других электрических приемников, работающих в здании в течение 24 час.

Потребляемая мощность электродвигателей определяют по формуле

$$P_{\Pi} = \frac{k_z P_{\text{ном}}}{\eta}, \quad (7.9)$$

где k_z - коэффициент загрузки электродвигателя;

$P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность электрической машины;

η - КПД электродвигателя.

На основании полученных данных строится график суточных нагрузок электроприемников в относительных единицах, работающих в составе машин и технологических линий, рисунок 7.2

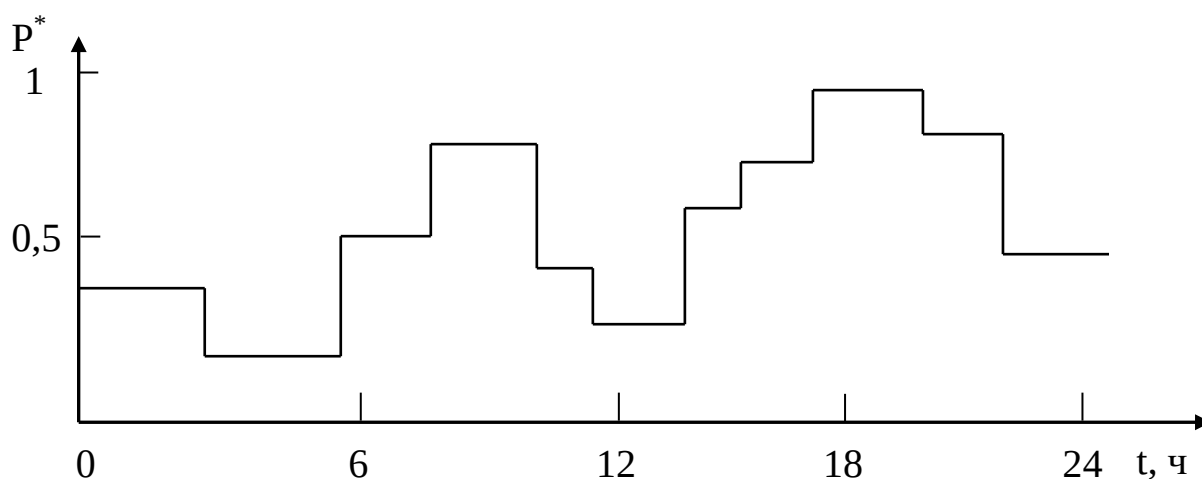


Рисунок 7.2 - Суточный график нагрузки

На основе суточных графиков строят годовой график нагрузки. По графикам нагрузки объекта можно найти все параметры, необходимые для проектирования системы электроснабжения.

Для определения расчетной нагрузки на графике берут участок, где в течение не менее получаса мощность наибольшая. В тех случаях, когда максимум нагрузки на графике длится менее получаса, эквивалентная мощность рассчитывается по уравнению

$$P_{\text{расч}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (7.10)$$

Полная расчетная мощность нагрузки с учетом коэффициента мощности

$$S_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\cos \varphi}, \quad (7.11)$$

где $\cos \varphi$ - коэффициент мощности потребителей.

Если график работы технологического оборудования отсутствует, то расчетная нагрузка находится по формуле

$$P_{\text{расч}} = \sum_1^n \frac{P_y k_3}{\eta} + \sum_1^m \frac{P_y' k_3 t}{0,5 \eta}, \quad (7.12)$$

где P_y - установленная (номинальная) мощность каждого электроприемника, участвующего в максимуме нагрузок и работающего более 0,5 ч, кВт;

n - число электрических приемников, участвующих в максимуме нагрузок в течение времени более 0,5 ч;

P_y' - установленная мощность электроприемников, работающих во время максимума нагрузки менее 0,5 ч, кВт;

m - количество электрических приемников, участвующих в максимуме нагрузок в течение времени менее 0,5 ч;

t - время работы электроприемников при $t < 0,5$ ч;

η - КПД электроприемников;

k_3 - коэффициент загрузки.

Для облегчения расчета полной мощности значения коэффициента мощности на вводах в зданиях и сооружениях сельскохозяйственных потребителей принимаются как отношение суммы номинальных мощностей всех электродвигателей к суммарной мощности нагрузки. Если мощность тепловых нагрузок составляет более 60% от общей

мощности, то $\cos\phi$ находится через деление суммы мощностей всех нагревателей к суммарной нагрузке в здании, таблица 7.3.

Таблица 7.3 - Коэффициент мощности в зависимости от отношения мощностей нагрузок

$\frac{\sum P_{\text{двиг}}}{\sum P}$	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,53
$\cos\phi$	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86
$\frac{\sum P_{\text{нагрев}}}{\sum P}$	0,63	0,68	0,73	0,78	0,85	0,95	-	-	-	-
$\cos\phi$	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	-	-	-	-

Пример. Определить расчетную мощность электроприемников на вводе свиначника-откормочника на 200 голов. В свиначнике установлено: скребковый навозоуборочный транспортер ТСН-2,0Б, состоящий из горизонтального транспортера с мощностью электродвигателя 4 кВт, $\eta = 0,85$, $k_z = 0,5$ и наклонного транспортера с двигателем 1,1 кВт, $\eta = 0,75$, $k_z = 0,5$; поперечный скребковый транспортер ТС-1А с мощностью электродвигателя 3 кВт и $\eta = 0,82$, $k_z = 0,5$; электроводонагреватель ВЭТ-800 мощностью 16,5 кВт и $\eta = 0,95$, $k_z = 0,9$; два кормораздатчика КС-1,5 с мощностью двигателей 7,5 кВт и $\eta = 0,87$, $k_z = 0,6$; три центробежных крышных вентилятора КЦЗ-90№5 с электродвигателями мощностью по 0,75 кВт и $\eta = 0,73$, $k_z = 1,0$; система регулирования микроклимата с двумя центробежными вентиляторами Ц4-70№6 по 2,2 кВт, $\eta = 0,81$, $k_z = 1,0$ и одного электрокалорифера СФО мощностью 60 кВт, $\eta = 0,95$, $k_z = 0,7$. Установленная мощность освещения 1,3 кВт. Длительность работы навозоуборочных транспортеров составляет 0,25 ч. Все остальное электрооборудование работает более 0,5 ч.

Алгоритм решения

Расчетная нагрузка на вводе в свиначнике-откормочнике находится из уравнения

$$\begin{aligned}
 P_{\text{расч}} &= \sum_1^n \frac{P_y k_z}{\eta} + \sum_1^m \frac{P_y' k_z t}{0,5\eta} = \\
 &= \frac{16,5 \cdot 0,9}{0,82} + \frac{2 \cdot 7,5 \cdot 0,6}{0,87} + \frac{3 \cdot 0,75 \cdot 1,0}{0,73} + \frac{2 \cdot 2,2 \cdot 1,0}{0,81} + \frac{60 \cdot 0,7}{0,95} \\
 &+ \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 0,25}{0,85} + \frac{1,1 \cdot 0,5 \cdot 0,25}{0,75} + \frac{3 \cdot 0,5 \cdot 0,25}{0,82} + 1,3 = \\
 &= 83,6 \text{ кВт.}
 \end{aligned}$$

Суммарная активная мощность всех электрических двигателей

$$\sum P_{\text{двиг}} = 4 + 1,1 + 3 + 2 \cdot 7,5 + 3 \cdot 0,75 + 2 \cdot 2,2 = 29,8 \text{ кВт.}$$

Активная мощность нагревательных установок

$$\sum P_{\text{нагр}} = 16,5 + 60 = 76,5 \text{ кВт.}$$

Мощность всех нагрузок на вводе в здание

$$\sum P = 4 + 1,1 + 3 + 2 \cdot 7,5 + 3 \cdot 0,75 + 2 \cdot 2,2 + 16,5 + 60 + 1,3 = 107,6 \text{ кВт.}$$

Так как мощность нагревательных установок преобладает над суммарной мощностью всех электродвигателей, то расчет ведется по следующему соотношению

$$\frac{\sum P_{\text{нагр}}}{\sum P} = \frac{76,5}{107,6} = 0,71.$$

Из таблицы 7.3 выбирается значение коэффициента мощности близкое к расчетному значению, $\cos\varphi = 0,96$.

Полная расчетная мощность нагрузки на вводе в свинарнике-откормочнике

$$S_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\cos\varphi} = \frac{83,6}{0,96} = 87,1 \text{ кВА.}$$

8 СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Снижение электрических потерь в электроустановках связано с повышением коэффициента мощности. Низкое значение $\cos\varphi$ приводит к уменьшению коэффициента полезного действия электрических двигателей, генераторов, трансформаторов, перерасходу дорогостоящих материалов, идущих на сооружение линий электропередачи, а так же к потерям мощности.

Снижение коэффициента мощности в сельских электрических сетях обусловлено большой протяженностью линий электропередачи, наличием электрических двигателей малой мощности и неполной их загрузкой, неравномерным распределением потребителей по фазам, низкой загруженностью трансформаторов в электрических подстанциях, использованием люминесцентных светильников для облучения растений и животных.

Повышение коэффициента мощности осуществляется двумя способами - естественным, который не требует применения специальных технических устройств и искусственным.

Естественное повышение $\cos\varphi$ связано с выполнением следующих мероприятий:

- выбор электрических двигателей, мощность которых максимально близка к мощности нагрузки;
- ограничение холостого хода при работе электроприводов;
- комплектация приводов электродвигателями с высоким $\cos\varphi$;
- переключение обмоток электродвигателей с треугольника на звезду при снижении нагрузки ниже 50%;
- использование регулируемых электрических приводов для переменной нагрузки;
- максимальная загрузка трансформаторных подстанций и рационализация графиков работы трансформаторов, а при резком снижении нагрузки отключение одного из параллельно работающих трансформаторов.

Искусственное поддержание высокого коэффициента мощности основывается на применении в электроустановках специальных технических устройств, предназначенных для компенсации реактивной мощности.

В сельскохозяйственном электроснабжении для повышения $\cos\varphi$ на подстанциях или у потребителя устанавливаются конденсаторные элементы. Исходя из этого, компенсация реактивной мощности может быть групповой, индивидуальной или централизованной. Для

распределения конденсаторов по фазам наиболее часто прибегают к треугольной схеме соединений, так как она при одной и той же емкости конденсаторов дает возможность в три раза увеличить мощность компенсационной установки по сравнению со схемой подключения элементов в звезду.

Мощность компенсирующих устройств выбирается из графиков реактивной нагрузки с учетом получасового максимума. Постоянная составляющая графика может компенсироваться нерегулируемыми конденсаторными установками, а переменная - устройствами с регулированием реактивной мощности.

Графики реактивной нагрузки рассчитываются по формулам и строятся с учетом вида потребителей.

Потребление реактивной мощности электродвигателями вычисляется по уравнению

$$Q_{\text{эд}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (8.1)$$

где $P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$\eta_{\text{ном}}$ - номинальный КПД электрической машины;

φ - угол между активной и реактивной составляющими мощности.

Величина реактивной мощности, потребляемая линией,

$$Q_{\text{л}} = 3I^2 \frac{X_{\text{л}}}{1000}, \quad (8.2)$$

где I - ток в линии, А;

$X_{\text{л}}$ - индуктивное сопротивление линии, Ом.

Реактивная мощность, потребляемая трансформаторами,

$$Q_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{ном}}}{100} (I_{\text{x}} + \beta^2 u_{\text{р}}), \quad (8.3)$$

где $S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА;

I_{x} - ток холостого хода отнесенный к номинальному, %;

$u_{\text{р}}$ - реактивная составляющая напряжения, %;

β - коэффициент загрузки трансформатора по току.

Если отсутствуют графики реактивной мощности потребителей, то мощность конденсаторных установок можно рассчитать по формулам.

Мощность конденсаторов в трех фазах рассчитывается по уравнению

$$Q_c = 3U_c^2 \omega C 10^{-3}, \quad (8.4)$$

где U_c - напряжение на зажимах конденсаторов, В;

ω - угловая частота, c^{-1} ;

C - суммарная емкость конденсаторов, мкФ.

Если конденсаторы соединены по схеме треугольник, то напряжение на зажимах конденсатора равно напряжению сети.

Мощность конденсаторной батареи для повышения коэффициента мощности

$$Q_c = P_{\max}(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \quad (8.5)$$

где $P_{\max}$ - максимальная активная мощность на вводе, кВт;

φ_1 и φ_2 - углы сдвига фаз до включения батареи конденсаторов и после включения элементов для повышения коэффициента мощности.

Отечественная промышленность выпускает комплектные конденсаторные установки для низкого напряжения: УК-0,4, АУКРМ, УКМ58, УКМФ71 и высокого напряжения: КРМ, УККРМ, КРМФ, УКРЛ56.

На рисунке 8.1 представлены разновидности комплектных конденсаторных установок.



а



б

Рисунок 8.1 - Комплектные конденсаторные установки: а - низковольтная регулируемая АУКРМ-0,4–10-2,5 УЗ; б - высоковольтная УК57-6,3-100 УЗ

В таблице 8.1 даны технические характеристики нерегулируемых конденсаторных установок низкого напряжения серии УК.

Таблица 8.1 - Технические характеристики конденсаторных установок серии УК

Марка конденсаторной установки	Номинальное напряжение U, кВ	Номинальная мощность установки Q _с , кВАр	Номинальный ток установки I _{ном} , А	Ток для выбора кабеля 1,43I _{ном} , А	Габаритные размеры установки, мм
УК-0,4-10 У3	0,4	10	14	21	450×300×250
УК-0,4-15 У3		15	22	31	
УК-0,4-20 У3		20	29	41	
УК-0,4-25 У3		25	36	52	
УК-0,4-30 У3		30	43	62	
УК-0,4-40 У3		40	58	83	
УК-0,4-50 У3		50	72	103	650×400×250
УК-0,4-60 У3		60	87	124	
УК-0,4-75 У3		75	108	155	
УК-0,4-80 У3		80	116	165	
УК-0,4-100 У3		100	145	207	850×600×250
УК-0,4-112,5 У3		112,5	163	232	1000×600×250
УК-0,4-120 У3		120	173	248	
УК-0,4-130 У3		130	188	269	
УК-0,4-140 У3		140	202	289	1200×800×300
УК-0,4-150 У3		150	217	310	1600×800×300
УК-0,4-180 У3		180	260	372	
УК-0,4-200 У3		200	289	413	
УК-0,4-220 У3		220	318	455	
УК-0,4-250 У3		250	361	517	
УК-0,4-260 У3		260	376	537	
УК-0,4-268 У3		268	387	554	1800×800×450
УК-0,4-270 У3		270	390	558	
УК-0,4-280 У3		280	405	579	
УК-0,4-300 У3		300	434	620	

Комплектные конденсаторные установки низкого напряжения, типа УК предназначены для повышения коэффициента мощности осветительных сетей переменного тока с газоразрядными лампами высокого давления.

Технические характеристики: металлический корпус со степенью защиты IP21, IP44. Детали модулей изготовлены из оцинкованного металла. Используется разъединитель с возможностью блокировки наружной рукоятки. В каждой фазе однофазные конденсаторы в металлическом корпусе. Контроль включения установки осуществляется с помощью амперметра. Конденсаторы защищены плавкими вставками и токоограничивающими реакторами. Вентиляция естественная.

Пример. Рассчитать мощность конденсаторной установки для предприятия по ремонту электрических машин. Коэффициент мощности на вводе в здание равен $\cos\varphi = 0,75$ ($\operatorname{tg}\varphi_1 = 0,88$). Максимально активная мощность предприятия составляет 250 кВт. С целью снижения потерь электроэнергии рекомендуется поднять $\cos\varphi$ до 0,9 ($\operatorname{tg}\varphi_2 = 0,48$).

Алгоритм решения

Расчетная мощность конденсаторов определяется из уравнения

$$Q_c = P_{\max}(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = 250(0,88 - 0,48) = 100 \text{ кВАр}.$$

Из таблицы 8.1 выбирается конденсаторная установка УК-0,4-100 УЗ.

РАЗДЕЛ 3 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

9 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

9.1 Принципы построения схем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

Разработка схем электроснабжения для сельскохозяйственных объектов осуществляется в зависимости от требований надежности питания для различных категорий подключаемой нагрузки, обеспечения минимальных потерь электрической энергии и допустимого отклонения напряжения на зажимах удаленных потребителей, экономичности и перспективы развития.

Все потребители сельскохозяйственных районов согласно ПУЭ разделяются на три категории по надежности электроснабжения. Обеспечение надежности достигается за счет строительства резервных электрических станций, дополнительной комплектацией эксплуатирующихся ТП современными более мощными трансформаторами, автономными генераторами, распределительными линиями и средствами автоматизации.

Схемы электроснабжения проектируются, исходя из вида нагрузок в населенной местности, уровня требуемого напряжения, количестве и мощности трансформаторных подстанций, выбора длин и сечений проводов, отходящих от ТП линий электропередачи и учета ландшафта местности.

Электроснабжение агропромышленных районов может осуществляться по следующим системам электроснабжения: 110/35/10/0,38 кВ, 110/35/20//0,38 кВ, 110/35/0,38 кВ и 110/20/0,38 кВ с перспективой строительства и поэтапного введения в работу разукрупняющих подстанций 35/10 или 110/10 кВ.

Развитие новых сельскохозяйственных районов предполагает введение дополнительных мощностей и совершенствования централизованного электроснабжения потребителей электрической энергии.

Если существующие сети не в состоянии обеспечивать пропускную способность, то рекомендуется рассмотреть варианты строительства дополнительных участков линий электропередачи или перевода существующих сетей 35 кВ на напряжение 110 кВ, а также введение в эксплуатацию опорных подстанций напряжением 110/35/10 кВ.

Особое внимание следует уделять потерям электрической энергии в проводах линий электропередачи. Известно, что до 50 % общих потерь энергии во время её передачи приходится на электросети напряжением 110 кВ и выше, 25 % на сети напряжением 3...35 кВ и 10 % напряжением до 1 кВ. Для снижения потерь в сельскохозяйственных сетях рекомендуется строительство и реконструкция более экономичных линий электропередачи, перевод электрических сетей 10 кВ на напряжение 20 кВ, внедрение в производственные процессы энергосберегающего оборудования, рациональное использование и экономия электроэнергии.

9.2 Электрические нагрузки на вводах потребителей

Нахождение расчетных электрических нагрузок трансформаторных подстанций (ТП) осуществляется в результате учета всех потребителей электрической энергии, расположенных в радиусе действия отходящих от ТП распределительных сетей. Электрические нагрузки берутся из энергетических паспортов потребителей или их определяют в результате дополнительного обследования объектов электроснабжения.

Во время осмотра бытовых потребителей выявляется количество домов в жилом секторе, годовое потребление электроэнергии на один многоквартирный дом или квартиру, расположенную в многоэтажной высотке. Фиксируются производственные мощности и нагрузки уличного и наружного освещения сельскохозяйственных объектов, находящихся в зоне электрического снабжения проектируемой трансформаторной подстанции.

Устанавливается категоричность потребителей по надежности электроснабжения, уточняются источники резервирования и вид нагрузки - смешанная или однородная. Собираются дополнительные данные об инфраструктуре производственного и жилого секторов, необходимые для выбора типа трансформаторной подстанции и определения мощности и количества трансформаторов. Уточняются: конфигурация электрических распределительных линий, марка опор, материал изготовления и площади сечения проводов по участкам.

В системе электроснабжения потребителей различают дневной и вечерний расчетный максимум нагрузки. Для сельскохозяйственных потребителей преобладание дневного максимума нагрузки связано с производственной деятельностью, когда работают электрифицированные машины, агрегаты и поточные линии, предназначенные для выпуска птицеводческой, животноводческой или зерновой продукции. Вечерний максимум нагрузки приходится на коммунально-бытовой сектор, состоящий из систем внутреннего и наружного освещения домов,

административных зданий, улиц и площадей, электробытовых приборов индивидуального и коллективного пользования.

Расчетная полная мощность нагрузок в кВА на вводах бытовых потребителей, подключенных в дневное и вечернее время, определяется из уравнений

$$S_{\text{д}} = k_0 \frac{\sum P_{\text{д}}}{\cos \varphi_{\text{д}}}; \quad S_{\text{в}} = k_0 \frac{\sum P_{\text{в}}}{\cos \varphi_{\text{в}}}, \quad (9.1)$$

где k_0 - коэффициент одновременности включения нагрузок;

$\sum P_{\text{д}}, \sum P_{\text{в}}$ - суммарная расчетная активная мощность дневного и вечернего максимума нагрузок на участке линии или на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции, кВт;

$\cos \varphi_{\text{д}}, \cos \varphi_{\text{в}}$ - коэффициенты мощности в дневной и вечерний периоды действия нагрузок.

Значения коэффициентов одновременности в зависимости от количества потребителей внутри здания и коэффициентов мощности для дневного и вечернего максимума нагрузок сельскохозяйственных производителей приведены в таблицах 9.1 и 9.2.

Таблица 9.1 - Значения коэффициента одновременности в зависимости от количества потребителей

Количество потребителей, n	Коэффициент одновременности, k_0
2	0,85
3	0,8
4-5	0,75
6-7	0,7
8-10	0,65
11-15	0,6
16-20	0,55
21-40	0,5
41-70	0,45
71-150	0,4
150 и более	0,35

В отличие от бытовых потребителей производственные нагрузки имеют установки, например, привода на основе электрических асинхронных электродвигателей, которые потребляют не только активную, но и реактивную мощности.

Мощность дневной и вечерней нагрузки, необходимая для потребителей реактивной энергии, выбирается из таблицы Б1 и суммируется с учетом коэффициента одновременности или рассчитывается по формулам

$$Q_d = \sum P_d \operatorname{tg} \varphi_d; \quad Q_v = \sum P_v \operatorname{tg} \varphi_v, \quad (9.2)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_d, \operatorname{tg} \varphi_v$ - коэффициент реактивной мощности дневного и вечернего максимума нагрузки.

Таблица 9.2 - Коэффициент мощности в максимум нагрузки на вводах отдельных видов потребителей

Потребители	Коэффициент мощности ($\cos \varphi$)	
	Дневной максимум	Вечерний максимум
Животноводческие и птицеводческие объекты без электрообогрева	0,75	0,85
Животноводческие и птицеводческие объекты с электрообогревом	0,92	0,96
Кормоцехи	0,75	0,78
Мастерские	0,65	0,7
Зерноочистительные пункты	0,7	0,75
Мельницы, маслобойки	0,85	0,86
Оросительные установки	0,8	0,8
Электротепловые установки	1,0	1,0
Общественные и коммунальные предприятия	0,92	0,95
Жилые дома	0,96	0,98

Полная мощность на вводе производственного помещения определяется из уравнений для дневного и вечернего максимума нагрузок

$$S_d = \sqrt{P_d^2 + Q_d^2}, \quad S_v = \sqrt{P_v^2 + Q_v^2}, \quad (9.3)$$

где P_d, P_v - суммарная активная дневная и вечерняя мощность на вводе в здание, кВт;

Q_d, Q_v - суммарная реактивная дневная и вечерняя мощности на вводе в здание, кВАр.

9.3 Определение нагрузок в сетях 0,38 кВ

Электрические нагрузки на участках линий напряжением 0,38 кВ вычисляются в результате суммирования дневных и вечерних мощностей на вводах зданий с потребителями электрической энергии.

Расчетную активную мощность нагрузки участка распределительной линии с однородными потребителями, которые отличаются по величине мощности не более чем в 4 раза, суммируют с использованием коэффициента одновременности по формулам

$$P_{\Sigma \text{д}} = k_o \sum P_{\text{д}i}, \quad P_{\Sigma \text{в}} = k_o \sum P_{\text{в}i}, \quad (9.4)$$

где $P_{\text{д}i}, P_{\text{в}i}$ - дневная и вечерняя мощность нагрузки в дневное и вечернее время на вводе i - потребителя, кВт.

Если расчетные нагрузки, присоединенные к линии электропередачи, разнородны и отличаются друг от друга по мощности более чем в 4 раза, то их суммируют с учетом надбавок. При этом к большему слагаемому P прибавляют ΔP меньшей нагрузки, таблица Б2.

Линии со смешанной нагрузкой разбивают на участки сети с жилыми домами, производственными, общественными и коммунальными предприятиями и определяют полную мощность каждой из выделенных групп потребителей, а затем, суммируя полученные результаты, находят расчетную мощность дневного и вечернего максимума на шинах ТП низкого напряжения.

Активная и реактивная мощности в дневное и вечернее время при подключении к линиям электропередачи или шинам ТП смешанной сельскохозяйственной нагрузки потребителей электрической энергии вычисляются методом надбавок согласно формулам

$$P_{\text{д}} = P_{\text{max}} + \Delta P_i; \quad Q_{\text{д}} = Q_{\text{max}} + \Delta Q_i; \quad (9.5)$$

$$P_{\text{в}} = P_{\text{max}} + \Delta P_i; \quad Q_{\text{в}} = Q_{\text{max}} + \Delta Q_i, \quad (9.6)$$

где $P_{\text{max}}, Q_{\text{max}}$ - наибольшие из суммируемых нагрузок, кВт, кВАр;

$\Delta P_i, \Delta Q_i$ - надбавки от i -х нагрузок, кВт, кВАр.

Нагрузка освещения улиц определяется, исходя из знаний типа светильника, ширины дорожного полотна и вида покрытия.

Мощности активная и реактивная уличного освещения определяются по уравнениям

$$P_{\text{yo}} = P_{\text{уд}} L, \quad Q_{\text{yo}} = P_{\text{уд}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (9.7)$$

где $P_{\text{уд}}$ - удельная мощность уличного освещения, Вт/м ;

L - длина улицы, м;

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

При использовании газоразрядных светильников типа СЗПР, РКУ и др. меньшая норма удельной мощности берётся при высоте подвеса светильников 8,5 м, а большая при 10 м и выше, таблица 9.3.

Реактивная мощность для освещения приусадебных и дачных участков

$$P_{oc} = nk_o l_{\Pi} P_{уд.ос}; \quad Q_{oc} = P_{oc} \operatorname{tg} \varphi, \quad (9.8)$$

где n - количество домов,

l_{Π} - длина периметра, м;

$P_{уд.ос}$ - удельная мощность освещения приусадебных участков, Вт/м.

Таблица 9.3 - Значения удельной мощности в зависимости от ширины улиц

Характеристика улицы	Нормы средней освещённости, лк	Удельная мощность установки, Вт/м
Поселковые улицы с асфальтобетонным и переходными типами покрытий, при ширине проезжей части: 5-7 м. 9-12 м.	 4 4	 4,5-6,5 6,0-8,0
5-7 м. 9-12 м.	4 4	11,0 13,0
Поселковые дороги и улицы с покрытием простейшего типа, при ширине проезжей части: 5-7 м. 9-12 м.	 2 2	 5,5 5,5 7,0
Улицы и дороги местного значения и пешеходные дорожки шириной: 5-7 м. 9-12 м.	 1 1	 3,0 4,4

Удельная мощность $P_{уд.ос}$ вычисляется, исходя из величины нагрузки наружного освещения территорий хозяйственных центров и дворов из расчета 250 Вт на одно помещение, 3 Вт на один погонный метр длины периметра и 0,25 Вт/м² общественных площадей и торговых центров.

Расчетное значение вечернего максимума активной и реактивной мощностей населенного пункта с учетом нагрузки уличного освещения и приусадебных участков

$$P_B = \sum P + P_{уд} + \Delta P_{ос}; \quad Q_B = \sum Q + Q_{уд} + Q_{ос}, \quad (9.9)$$

где $\sum P, \sum Q$ - максимальная активная и реактивная мощности потребителей населенного пункта в вечернее время, кВт, кВАр.

Выбор мощности трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ для электроснабжения сельскохозяйственного производства обычно производится по наибольшему дневному, если суммируются только производственные нагрузки или вечернему максимуму, если определяется мощность коммунально-бытовых потребителей.

Пример. Определить расчетные нагрузки участков воздушной линии 380/220 В и расчетную мощность на шинах ТП производственного комплекса в соответствии со схемами, представленными на рисунках 9.1 и 9.2. На рисунке 9.1 изображены следующие потребители электрической энергии: П1 - зернохранилище $P_d=25$ кВт, $Q_d=25$ кВАр, $P_B=20$ кВт, $Q_B=10$ кВАр; П2 - свиноферма 200 маток $P_d=65$ кВт, $Q_d=35$ кВАр, $P_B=35$ кВт, $Q_B=25$ кВАр; П3 - коровник 100 коров $P_d=40$ кВт, $Q_d=20$ кВАр, $P_B=15$ кВт, $Q_B=15$ кВАр; П4 - коровник на 600 коров $P_d=40$ кВт, $Q_d=20$ кВАр, $P_B=40$ кВт, $Q_B=10$ кВАр; П5 - телятник на 100 голов $P_d=25$ кВт, $Q_d=10$ кВАр, $P_B=15$ кВт, $Q_B=10$ кВАр. На рисунке 9.2 потребитель П2 - свиноферма на 400 маток $P_d=125$ кВт, $Q_d=60$ кВАр, $P_B=90$ кВт, $Q_B=50$ кВАр, остальные потребители идентичны рисунку 9.1.

С целью расширения теоретических познаний и приобретения практических навыков расчета суммарных мощностей на шинах ТП приводятся математические алгоритмы вычислений по двум методам - коэффициентов одновременности и надбавок.

Алгоритм решения

Метод коэффициентов одновременности

Расчёт дневной и вечерней нагрузки выполняется методом коэффициента одновременности по аналитическим формулам, так как мощность потребителей отличается менее чем в 4 раза

$$P_p = k_o \sum P;$$

$$Q_p = k_o \sum Q,$$

где k_o - коэффициент одновременности;
 P - активная мощность, кВт;
 Q - реактивная мощность, кВАр.

Активные и реактивные нагрузки дневного и вечернего максимумов для участков линий электропередачи, а также трансформаторной подстанции находятся по следующему алгоритму расчета.

Для участка цепи 3-2

$$P_{Д 3-2} = \kappa_0 \sum P = \kappa_0 (P_{Д П2} + P_{Д П3}) = 0,75 \cdot (65 + 40) = 78,75 \text{ кВт};$$

$$Q_{Д 3-2} = \kappa_0 \sum Q = \kappa_0 (Q_{Д П2} + Q_{Д П3}) = 0,75 \cdot (35 + 20) = 41,25 \text{ кВАр};$$

$$P_{В 3-2} = \kappa_0 \sum P = \kappa_0 (P_{В П2} + P_{В П3}) = 0,75 \cdot (35 + 15) = 37,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{В 3-2} = \kappa_0 \sum Q = \kappa_0 (Q_{В П2} + Q_{В П3}) = 0,75 \cdot (25 + 15) = 30 \text{ кВАр};$$

Для участка цепи 2-1

$$P_{Д 2-1} = P_{Д 3-2} + \kappa_0 P_{Д П1} = 78,75 + 0,75 \cdot 25 = 97,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{Д 2-1} = Q_{Д 3-2} + \kappa_0 Q_{Д П1} = 41,25 + 0,75 \cdot 25 = 60 \text{ кВАр};$$

$$P_{В 2-1} = Q_{Д 3-2} + \kappa_0 P_{В П1} = 37,5 + 0,75 \cdot 20 = 52,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{В 2-1} = Q_{Д 3-2} + \kappa_0 Q_{В П1} = 30 + 0,75 \cdot 10 = 37,5 \text{ кВАр}.$$

Для участка цепи 5-4

$$P_{Д 5-4} = \kappa_0 \sum P = \kappa_0 (P_{Д П4} + P_{Д П5}) = 0,75 \cdot (40 + 25) = 48,75 \text{ кВт};$$

$$Q_{Д 5-4} = \kappa_0 \sum Q = \kappa_0 (Q_{Д П4} + Q_{Д П5}) = 0,75 \cdot (20 + 10) = 22,5 \text{ кВАр};$$

$$P_{В 5-4} = \kappa_0 \sum P = \kappa_0 (P_{В П4} + P_{В П5}) = 0,75 \cdot (40 + 15) = 41,25 \text{ кВт};$$

$$Q_{В 5-4} = \kappa_0 \sum Q = \kappa_0 (Q_{В П4} + Q_{В П5}) = 0,75 \cdot (10 + 10) = 15 \text{ кВАр}.$$

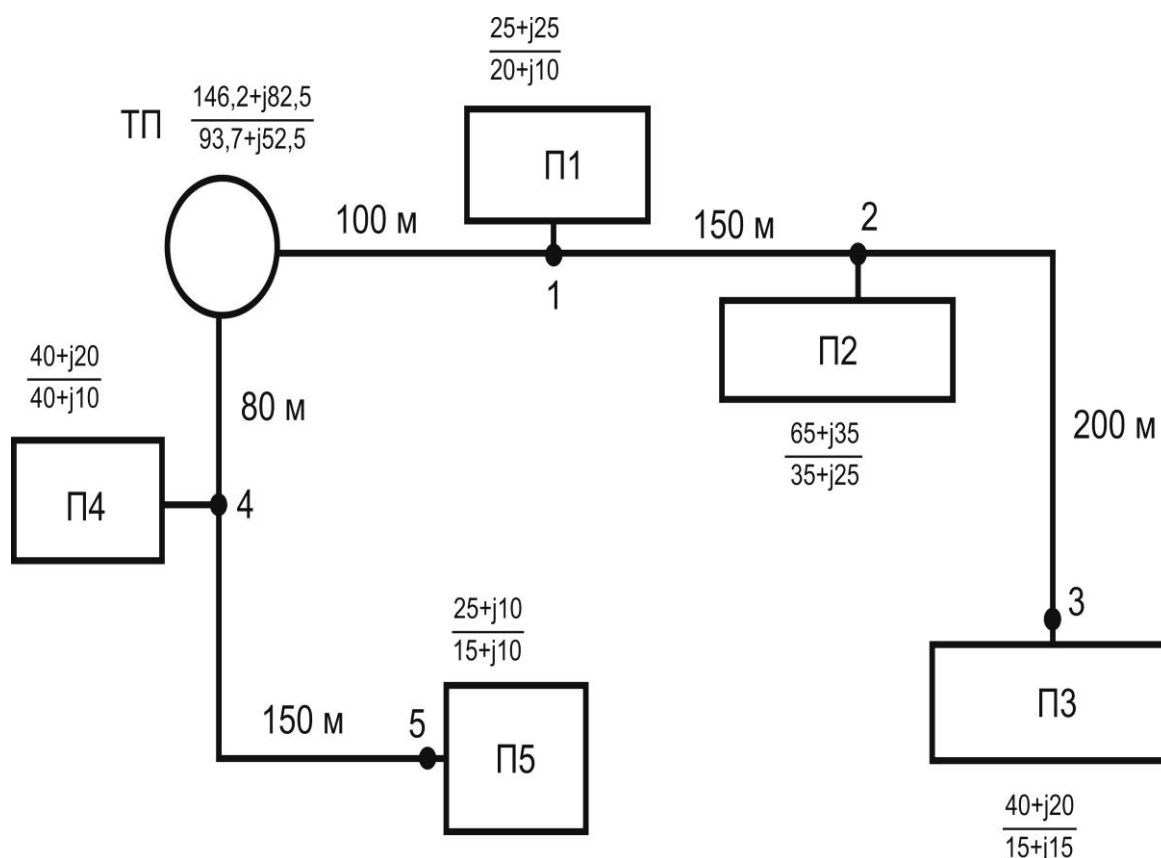


Рисунок 9.1 - Конфигурация низковольтной сети для расчета суммарной мощности на шинах ТП по коэффициенту одновременности

Нагрузка на ТП

$$P_{Д ТП} = P_{Д 2-1} + P_{Д 5-4} = 97,5 + 48,75 = 146,25 \text{ кВт};$$

$$Q_{Д ТП} = Q_{Д 2-1} + Q_{Д 5-4} = 60 + 22,5 = 82,5 \text{ кВАр};$$

$$P_{B\text{ ТП}} = P_{B\ 2-1} + P_{B\ 5-4} = 52,5 + 41,25 = 93,75 \text{ кВт};$$

$$Q_{B\text{ ТП}} = Q_{B\ 2-1} + Q_{B\ 5-4} = 37,5 + 15 = 52,5 \text{ кВАр}.$$

Метод надбавок

Если нагрузки системы электроснабжения отличаются в 4 и более раз, то для расчета применяется метод надбавок.

Суммирование активных и реактивных мощностей ведется по следующим формулам

$$P_p = P_{\max} + \sum \Delta P_i;$$

$$Q_p = Q_{\max} + \sum \Delta Q_i,$$

где $P_{\max}, Q_{\max}$ – наибольшие из суммируемых мощностей, кВт, кВАр;
 $\Delta P_i, \Delta Q_i$ – надбавки от i -х мощностей, кВт, кВАр.

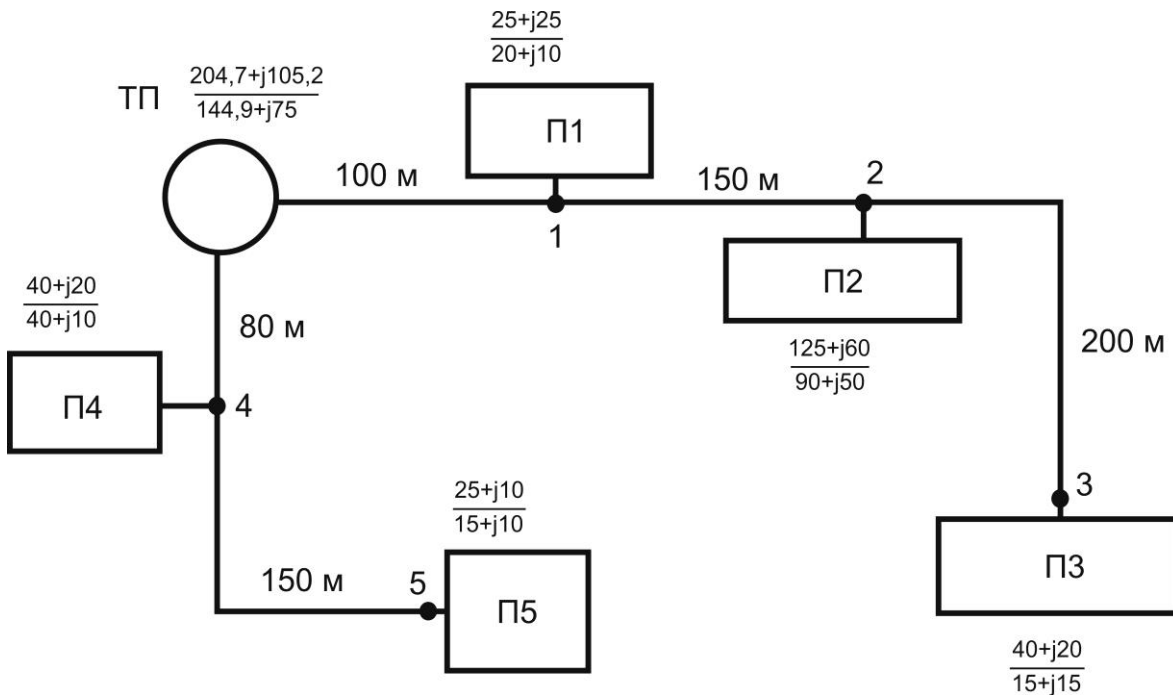


Рисунок 9.2 - Конфигурация сети при подсчете нагрузок на шинах ТП методом надбавок

Для участка цепи 3-2

$$P_{д\ 3-2} = P_{\max} + \Delta P = P_{д\ П2} + \Delta P_{д\ П3} = 125 + 26,5 = 151,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{д\ 3-2} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{д\ П2} + \Delta Q_{д\ П3} = 60 + 12,5 = 72,5 \text{ кВАр};$$

$$P_{B\ 3-2} = P_{\max} + \Delta P = P_{B\ П2} + \Delta P_{B\ П3} = 90 + 9,2 = 99,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{B\ 3-2} = Q_{\max} + \Delta Q = Q_{B\ П2} + \Delta Q_{B\ П3} = 50 + 9,2 = 59,2 \text{ кВАр}.$$

Для участка цепи 2-1

$$P_{д\ 2-1} = P_{\max} + \Delta P = P_{д\ 3-2} + \Delta P_{д\ П1} = 151,5 + 15,7 = 167,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{д\ 2-1} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{д\ 3-2} + \Delta Q_{д\ П1} = 72,5 + 15,7 = 88,2 \text{ кВАр};$$

$$P_{B\ 2-1} = P_{\max} + \Delta P = P_{B\ 3-2} + \Delta P_{B\ П1} = 99,2 + 12,5 = 111,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{B\ 2-1} = Q_{\max} + \Delta Q = Q_{B\ 3-2} + \Delta Q_{B\ П1} = 59,2 + 6 = 65,2 \text{ кВАр}.$$

Для участка цепи 5-4

$$P_{D\ 5-4} = P_{\max} + \Delta P = P_{D\ П4} + \Delta P_{D\ П5} = 40 + 15,7 = 55,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{D\ 5-4} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{D\ П4} + \Delta Q_{D\ П5} = 20 + 6 = 26 \text{ кВАр};$$

$$P_{B\ 5-4} = P_{\max} + \Delta P = P_{B\ П4} + \Delta P_{B\ П5} = 40 + 9,2 = 49,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{B\ 5-4} = Q_{\max} + \Delta Q = Q_{B\ П4} + \Delta Q_{B\ П5} = 10 + 6 = 16 \text{ кВАр}.$$

Нагрузка на трансформаторной подстанции

$$P_{D\ ТП} = P_{\max} + \Delta P = P_{D\ 2-1} + \Delta P_{D\ 5-4} = 167,2 + 37,5 = 204,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{D\ ТП} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{D\ 2-1} + \Delta Q_{D\ 5-4} = 88,2 + 17 = 105,2 \text{ кВАр};$$

$$P_{B\ ТП} = P_{\max} + \Delta P = P_{B\ 2-1} + \Delta P_{B\ 5-4} = 111,7 + 33,2 = 144,9 \text{ кВт};$$

$$Q_{B\ ТП} = Q_{\max} + \Delta Q = Q_{B\ 2-1} + \Delta Q_{B\ 5-4} = 65,2 + 9,8 = 75 \text{ кВАр}.$$

9.4 Расчет нагрузок в сетях 10...35 кВ и на шинах ТП 10/0,4 кВ

Нагрузки в сетях 10...35 кВ и на шинах ТП 35...110/10 кВ находятся путем суммирования расчетных мощностей ТП 10...35/0,4 кВ отдельно для дневного и вечернего максимума. Расчет нагрузок высоковольтных сетей выполняется практически аналогично, как и для низковольтных. Отличие состоит только в величине выбираемых надбавок (таблица Б3) и коэффициентов одновременности, таблица 9.4.

Таблица 9.4 - Коэффициенты одновременности для суммирования электрических нагрузок в сетях 10...35 кВ

Количество ТП	2	3	5	10	20	25 и более
Коэффициент одновременности, k_0	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65

Высоковольтные сети напряжением 10 кВ разрабатывают с учетом перспективы их развития на 5 лет и более. В проектируемых зонах анализируют состояние существующих схем электрического снабжения, действующие электрические нагрузки, проводят обоснование расчетных мощностей, принимая во внимание вновь вводимые в эксплуатацию потребители, определяют места для районных ТП 110/35/10 кВ с целью подключения сетей 10 кВ к линиям 35...110 кВ.

Электроснабжение вновь построенных животноводческих и птицеводческих комплексов осуществляется по новым линиям электропередачи напряжением 10 кв. Для обеспечений категории по надежности электроснабжения широкое распространение в сельскохозяйственном производстве находят кольцевые сети. Благодаря кольцевой конфигурации потребители, относящиеся к I категории по

надежности электроснабжения, подключаются как минимум к двум смежным опорным трансформаторным подстанциям сельскохозяйственной энергосистемы, а токоприемники II и III категории к петлевой линии напряжением 0,4 кВ.

Сети напряжением 6...10 кВ в большинстве случаев выполняют трехфазными с изолированной нейтралью. Линии прокладывают, как правило, вдоль дорог, лесных полос, оросительных каналов, а также по границам полей.

Расчетная мощность подстанций 10/0,4 кВ находится по формуле

$$P_p = k_p P_{\max}, \quad (9.10)$$

где k_p - коэффициент роста нагрузок, таблица 9.5;

$P_{\max}$ - максимальная мощность на шинах подстанции в настоящее время, кВт.

Расчетные полные мощности дневного и вечернего максимумов в кВА для участков высоковольтных линий с коэффициентом одновременности, взятым из таблицы 9.6, определяются по уравнениям (9.1).

Для потребителей, о которых отсутствует информация в справочных таблицах, расчетные мощности для линий 10...35 кВ определяются по выражениям

$$P_d = k_d P_p, \quad P_v = k_v P_p, \quad (9.11)$$

где k_d, k_v - коэффициенты дневного и вечернего максимумов.

Разрешается расчет нагрузок по одному из максимумов, если преобладает производственная или бытовая нагрузка. В уравнения расчета вводятся коэффициенты дневного и вечернего максимумов, которые принимаются для производственных потребителей $k_d = 1, k_v = 0,6$; для коммунально-бытовых, например, дома без электрических плит $k_d = 0,3...0,4, k_v = 1$; здания с электроплитами $k_d = 0,6, k_v = 1$; для смешанной нагрузки $k_d = 1, k_v = 1$.

Таблица 9.5 - Коэффициент роста нагрузок действующих подстанций напряжением 10/0,4 кВ

Потребители	Расчетный год			
	5-й	7-й	10-й	12-й
Коммунально-бытовые	1,2	1,3	1,8	2
Производственные	1,3	1,4	2,1	2,4
Смешанные	1,3	1,4	2	2,2

Таблица 9.6 - Коэффициенты одновременности для высоковольтных линий электропередачи

Количество ТП	1	2	3	5	10	20	21 и более
Коэффициент одновременности, k_o	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65

Коэффициенты мощности зависят от преобладающего вида нагрузки подстанций на рассматриваемом участке линии электропередачи, таблица 9.7.

Таблица 9.7 - Коэффициент мощности подстанций напряжением 10/0,4 кВ

Нагрузка	$\cos\varphi_d$	$\cos\varphi_b$
Производственная	0,7	0,75
Коммунально-бытовая	0,9	0,92
Смешанная	0,8	0,83

Нагрузки подстанций напряжением 10/0,4 кВ, вводимых в эксплуатацию для электроснабжения сельскохозяйственных объектов, определяются из типового проекта. На участках линий, где не предусматривается увеличение потребителей коэффициент роста принимается равным единицы.

Пример Определить расчетные нагрузки ВЛ 10 кВ. Дневные (в числителе) и вечерние (в знаменателе) активные и реактивные максимумы нагрузок ТП даны на рисунке 9.3. Расчет выполняется двумя методами.

РТП 35/10 кВ

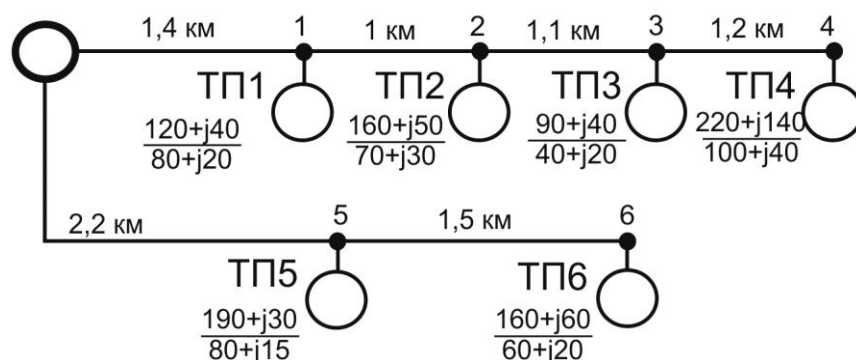


Рисунок 9.3 - Конфигурация ВЛ 10 кВ

Алгоритм решения

Метод использования коэффициента одновременности

Нагрузки на ТП отличаются друг относительно друга менее чем в четыре раза, поэтому расчет производится по методу коэффициентов одновременности для шести ТП, при этом коэффициент одновременности выбирается равным 0,79. Система электроснабжения разбивается на отдельные участки и для каждого из участков подсчитываются активная и реактивная мощности. Подсчет мощностей производится начиная с потребителей, подключенных к концу линии электропередачи.

Для участка ВЛ 4-3

$$\begin{aligned}P_{д\ 4-3} &= \kappa_o \sum P = \kappa_o (P_{д\ ТП3} + P_{д\ ТП4}) = 0,79 \cdot (220 + 90) = 244,9 \text{ кВт}; \\Q_{д\ 4-3} &= \kappa_o \sum Q = \kappa_o (Q_{д\ ТП3} + Q_{д\ ТП4}) = 0,79 \cdot (40 + 140) = 142,2 \text{ кВАр}; \\P_{в\ 4-3} &= \kappa_o \sum P = \kappa_o (P_{в\ ТП3} + P_{в\ ТП4}) = 0,79 \cdot (40 + 100) = 110,6 \text{ кВт}; \\Q_{в\ 4-3} &= \kappa_o \sum Q = \kappa_o (Q_{в\ ТП3} + Q_{в\ ТП4}) = 0,79 \cdot (20 + 40) = 47,4 \text{ кВАр}.\end{aligned}$$

Для участка ВЛ 3-2

$$\begin{aligned}P_{д\ 3-2} &= P_{д\ 4-3} + \kappa_o P_{д\ ТП2} = 244,9 + 0,79 \cdot 160 = 371,3 \text{ кВт}; \\Q_{д\ 3-2} &= Q_{д\ 4-3} + \kappa_o Q_{д\ ТП2} = 142,2 + 0,79 \cdot 50 = 181,7 \text{ кВАр}; \\P_{в\ 3-2} &= Q_{д\ 4-3} + \kappa_o P_{в\ ТП2} = 110,6 + 0,79 \cdot 70 = 165,9 \text{ кВт}; \\Q_{в\ 3-2} &= Q_{д\ 4-3} + \kappa_o Q_{в\ ТП2} = 47,4 + 0,79 \cdot 30 = 71,7 \text{ кВАр}.\end{aligned}$$

Для участка ВЛ 2-1

$$\begin{aligned}P_{д\ 2-1} &= P_{д\ 3-2} + \kappa_o P_{д\ ТП1} = 371,3 + 0,79 \cdot 120 = 466,1 \text{ кВт}; \\Q_{д\ 2-1} &= Q_{д\ 3-2} + \kappa_o Q_{д\ ТП1} = 181,7 + 0,79 \cdot 40 = 213,3 \text{ кВАр}; \\P_{в\ 2-1} &= Q_{д\ 3-2} + \kappa_o P_{в\ ТП1} = 165,9 + 0,79 \cdot 80 = 229,1 \text{ кВт}; \\Q_{в\ 2-1} &= Q_{д\ 3-2} + \kappa_o Q_{в\ ТП1} = 71,7 + 0,79 \cdot 20 = 87,5 \text{ кВАр}.\end{aligned}$$

Для участка ВЛ 6-5

$$\begin{aligned}P_{д\ 6-5} &= \kappa_o \sum P = \kappa_o (P_{д\ ТП6} + P_{д\ ТП5}) = 0,79 \cdot (160 + 190) = 244,9 \text{ кВт}; \\Q_{д\ 6-5} &= \kappa_o \sum Q = \kappa_o (Q_{д\ ТП6} + Q_{д\ ТП5}) = 0,79 \cdot (60 + 30) = 142,2 \text{ кВАр}; \\P_{в\ 6-5} &= \kappa_o \sum P = \kappa_o (P_{в\ ТП6} + P_{в\ ТП5}) = 0,79 \cdot (60 + 80) = 110,6 \text{ кВт}; \\Q_{в\ 6-5} &= \kappa_o \sum Q = \kappa_o (Q_{в\ ТП6} + Q_{в\ ТП5}) = 0,79 \cdot (20 + 15) = 47,4 \text{ кВАр}.\end{aligned}$$

Нагрузка на РТП

$$\begin{aligned}P_{д\ РТП} &= P_{д\ 2-1} + P_{д\ 6-5} = 466,1 + 244,9 = 711 \text{ кВт}; \\Q_{д\ РТП} &= Q_{д\ 2-1} + Q_{д\ 6-5} = 213,3 + 142,2 = 323,9 \text{ кВАр}; \\P_{в\ РТП} &= P_{в\ 2-1} + P_{в\ 6-5} = 229,1 + 110,6 = 339,7 \text{ кВт}; \\Q_{в\ РТП} &= Q_{в\ 2-1} + Q_{в\ 6-5} = 87,5 + 47,4 = 134,9 \text{ кВАр}.\end{aligned}$$

Метод надбавок

Рассмотрим промер расчета мощности трансформаторной подстанции для случая, когда нагрузки отличаются в 4 и более раз.

Если расчетные нагрузки отличаются по величине более чем в четыре раза, то их суммирование ведется методом надбавок.

Определить расчетные нагрузки ВЛ 10 кВ. Значения активных и реактивных дневных и вечерних максимумов нагрузок на ТП приведены в числителе и знаменателе (рисунке 9.4).

РТП 35/10 кВ

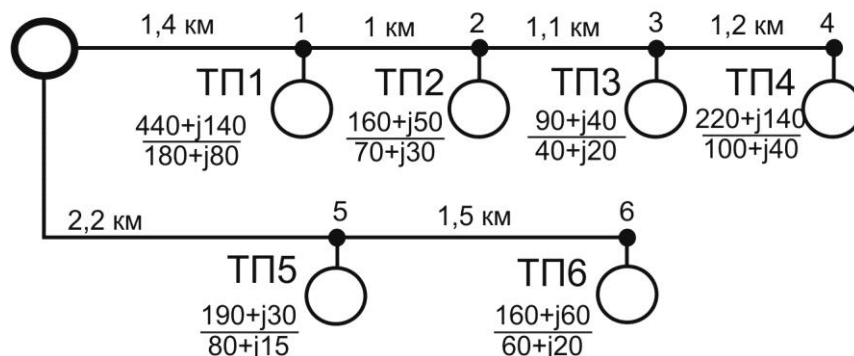


Рисунок 9.4 - Конфигурация ВЛ 10 кВ

Для участка ВЛ 4-3

$$P_{д\ 4-3} = P_{\max} + \Delta P = P_{д\ ТП4} + \Delta P_{д\ ТП3} = 220 + 67 = 287 \text{ кВт};$$

$$Q_{д\ 4-3} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{д\ ТП4} + \Delta Q_{д\ ТП3} = 140 + 28,4 = 168,4 \text{ кВАр};$$

$$P_{в\ 4-3} = P_{\max} + \Delta P = P_{в\ ТП4} + \Delta P_{в\ ТП3} = 100 + 28,4 = 128,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{в\ 4-3} = Q_{\max} + \Delta Q = Q_{в\ ТП4} + \Delta Q_{в\ ТП3} = 40 + 13 = 53 \text{ кВАр}.$$

Для участка ВЛ 3-2

$$P_{д\ 3-2} = P_{\max} + \Delta P = P_{д\ 4-3} + \Delta P_{д\ ТП2} = 287 + 123 = 410 \text{ кВт};$$

$$Q_{д\ 3-2} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{д\ 4-3} + \Delta Q_{д\ ТП2} = 168,4 + 36,5 =$$

204,9 кВАр;

$$P_{в\ 3-2} = P_{\max} + \Delta P = P_{в\ 4-3} + \Delta P_{в\ ТП2} = 128,4 + 52 = 180,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{в\ 3-2} = Q_{\max} + \Delta Q = Q_{в\ 4-3} + \Delta Q_{в\ ТП2} = 53 + 20,4 = 73,4 \text{ кВАр}.$$

Для участка ВЛ 2-1

$$P_{д\ 2-1} = P_{\max} + \Delta P = P_{д\ ТП1} + \Delta P_{д\ 3-2} = 440 + 323 = 763 \text{ кВт};$$

$$Q_{д\ 2-1} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{д\ 3-2} + \Delta Q_{д\ ТП1} = 204,9 + 106 =$$

310,9 кВАр;

$$P_{в\ 2-1} = P_{\max} + \Delta P = P_{в\ 3-2} + \Delta P_{в\ ТП1} = 180,4 + 139 = 319,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{в\ 2-1} = Q_{\max} + \Delta Q = Q_{в\ ТП1} + \Delta Q_{в\ 3-2} = 80 + 54 = 134 \text{ кВАр}.$$

Для участка ВЛ 6-5

$$P_{д\ 6-5} = P_{\max} + \Delta P = P_{д\ ТП5} + \Delta P_{д\ ТП6} = 190 + 123 = 313 \text{ кВт};$$

$$Q_{д\ 6-5} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{д\ ТП6} + \Delta Q_{д\ ТП5} = 60 + 20,4 = 80,4 \text{ кВАр};$$

$$P_{в\ 6-5} = P_{\max} + \Delta P = P_{в\ ТП5} + \Delta P_{в\ ТП6} = 80 + 44 = 124 \text{ кВт};$$

$$Q_{в\ 6-5} = Q_{\max} + \Delta Q = Q_{в\ ТП6} + \Delta Q_{в\ ТП5} = 20 + 9,7 = 29,7 \text{ кВАр}.$$

Нагрузка на РТП

$$P_{д\ ТП} = P_{\max} + \Delta P = P_{д\ 2-1} + \Delta P_{д\ 6-5} = 763 + 244 = 1007 \text{ кВт};$$

$$Q_{д\ ТП} = Q_{\max} + \Delta Q_i = Q_{д\ 2-1} + \Delta Q_{д\ 6-5} = 310,9 + 59,5 = 370,4 \text{ кВАр};$$

$$P_{в\ ТП} = P_{max} + \Delta P = P_{в\ 2-1} + \Delta P_{в\ 6-5} = 319,4 + 94 = 413,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{в\ ТП} = Q_{max} + \Delta Q = Q_{в\ 2-1} + \Delta Q_{в\ 6-5} = 134 + 20,4 = 154,4 \text{ кВАр}.$$

9.5 Выбор количества трансформаторов для сельскохозяйственных подстанций

На проектируемых подстанциях количество устанавливаемых трансформаторов зависит от обеспечения уровня надежности объектов сельскохозяйственного электроснабжения. Мощность и число трансформаторов понижающих подстанций определяется согласно расчетной мощности на шинах напряжения 0,4 кВ. Если ТП предназначено для обеспечения электрической энергией потребителей I и II категорий по надежности электроснабжения, то на подстанции устанавливают два трансформатора. Для электрического снабжения нагрузки, относящейся к III категории, обычно применяется одно-трансформаторная подстанция.

Количество трансформаторных подстанций в населенном пункте зависит от суммарной расчетной мощности бытовых и производственных потребителей, расположенных в административных границах территории.

В небольших и средних по размерам сельскохозяйственных поселках, крестьянско-фермерских хозяйствах и хуторах с преобладающей бытовой нагрузкой устанавливается одна или две ТП 10/0,4 кВ с мощностью трансформаторов до 63 кВА, а в более крупных с производственной нагрузкой до 250 кВА.

На двух трансформаторных подстанциях рекомендуется устанавливать трансформаторы одинаковой мощности. Мощность каждого трансформатора должна быть равной 65...70 % от мощности ТП на конец расчетного периода.

Для крупных сельскохозяйственных поселений с протяженностью улиц более 0,5 км число ТП определяется по формуле

$$N_{ТП} = P_{сум} \sqrt{\frac{B}{\Delta U P_o \cos \varphi}} \quad (9.12)$$

где $P_{сум}$ - суммарная расчетная активная мощность нагрузки, кВт;

ΔU - допустимые потери напряжения, В;

P_o - плотность нагрузки населенного пункта, кВт/км²;

B - постоянный коэффициент для ТП напряжением 10/0,4 кВ,

$B = 0,6...0,7$;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности на шинах напряжением 0,4 кВ трансформаторной подстанции.

Плотность нагрузки сельскохозяйственного объекта рассчитывается из уравнения

$$P_o = \frac{P_{\text{сум}}}{F}, \quad (9.13)$$

где F - площадь населенного пункта, км^2 .

Расчетная мощность трансформаторной подстанции с перспективой развития нагрузки вычисляется по формуле

$$S_{\text{расч}} = k_p S_{\text{max}}, \quad (9.14)$$

где k_p - коэффициент роста нагрузок;

S_{max} - максимальная потребляемая мощность нагрузки на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции, кВА.

Мощность масляных трансформаторов рекомендуется выбирать по экономическим интервалам нагрузки с учетом систематически допустимых перегрузок для того, чтобы выполнялось неравенство

$$S_{\text{э.н}} < S_{\text{расч}} \leq S_{\text{э.в}}, \quad (9.15)$$

где $S_{\text{э.н}}, S_{\text{э.в}}$ - нижняя и верхняя границы интервалов нагрузки для трансформаторов номинальной мощности, кВА;

$S_{\text{расч}}$ - расчетная нагрузка подстанции, кВА.

Выбранный трансформатор проверяется по коэффициенту систематических перегрузок

$$k_{\text{с.п}} = \frac{S_{\text{расч}}}{S_{\text{ном}}}, \quad (9.16)$$

где $S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА.

Мощность трансформаторных подстанций сельскохозяйственного назначения не превышает 630 кВА.

В сетях с применением резервирования мощность трансформатора выбирается исходя из неравенств

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{расч}}}{k_{\text{с.п}}}; \quad S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{расч}} + S_{\text{рез}}}{k_{\text{а.п}}}, \quad (9.17)$$

где $S_{\text{рез}}$ - полная нагрузка, резервируемая по сети 0,38 кВ, в кВА;

$k_{a.п}$ - коэффициент аварийной допустимой перегрузки подстанции,
 $k_{a.п} = 1,5 \dots 1,9$.

Если в системе электроснабжения 0,38 кВ не предусматривается резервирование нагрузки, то номинальная мощность трансформатора определяется по условию

$$S_{ном} \geq \frac{S_{расч}}{k_{с.п}}. \quad (9.18)$$

9.6 Выбор места для установки трансформаторной подстанции

Место для строительства распределительной трансформаторной подстанции (РТП) в соответствии с нормами технологического проектирования электрических сетей (НТПС) сельскохозяйственного назначения необходимо выбирать на ровной и малозаселенной местности, незатопляемой грунтовыми и паводковыми водами, в центре электрических нагрузок или вблизи от центра, по возможности рядом с населенным пунктом, автодорогой или железнодорожной станцией.

Компоновка оборудования подстанции должна обеспечивать простые и удобные подходы и выходы воздушных линий (ВЛ) всех напряжений с минимальным числом пересечений и использованием угловых опор. Необходимо организовать удобные подъезды передвижных средств и механизмов для транспортировки и ремонта оборудования, возможность дальнейшего расширения подстанции, если это предусмотрено схемой перспективного развития.

Для выбора места расположения ТП на плане населенного поселка в соответствии с масштабом карты выбирается начало координат и произвольно вычерчиваются координатные оси. Если в результате предварительных выполненных расчетов окажется, что центр нагрузок находится в местоположении, не удовлетворяющем требованиям НТПС, то площадку для строительства подстанции намечают в ближайшем от центра нагрузок пункте.

Трансформаторную подстанцию 10/0,4 кВ сооружают вблизи более крупных потребителей или в центре нагрузок в зависимости от категорийности подключаемых объектов по надежности электрического снабжения. При установке ТП в населенной местности рекомендуется коммунально-бытовые и производственные нагрузки присоединять к разным трансформаторным подстанциям.

Если существующий в сельском населенном пункте ландшафт не позволяет установить трансформаторную подстанцию в расчётном месте,

то её необходимо разместить на участке, который максимально приближен к центру электрических нагрузок.

Координаты центра электрических нагрузок находятся по формулам

$$x_p = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i x_i)}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad y_p = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i y_i)}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (9.19)$$

где S_i - полная расчетная мощность на вводе i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i - координаты i -го потребителя;

$\sum_{i=1}^n S_i$ - сумма мощностей на шинах ТП, кВА.

Зная мощность и место размещения трансформаторной подстанции определяются с количеством отходящих ВЛ и их трассировкой. В процессе проектирования ТП мощностью до 250 кВА рекомендуется определиться с направлениями прокладки трех отходящих линии электропередачи. Для трансформаторных подстанций с номинальной мощностью 250 кВА - четырех, а с трансформаторами большей мощности - пяти.

Для снижения электрических потерь рекомендуемый радиус магистрального участка сети воздушной линии 0,38 кВ не более 500 м. Длина отходящей линии 0,38 кВ с учетом отпаек должна быть менее 1,5 км.

Магистральные трасы линий проводятся по обеим сторонам дорог, а для подвода к зданиям опоры с проводами располагают на одной стороне проезжей части. Для каждой линии электропередачи, выполненной в наземном воздушном исполнении, составляется расчетная схема, на которой указываются виды потребителей с расчетными дневными и вечерними максимумами нагрузок, нумерация участков и их длина. Расчетные схемы разрешается вычерчивать без учета масштаба местности.

Пример. Найти центр электрических нагрузок для потребителей, представленных на рисунке 9.5.

Алгоритм решения

Установленные координаты потребителей низковольтной сети заносятся в таблицу 9.8.

Таблица 9.8 - Координаты потребителей низковольтной сети

X, м	80	240	420	130	340	240
У, м	130	150	80	320	360	440

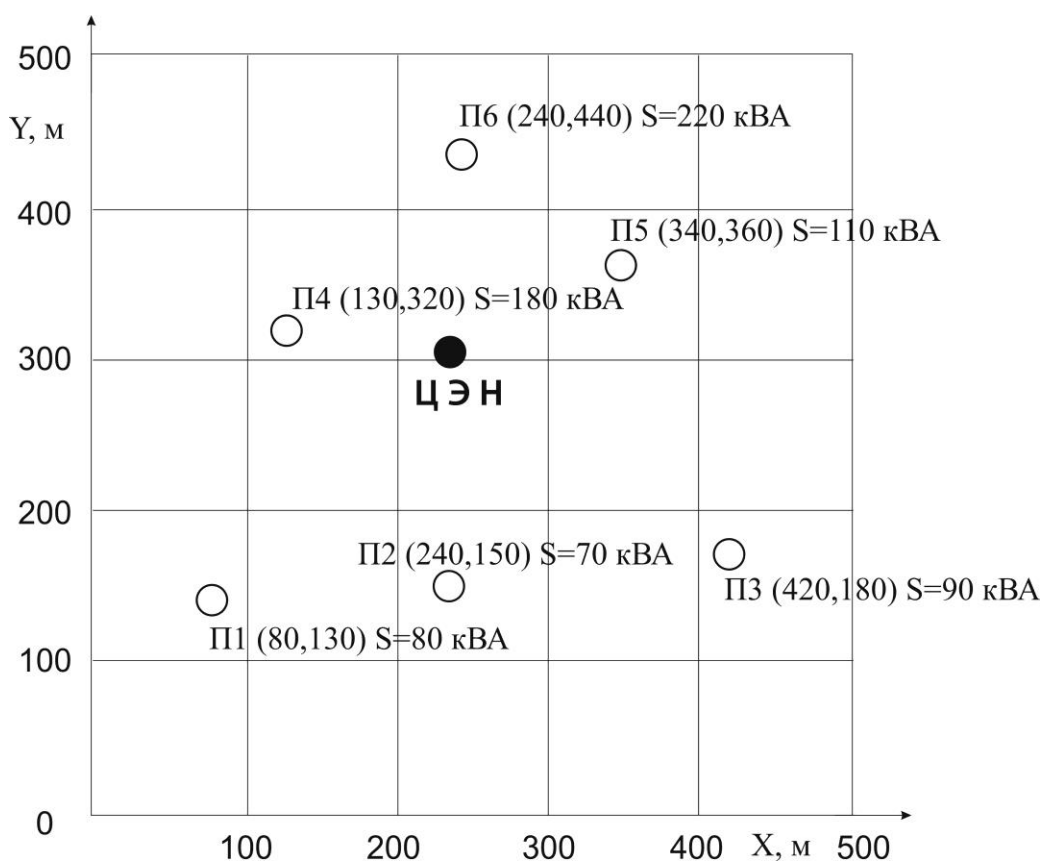


Рисунок 9.5 - Расположение потребителей

Расчет координат трансформаторной подстанции выполняется по формулам

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i x_i)}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{80 \cdot 80 + 70 \cdot 240 + 90 \cdot 420 + 180 \cdot 130 + 110 \cdot 340 + 220 \cdot 240}{80 + 70 + 90 + 180 + 110 + 220} = 235,2 \text{ м.}$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i y_i)}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{80 \cdot 130 + 70 \cdot 150 + 90 \cdot 180 + 180 \cdot 320 + 110 \cdot 360 + 220 \cdot 440}{80 + 70 + 90 + 180 + 110 + 220} = 308 \text{ м.}$$

В результате проведенного расчета установлено, что трансформаторную подстанцию следует установить в центре электрических нагрузок с координатами по оси абсцисс $x = 235$ м, а по оси ординат $y = 308$ м.

Нахождение центра электрических нагрузок для высоковольтной сети выполняется аналогичным образом.

9.7 Типы комплектных трансформаторных подстанций для сельского хозяйства

Для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей используются комплектные трансформаторные подстанции (КТП), в состав которых входят трансформаторы марки ТМ, рисунок 9.6.

К основным преимуществам КТП относятся: поставка на объект отдельными модулями укомплектованные аппаратурой управления и контроля, возможностью исполнения коммерческого учета по высокой стороне, применение в комплексе автоматизированных систем управления ТП, использование собственных схем АВР по высокой стороне, полная заводская готовность.

Промышленность выпускает несколько разновидностей КТП.

Комплектная трансформаторная подстанция наружной установки мачтового типа (КТПНМ) мощностью 25...250 кВА предназначена для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением 6(10)/0,4 кВ.

КТПНМ представляет собой однотрансформаторную подстанцию тупикового типа наружной установки и предназначена для снабжения электрической энергией промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных объектов в районах с умеренным климатом (диапазон температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

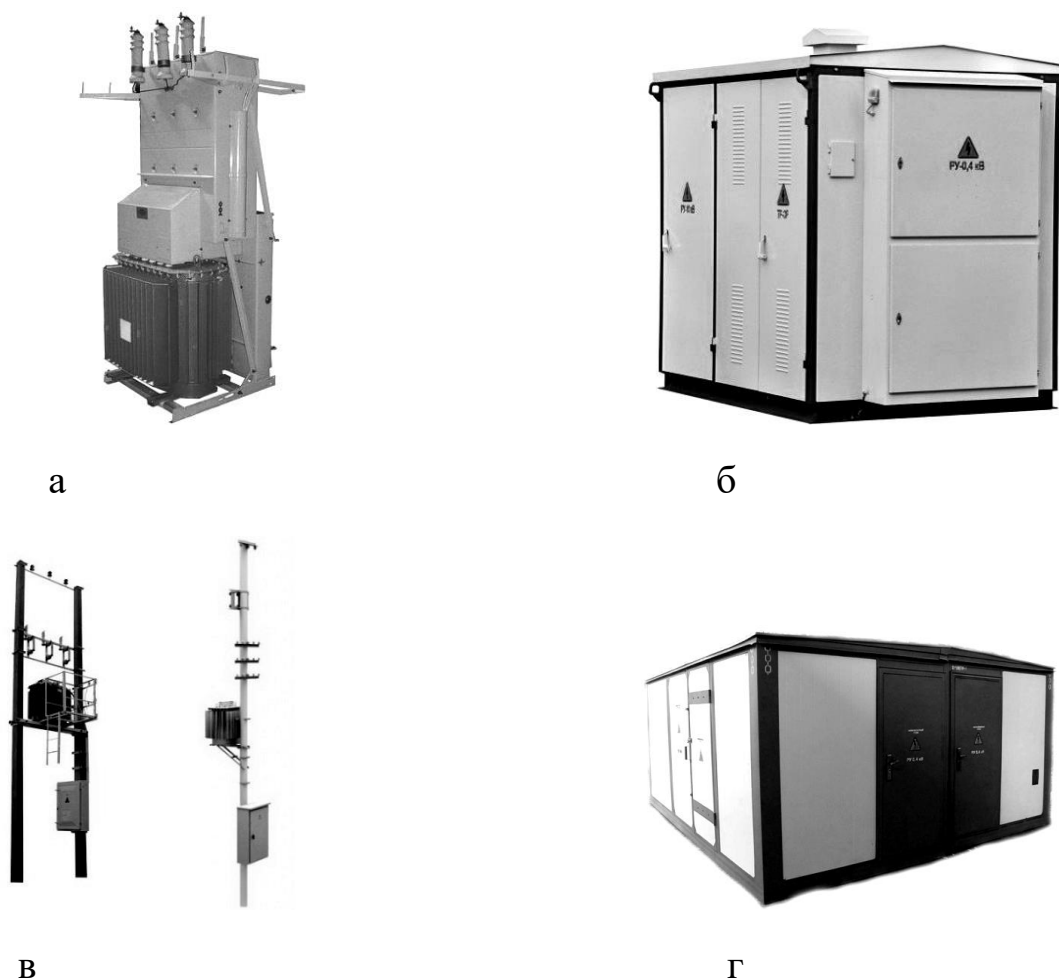


Рисунок 9.6 - Комплектные трансформаторные подстанции 10(6)/0,4 кВ:
а - мачтовые; б - киосковые; в - столбовые; г - блочно-модульные

Трансформаторная подстанция КТПНМ имеет следующие составные части: отсек со стороны высокого напряжения - РУВН, помещение для силового трансформатора, часть специального помещения для распределительного устройства со стороны низкого напряжения - РУНН, с коммутационными устройствами на отходящих линиях и линией уличного освещения.

КТПНМ подразделяются на подстанции с открытой и с закрытой установкой силового трансформатора. Отсеки РУВН, РУНН и силовой трансформатор расположены на общей станине, имеющей монтажное основание для установки трансформаторной подстанции. Конструктивно отсеки УВН и РУНН представляют собой шкафы с размещенной в них аппаратурой.

КТПНМ изготавливается с воздушным вводом и подключается к сети через разъединитель РЛНД, который поставляется согласно заявке и устанавливается на ближайшей опоре ЛЭП. В трансформаторной подстанции может быть предусмотрен учет активной и реактивной электрической энергии. В КТПНМ имеются электрические и механические блокировки, обеспечивающие безопасную работу обслуживающего персонала.

Комплектная трансформаторная подстанция наружной установки киоскового типа (КТПНК) мощностью 25...1000 кВА предназначена для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением 6 (10) / 0,4 кВ.

КТПНК производятся в тупиковом и в проходном исполнении с вводом со стороны высокого напряжения, воздушным или кабельным, и выходом со стороны низкого напряжения, воздушным или кабельным, а также в однотрансформаторном или двухтрансформаторном исполнении.

КТПНК применяются в системе электроснабжения промышленных предприятий, коттеджных поселках, объектах народного хозяйства. КТПНК представляет собой металлический корпус, выполненный из листовой стали толщиной 1,5...2,5 мм. Имеет двери с каждой стороны. Внутри помещения располагается три блока: блок распределительного устройства высокого напряжения - РУВН, блок силового трансформатора, блок распределительного устройства низкого напряжения - РУНН.

Напряжение на РУВН подается через выключатель нагрузки или разъединитель и предохранители на выводы силового трансформатора. Пониженное напряжение 0,4 кВ подается через рубильник или автоматический выключатель на сборные шины.

На панели РУНН расположены: вводной рубильник, трансформаторы тока, сборные шины, к которым присоединены коммутационные устройства отходящих линий, аппаратура защиты, учета и управления наружным освещением.

Учет расхода электроэнергии производится на шинах 0,4 кВ. Панель управления уличным освещением работает автоматически по сигналу встроенного фотореле.

Двухтрансформаторные подстанции представляют собой блок одиночных киосков, связь между которыми обеспечивается при помощи шинных переходов.

Комплектная трансформаторная подстанция наружной установки столбового типа (КТПНС) мощностью 25....250 кВА предназначена для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением 6(10)/0,4 кВ.

КТПНС представляет собой однострансформаторную подстанцию тупикового типа наружной установки и предназначена для снабжения электрической энергией промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных объектов в районах с умеренным климатом (диапазон температур от -40 °С до +40 °С).

Трансформаторная подстанция КТПНС имеет следующие составные части: открыто расположенное оборудование для приема высокого напряжения - приемные изоляторы, вентильные разрядники и блок плавких вставок, силовой трансформатор, отсек распределительного устройства со стороны низкого напряжения - РУНН, с коммутационными устройствами на отходящих линиях и линией уличного освещения.

Основанием КТПНС является одна или две стойки СВ-110. Оборудование ВН расположено на стальных траверсах, крепящихся к стойкам. Силовой трансформатор расположен на стальной раме, закрепленной ниже траверс для оборудования ВН. Отсек РУНН установлен на стойке. Конструктивно отсек РУНН представляет собой шкаф с размещенной в нём аппаратурой.

КТПНС изготавливается с воздушным вводом и подключается к сети через разъединитель РЛНД, который поставляется согласно заявке и устанавливается на ближайшей опоре ЛЭП.

В трансформаторной подстанции может быть предусмотрен учет активной и реактивной электрической энергии. В КТПНС имеются электрические и механические блокировки, обеспечивающие безопасную работу обслуживающего персонала.

Утепленные блочно-модульные комплектные трансформаторные подстанции наружной установки БМКТП-10(6)/0,4

кВ мощностью 250...4000 кВА предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 10(6)/0,4 кВ.

БМКТП применяются для электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных объектов в районах с умеренным климатом (диапазон температур от -60 °С до +50 °С).

Конструктивно блок-контейнер подстанции представляет собой каркасную сварную конструкцию, которая обшита двойными панелями толщиной 50...150 мм. Утеплителем служит плита из базальтового волокна. Основания блок-контейнеров изготавливаются в виде жесткой пространственной рамы и закрыты снизу стальными листами толщиной 1,5...2 мм. Пол выполнен из рифленой стали и изолирован базальтовым утеплителем. Блоки поставляются на объект в собранном виде с установленным в них оборудованием.

Корпус подстанции разделен на три главных части: отсек распределительного устройства высокого напряжения - РУВН, помещения для силовых трансформаторов, бокса для распределительного устройства низкого напряжения - РУНН.

Распределительное устройство высокого напряжения может быть реализовано как на ячейках КСО 300-й серии с выключателем нагрузки ВНА-10/630 или ВНР-10/400, так и на ячейках КСО 200-й серии с вакуумным выключателем ВВ/TEL или ВВП.

Распределительное устройство низкого напряжения реализовано в стандартном исполнении на панелях ЩО70. В отсеке РУНН устанавливается шкаф собственных нужд, в котором установлено питание внутреннего освещения подстанции и обогрева отсеков.

Подстанция комплектуется электроконвекторами мощностью 1 кВт, которые предназначены для предотвращения появления конденсата на токоведущих частях и корпусах оборудования в зимнее время года. Обогрев подстанции работает в ручном и автоматическом режимах. Для вентиляции и охлаждения силовых трансформаторов БМКТП на воротах трансформаторных отсеков имеются жалюзи, исключающие попадание дождя, снега и пуха в блок подстанции.

Комплектные трансформаторные подстанции в бетонном корпусе (БКТП) мощностью 400...4000 кВА предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 10(6)/0,4 кВ.

БКТП предназначены для электроснабжения промышленных предприятий, жилищно-коммунальных объектов, а также коттеджных поселков сельского типа и зон индивидуальной застройки.

Подстанции поставляются в виде блоков как однотрансформаторного, так и двухтрансформаторного исполнения. Конструктивно подстанция типа БКТП представляет собой бетонный корпус, состоящий из: блока распределительного устройства низкого напряжения - РУНН, отсека распределительного устройства высокого напряжения - РУВН, комнаты силовых трансформаторов.

Распределительное устройство высокого напряжения может быть реализовано как на ячейках КСО 300-й серии с выключателем нагрузки ВНА-10/630 или ВНР-10/400, так и на ячейках КСО 200-й серии с вакуумным выключателем ВВ/TEL или ВБП.

В блоке силовых трансформаторов предусмотрена вентиляция, которая осуществляется через жалюзийные решетки, установленные в воротах. Распределительное устройство со стороны низкого напряжения реализовано на щитах ЩРНН или на панелях ЩО-70 как с устройством АВР, так и без него.

10 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

10.1 Методы расчета токов короткого замыкания

Токи короткого замыкания рассчитываются в высоковольтных и низковольтных сетях для правильного выбора аппаратуры, уставок срабатывания защит, токопроводов, изоляторов, кабелей, настройки релейной защиты, определения сечения токоведущих частей заземляющих устройств, выбора разрядников и проверки элементов электроустановок на электродинамическую и термическую устойчивость.

Для расчета токов КЗ используют один из двух методов: метод именованных единиц - когда все параметры схемы замещения выражаются в единицах измерения, принятых по единому международному стандарту (например, омах, амперах, вольтах и т.д.) и метод относительных единиц - в этом случае элементы схемы выражаются в долях или процентах от величины, принятой за базисное значение.

Первый метод применяется для расчетов токов КЗ простых низковольтных схем электроснабжения 0,4 кВ с небольшим количеством ступеней трансформации напряжения. Второй используют для высоковольтных систем электрического снабжения с целью определения токов КЗ в сложных разветвленных сетях с большим числом ступеней трансформации напряжения.

Когда расчет выполняется в именованных единицах, то для нахождения токов КЗ следует привести все электрические величины к напряжению ступени, на которой произошло короткое замыкание.

Если расчет осуществляется в относительных единицах, то за основу берется базисная мощность в размере 100 МВА и линейный ряд средних напряжений, относящихся к той ступени, на которой произошло КЗ ($U_{\text{ср}} = 0,23; 0,4; 0,525; 0,69; 3,15; 6,3; 10,5; 21; 37; 115; 230$ кВ). За среднее напряжение принимается напряжение, равное $U_{\text{ср}} = 1,05U_{\text{ном}}$.

Токи короткого замыкания определяются в следующем порядке. Составляется однолинейная расчетная схема участка цепи электроснабжения с обозначением точек с КЗ, а на её основе электрическая схема замещения с графическим и буквенным обозначением элементов. По известным формулам определяются числовые параметры всех элементов - активные и реактивные сопротивления линий и ТП. Затем схема замещения преобразуется так чтобы источник питания был напрямую связан с точкой короткого замыкания через суммарное (результатирующее) сопротивление и в дальнейшем переходят к вычислению тока КЗ для выбранных точек.

10.2 Расчет токов короткого замыкания методом относительных единиц

Ток короткого замыкания в относительных единицах рассчитывается по формуле

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}, \quad (10.1)$$

где S_6 - базисная мощность, МВА;

U_6 - базисное напряжение в точке КЗ, кВ.

Базисное индуктивное сопротивление схемы замещения в относительных единицах находится по уравнениям

$$X_{б.с}^* = \frac{S_6}{S_{к.з}} \quad \text{или} \quad X_{б.с}^* = \frac{I_6}{I_{к.з}}, \quad (10.2)$$

где $S_{к.з}$ - мощность КЗ на шинах подстанции, МВА;

I_6 - базисный ток, кА;

$I_{к.з}$ - ток КЗ в рассматриваемой точке, кА.

Относительное базисное сопротивление генератора

$$X_{б.г}^* = X_{г}^* \frac{S_6}{S_{ном.г}}, \quad (10.3)$$

где $X_{г}^*$ - сверхпереходное продольное реактивное сопротивление генератора в относительных единицах, указываемое заводом изготовителем;

$S_{ном.г}$ - номинальная мощность генератора, МВА.

Сопротивление в относительных единицах для трансформаторов номинальной мощности свыше 1000 кВА с учетом, что $U_{к}^* \approx X_{т}^*$, рассчитывается

$$X_{б.т}^* = U_{к}^* \frac{S_6}{S_{ном.т}}, \quad (10.4)$$

где $U_{к}^*$ - относительное напряжение КЗ трансформатора, $U_{к}^* = \frac{U_{к}}{100}$;

$U_{к}$ - напряжение КЗ трансформатора, %.

Для линий электропередачи напряжением менее 1 кВ в процессе расчета токов КЗ учитываются не только индуктивные, но и активные сопротивления.

Для трансформаторов мощностью менее 630 кВА активное сопротивление определяется

$$R_{б.т} = \Delta P_m \frac{S_6}{S_{ном.т}^2}, \quad (10.5)$$

где ΔP_m - потери в обмотках трансформатора (потери в меди), кВт.

Индуктивное и активное сопротивления линии электропередачи, в относительных единицах приведенные к базисной мощности

$$X_{б.л}^* = X_0 l \frac{S_6}{U_6^2}; \quad R_{б.л}^* = R_0 l \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (10.6)$$

где X_0 - реактивное удельное сопротивление линии длиной 1 км, Ом/км;

R_0 - активное удельное сопротивление линии длиной 1 км, Ом/км, таблица 10.1.

Реактивные удельные сопротивления (X_0) воздушных линий с проводами из цветных металлов для различных напряжений питания: 35...220 кВ - 0,4 Ом/км; 3...10 кВ - 0,38 Ом/км; до 1 кВ - 0,35 Ом/км. Для кабельных линий электропередачи: 6...10 кВ - 0,08 Ом/км; до 1 кВ - 0,06 Ом/км.

Таблица 10.1 - Удельные активные сопротивления линии электропередачи

Площадь сечения провода, мм ²	Усредненное линейное активное (R_0) сопротивление, Ом/км		Допустимый ток в продолжительном режиме, А	
	Алюминиевый провод	Сталеалюминиевый провод	Алюминиевый провод	Сталеалюминиевый провод
16	1,84	1,8	105	111
25	1,16	1,18	136	142
35	0,85	0,79	170	175
50	0,59	0,6	215	210
70	0,42	0,43	265	265
95	0,31	0,31	320	330
120	0,25	0,25	375	390

Суммарное или результирующее сопротивление до расчетной точки КЗ в относительных единицах находится как

$$Z_{б.рез}^* = \sqrt{X_{б.рез}^{*2} + R_{б.рез}^{*2}}, \quad (10.7)$$

где $X_{б.рез}^*$ - результирующее индуктивное сопротивление всех элементов схемы замещения до точки КЗ в относительных единицах;

$R_{б.рез}^*$ - результирующее активное сопротивление всех элементов схемы замещения до точки КЗ в относительных единицах.

Действующее значение периодической составляющей тока трехфазной сети

$$I_K = \frac{I_б}{Z_{б.рез}^*}. \quad (10.8)$$

Значение ударного тока рассчитывается по уравнению

$$i_y = \sqrt{2}k_y I_K, \quad (10.9)$$

где k_y - коэффициент пропорциональности, $k_y = 1 \dots 1,8$.

Действующая величина полного тока режима КЗ

$$I_y = (1 \dots 1,52)I_K. \quad (10.10)$$

Полная мощность в точке короткого замыкания

$$S_K = \sqrt{3}UI_K. \quad (10.11)$$

Ток двухфазного короткого замыкания для удаленной точки КЗ от генератора

$$I_K^2 = 0,87I_K. \quad (10.12)$$

Ток однофазного короткого замыкания определяется по формуле

$$I_K^1 = \frac{U_\phi}{Z_c + Z_\Pi + 0,33Z_{тр}}, \quad (10.13)$$

где U_ϕ - фазное напряжение сети, В;

Z_c - полное сопротивление системы электроснабжения, Ом;

Z_Π - полное сопротивление петли «фаза-нуль», Ом;

$Z_{тр}$ - полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ, Ом.

Сопротивление трансформатора в режиме однофазного короткого замыкания

$$Z_{\pi} = \sqrt{[(R_{0ф} + R_{0н})]^2 + (2X_0 l)^2}, \quad (10.14)$$

где $R_{0ф}$, $R_{0н}$ - удельные активные сопротивления фазного и нулевого проводов до точки КЗ, Ом/км;

l - длина линии электропередачи до точки КЗ, км;

X_0 - удельное реактивное сопротивление провода до точки КЗ, Ом/км.

Пример. Определить мощность и ток трех- и двухфазного короткого замыкания на шинах трансформаторных подстанций в системе электроснабжения состоящий из воздушной линии напряжением 35 кВ, длиной 15 км, выполненной сталеалюминиевым проводом марки АС-50 и линии напряжением 10 кВ, длиной 10 км, изготовленной из сталеалюминиевого провода марки АС-25. Номинальная мощность трансформаторов $S_{ном.Т1} = 630$ кВА, $S_{ном.Т2} = 100$ кВА. Напряжение КЗ трансформаторов $U_{к1} = 6,5\%$, $U_{к2} = 4,5\%$. Мощность КЗ на шинах первой подстанции Т1 - $S_{к.ш} = 30$ МВА. Базисная мощность принимается равной $S_б = 100$ МВА. Расчет для высоковольтной сети ведется в относительных единицах. Расчетная схема и схема замещения представлены на рисунке 10.1.

Алгоритм расчета

Реактивное сопротивление системы электроснабжения

$$X_c = \frac{S_б}{S_{к.ш}} = \frac{100}{30} = 3,3.$$

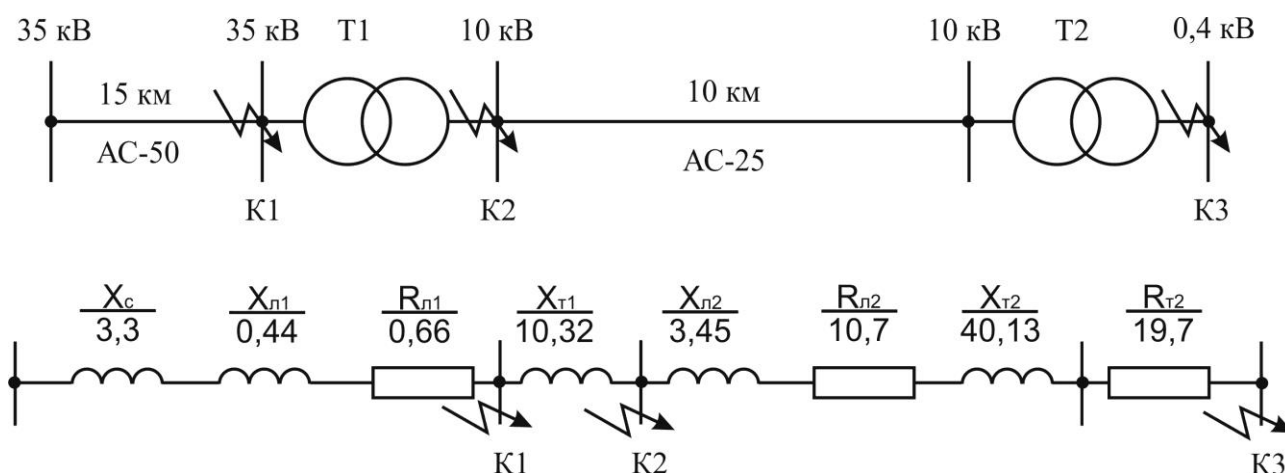


Рисунок 10.1 - Расчетная схема (а) и схема замещения (б)

Определение реактивного сопротивления линии 35 кВ

$$X_{\text{б.л1}}^* = X_0 l_1 \frac{S_6}{U_{\text{б1}}^2} = 0,4 \cdot 15 \frac{100}{37^2} = 0,44.$$

Нахождение активного сопротивления линии 35 кВ

$$R_{\text{б.л1}}^* = R_0 l_1 \frac{S_6}{U_{\text{б1}}^2} = 0,6 \cdot 15 \frac{100}{37^2} = 0,66.$$

Вычисление реактивного сопротивления трансформатора Т1 напряжением 35/10 кВ

$$X_{\text{б.т1}}^* = U_{\text{к1}} \frac{S_6}{100 S_{\text{ном.т1}}} = 6,5 \frac{100}{100 \cdot 0,63} = 10,32.$$

Расчет реактивного и активного сопротивлений линии 10 кВ

$$X_{\text{б.л2}}^* = X_0 l_2 \frac{S_6}{U_{\text{б2}}^2} = 0,38 \cdot 10 \frac{100}{10,5^2} = 3,45;$$

$$R_{\text{б.л2}}^* = R_0 l_2 \frac{S_6}{U_{\text{б2}}^2} = 1,18 \cdot 10 \frac{100}{10,5^2} = 10,70.$$

Сопротивления трансформатора Т2 напряжением 10/0,4 кВ

$$R_{\text{б.т2}}^* = \Delta P_{\text{м2}} \frac{S_6}{S_{\text{ном.т2}}^2} = 1,97 \cdot 100 \frac{10^3}{100^2} = 19,7;$$

$$X_{\text{б.т2}}^* = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{к2}}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\text{м2}}}{S_{\text{ном.т2}}}\right)^2} \frac{S_6}{S_{\text{ном.т2}}} = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{1,97}{100}\right)^2} \frac{100 \cdot 10^3}{100} = 40,13.$$

Результирующие активное и реактивное сопротивления до точки К1

$$R_{\text{б.рез1}}^* = R_{\text{б.л1}}^* = 0,66.$$

$$\sum X_{\text{б.рез1}}^* = X_{\text{с}}^* + X_{\text{б.л1}}^* = 3,3 + 0,44 = 3,74.$$

Суммарное сопротивление линии электропередачи до первой точки КЗ

$$Z_{\text{б.рез1}}^* = \sqrt{\left(\sum X_{\text{б.рез1}}^*\right)^2 + \left(R_{\text{б.рез1}}^*\right)^2} = \sqrt{3,74^2 + 0,66^2} = 3,8.$$

Активное и реактивное сопротивления, определяемые до точки К2

$$R^*_{\text{б.рез2}} = R^2_{\text{б.рез1}} = 0,66.$$

$$\sum X^*_{\text{б.рез2}} = \sum X^*_{\text{б.рез1}} + X^*_{\text{б.т1}} = 3,74 + 10,32 = 14,06.$$

Полное сопротивление системы электропередачи до точки К2

$$Z^*_{\text{б.рез2}} = \sqrt{\left(\sum X^*_{\text{б.рез2}}\right)^2 + \left(R^*_{\text{б.рез2}}\right)^2} = \sqrt{14,06^2 + 0,66^2} = 14,08.$$

Суммарные реактивное и активное сопротивления до точки К3

$$\sum R^*_{\text{б.рез3}} = R^*_{\text{б.рез2}} + R^*_{\text{б.л2}} + R^*_{\text{б.т2}} = 0,66 + 10,7 + 19,7 = 31,06;$$

$$\sum X^*_{\text{б.рез3}} = \sum X^*_{\text{б.рез2}} + X^*_{\text{б.л2}} + X^*_{\text{б.т2}} = 3,84 + 3,45 + 40,13 = 47,42.$$

Результирующее сопротивление до точки К3

$$Z^*_{\text{б.рез3}} = \sqrt{\left(\sum X^*_{\text{б.рез3}}\right)^2 + \left(R^*_{\text{б.рез3}}\right)^2} = \sqrt{47,42^2 + 31,06^2} = 56,69.$$

Базисные токи рассчитываются для каждой точки короткого замыкания.

Для точки К1

$$I_{\text{б1}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3}U_{\text{б.1}}} = \frac{100}{1,73 \cdot 37} = 1,56 \text{ кА.}$$

Для точки К2

$$I_{\text{б2}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3}U_{\text{б.2}}} = \frac{100}{1,73 \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

Для точки К3

$$I_{\text{б3}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3}U_{\text{б.3}}} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,5 \text{ кА.}$$

Определяются трехфазные токи КЗ для каждой точки.

Точка К1.

Действующее значение периодической составляющей тока

$$I_{K1} = \frac{I_{61}}{Z_{6,рез1}^*} = \frac{1,56}{3,8} = 0,41 \text{ кА.}$$

Действующее значение установившегося тока КЗ

$$I_{\infty 1} = I_{K1} = 0,41 \text{ кА.}$$

Амплитудное значение тока на шинах напряжением 35 кВ

$$i_y = 2,55 I_{K1} = 2,55 \cdot 0,41 = 1,05 \text{ кА.}$$

Действующее значение полного тока КЗ на шинах напряжением 35 кВ

$$I_{y1} = 1,52 I_{K1} = 1,52 \cdot 0,41 = 0,62 \text{ кА.}$$

Точка К2.

Действующее значение периодической составляющей тока

$$I_{K2} = \frac{I_{62}}{Z_{6,рез2}^*} = \frac{5,5}{14,08} = 0,39 \text{ кА.}$$

Действующее значение установившегося тока КЗ

$$I_{\infty 2} = I_{K2} = 0,39 \text{ кА.}$$

Амплитудное значение тока на шинах напряжением 10 кВ

$$i_y = 2,55 I_{K2} = 2,55 \cdot 0,39 = 0,99 \text{ кА.}$$

Действующее значение полного тока КЗ на шинах напряжением 10 кВ

$$I_{y2} = 1,52 I_{K2} = 1,52 \cdot 0,39 = 0,59 \text{ кА.}$$

Точка К3.

Действующее значение периодической составляющей тока

$$I_{K3} = \frac{I_{63}}{Z_{6,рез3}^*} = \frac{144,5}{56,69} = 2,55 \text{ кА.}$$

Действующее значение установившегося тока КЗ

$$I_{\infty 3} = I_{K3} = 2,55 \text{ кА.}$$

Амплитудное значение тока на шинах напряжением 0,4 кВ

$$i_y = 2,55 I_{K3} = 2,55 \cdot 2,55 = 6,5 \text{ кА.}$$

Действующее значение полного тока КЗ на шинах напряжением 0,4 кВ

$$I_{y3} = 1,52I_{к3} = 1,52 \cdot 2,55 = 3,9 \text{ кА.}$$

Двухфазные токи короткого замыкания для каждой точки КЗ:

для точки К1 $I_{к1}^{(2)} = 0,87I_{к1} = 0,87 \cdot 0,41 = 0,36 \text{ кА;}$

для точки К2 $I_{к2}^{(2)} = 0,87I_{к2} = 0,87 \cdot 0,39 = 0,34 \text{ кА;}$

для точки К3 $I_{к3}^{(2)} = 0,87I_{к3} = 0,87 \cdot 2,55 = 2,22 \text{ кА.}$

Мощность трехфазного короткого замыкания для каждой точки КЗ:

в точке К1 $S_{к1} = \sqrt{3}I_{к1}U_1 = 1,73 \cdot 0,41 \cdot 35 = 24,83 \text{ МВА;}$

в точке К2 $S_{к2} = \sqrt{3}I_{к2}U_2 = 1,73 \cdot 0,39 \cdot 10 = 6,75 \text{ МВА;}$

в точке К3 $S_{к3} = \sqrt{3}I_{к3}U_3 = 1,73 \cdot 2,55 \cdot 0,38 = 1,68 \text{ МВА.}$

10.3 Расчет токов короткого замыкания методом именованных величин

Метод применяется для расчета токов КЗ в схемах с одной ступенью напряжения и в сетях напряжением 380/220 В. Расчет ведется на шинах 0,4 кВ и на концах каждой отходящей линии. В процессе расчета учитываются активные и реактивные сопротивления основных элементов схемы замещения - силовых трансформаторов, линий электропередачи и сопротивления коммутационных элементов - автоматических выключателей, переключателей, рубильников и т.д. Если отсутствуют достоверные данные о величинах сопротивлений поверхностей контактных соединений, то их значения принимаются в пределах 0,02...0,03 Ом при КЗ на шинах напряжением 0,4 кВ трансформаторной подстанции. Напряжение, подводимое к ТП, считается постоянным и равным номинальному значению.

Линии электропередачи напряжением 380/220 В выполняются с глухозаземленной нейтралью, поэтому токи рассчитываются для трех-, двух- и однофазных коротких замыканий.

Расчет токов в низковольтных сетях начинается с составления расчетной схемы и схемы замещения для выбранного участка сети с понижающей трансформаторной подстанцией 10/0,4 кВ. На расчетной схеме отмечаются токи КЗ и указываются числовые значения элементов.

Активное сопротивление трансформатора рассчитывается по уравнению

$$R_T = \frac{\Delta P_M U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.Т}}^2}, \quad (10.15)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение трансформатора, кВ.

Реактивное сопротивление трансформатора

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad (10.16)$$

где Z_T - полное сопротивление трансформатора, мОм.

Полное сопротивление трансформатора определяется по формуле

$$Z_T = \frac{U_K U_{\text{ном}}^2}{100 S_{\text{ном.Т}}}.$$

При расчете КЗ на шинах ТП напряжением 0,4 кВ сопротивлением системы и питающей линии можно пренебречь, поскольку его значение стремится к нулю.

Для линии электропередачи напряжением 0,38 кВ активное, реактивное и полное сопротивление находятся из уравнений

$$R_L = R_0 l; \quad X_L = X_0 l; \quad Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad (10.17)$$

Результирующее сопротивление до точек КЗ:

- до точки К1

$$Z_{\text{рез1}} = Z_c + Z_T + Z_a, \quad (10.18)$$

где Z_c - полное сопротивление системы, $Z_c = 0$;

Z_a - полное сопротивление контактов, Ом;

- до точки К2

$$Z_{\text{рез2}} = \sqrt{\left(\sum X_{\text{рез2}}\right)^2 + \left(\sum R_{\text{рез2}}\right)^2};$$
$$\sum X_{\text{рез2}} = X_T + X_L; \quad \sum R_{\text{рез2}} = R_T + R_L. \quad (10.19)$$

Трехфазные токи КЗ в точке К1

$$I_{\text{к1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} Z_{\text{рез1}}}; \quad i_{y1} = 1,4 I_{\text{к1}}; \quad I_{y1} = I_{\text{к1}}. \quad (10.20)$$

Токи КЗ в конце линии напряжением 0,38 кВ.

Трехфазные токи в точке К2

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}Z_{\text{рез2}}}; \quad i_{y2} = 1,4I_{K2}; \quad I_{y2} = I_{K2}. \quad (10.21)$$

Ток однофазного КЗ

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{1,05U_{\phi}}{Z_c + Z_{\Pi} + \frac{Z_{\text{тр}}}{3}}. \quad (10.22)$$

Полное сопротивление линии определяется по формуле

$$Z_{\Pi} = \sqrt{[(R_{0\phi} + R_{0\Pi})l]^2 + [(2X_0l)]^2}. \quad (10.23)$$

Пример. Рассчитать токи КЗ на шинах трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ в точке К1 и на конце линии электропередачи напряжением 0,38 кВ в точке К2. Линия выполнена сталеалюминевым проводом сечением АС-35, длина линии $l = 500$ м. Номинальная мощность трансформатора $S_{\text{НОМ.Т}} = 160$ кВА, напряжение короткого замыкания $U_k = 4,5\%$, потери мощности $\Delta P_M = 2,65$ кВт. Сопротивление контактов коммутационной аппаратуры $Z_a = 0,02$ Ом. Схемы расчетная и замещения представлены на рисунке 10.2.

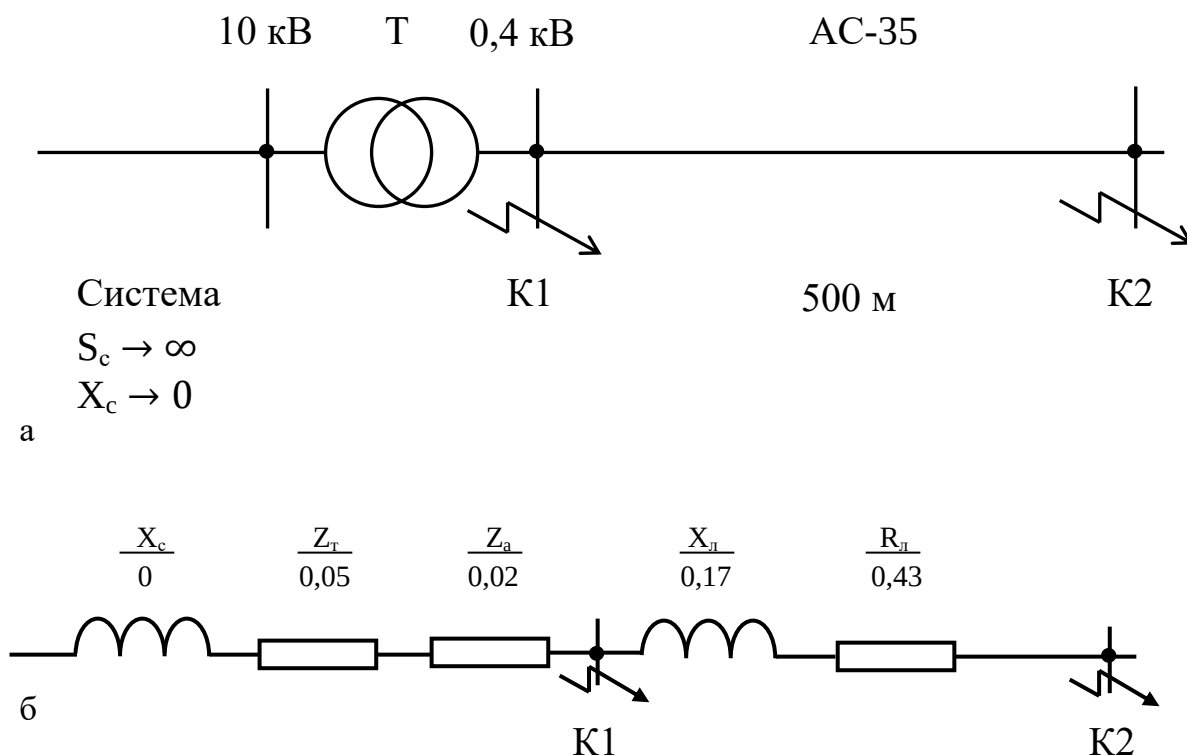


Рисунок 10.2 - Расчетная (а) схема и схема замещения (б)

Алгоритм расчета

Активное сопротивление трансформатора рассчитывается

$$R_T = \frac{\Delta P_M U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном.т}}^2} = \frac{2,65 \cdot 0,4^2 \cdot 10^3}{160^2} = 0,02 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление трансформатора определяется из уравнения

$$Z_T = \frac{U_K U_{\text{ном}}^2}{100 S_{\text{ном.т}}} = \frac{4,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 160} = 0,05 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление трансформатора вычисляется по формуле

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{0,05^2 - 0,02^2} = 0,05 \text{ Ом.}$$

Трехфазный ток КЗ в точке К1

$$I_{\text{к1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}(Z_c + Z_T + Z_a)} = \frac{400 \cdot 10^{-3}}{1,73(0 + 0,05 + 0,02)} = 3,33 \text{ кА.}$$

Реактивное и активное сопротивления линии 0,38 кВ

$$\begin{aligned} X_{\text{л1}} &= X_0 l = 0,35 \cdot 0,5 = 0,17 \text{ Ом;} \\ R_{\text{л1}} &= R_0 l = 0,85 \cdot 0,5 = 0,43 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Результирующее сопротивление линии электропередачи

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{(\sum X)^2 + (\sum R)^2} = \sqrt{0,17^2 + 0,43^2} = 0,46 \text{ Ом.}$$

Трехфазный ток КЗ в точке К2

$$I_{\text{к2}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}(Z_c + Z_T + Z_{\text{л}})} = \frac{400 \cdot 10^{-3}}{1,73(0 + 0,05 + 0,46)} = 0,45 \text{ кА.}$$

Двухфазный ток короткого замыкания в точке К2

$$I_{\text{к2}}^{(2)} = 0,87 I_{\text{к2}}^{(3)} = 0,87 \cdot 0,45 = 0,39 \text{ кА.}$$

Однофазный ток короткого замыкания в точке К3

$$\begin{aligned} I_{\text{к2}}^{(1)} &= \frac{1,05 U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + \sqrt{[2(R_{\text{л}})]^2 + [2(X_{\text{л}})]^2}} = \\ &= \frac{1,05 \cdot 220 \cdot 10^{-3}}{0,16 + \sqrt{(2 \cdot 0,43)^2 + (2 \cdot 0,17)^2}} = 0,21 \text{ кА.} \end{aligned}$$

11 ПОТЕРИ И ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

11.1 Общие сведения

Системы электрического снабжения сельскохозяйственных потребителей отличаются значительной протяженностью, малыми нагрузками на концах линий и многоступенчатой трансформацией напряжения. В каждом звене системы электроснабжения наблюдаются потери, поэтому расчет сетей по потере напряжения заключается в обосновании средств, влияющих на качественные и количественные значения напряжения, при которых отклонения напряжения у потребителей не превышают допустимых величин.

В действующем стандарте указывается, что в нормальном режиме работы отклонение напряжения на зажимах электрических приемников потребителей животноводческих и птицеводческих ферм и комплексов не должно повышаться и снижаться более чем на $\pm 5 \%$. Для всех остальных сельскохозяйственных объектов отклонение напряжения на зажимах потребителей может варьироваться в пределах $\pm 7,5 \%$ от номинального значения.

Расчет сельскохозяйственных сетей по потере напряжения производится для двух режимов - 100- и 25 % -ной нагрузок. Критерием оценки считается допустимое отклонение напряжения у потребителей, близко расположенных к трансформаторной подстанции при 25 % нагрузке, и наиболее удаленных от источника питания потребителей при 100 % нагрузке.

Под потерей напряжения в электрических сетях понимается разность между напряжением на шинах ТП в начале линии и напряжением в выбранной точке при данном режиме.

Отклонение напряжения - это разность между напряжением в данной точке системы электроснабжения и номинальным напряжением сети.

Например, для птицефабрики при 100 % нагрузке отклонение напряжения на зажимах потребителя не должно выходить за предел -5 %, а при 25 % нагрузке - за +5 %.

Отклонение напряжения у потребителей при 100%-й нагрузке

$$U^{100} = \sum V^{100} + \sum \Delta U^{100}, \quad (11.1)$$

где $\sum V^{100}$ - суммарная надбавка напряжения при 100 % нагрузке, %;

$\sum \Delta U^{100}$ - суммарная потеря напряжения при 100 % нагрузке, %.
Отклонение напряжения у потребителя при 25% нагрузке

$$U^{25} = \sum V^{25} + \sum \Delta U^{25}, \quad (11.2)$$

где $\sum V^{25}$ - суммарная надбавка напряжения при 25 нагрузке, %;
 $\sum \Delta U^{25}$ - суммарная потеря напряжения при 25 % нагрузке, %.

11.2 Потери напряжения в электрических сетях

Сечения проводов и кабелей выбираются согласно средним значениям предельных потерь напряжения в сетях, работающих в нормальном режиме. Если в результате расчетов отклонения напряжения у потребителей окажутся больше допустимых значений, то следует увеличить площадь сечения проводов линий электропередачи на расчетных участках или прибегнуть к иным мерам, снижающим потери напряжения в сетях.

Рекомендуются следующие усредненные потери напряжения: в сетях 35(6-10) кВ не более 6 %, в линиях 0,38 кВ (от ТП до вводов в здания) не более 4-6 %. Потери напряжения в трансформаторах не должны превышать 4 %. Максимальные потери напряжения в высоковольтных сетях 6, 10 и 35 кВ не должны быть выше 8 %, а в низковольтных 0,38 и 0,22 кВ - 6 %.

Потери напряжения в проводах трехфазных линий напряжением до 35 кВ определяются по следующим уравнениям в зависимости от их конфигурации.

В линиях с одним потребителем на конце используют следующее уравнение

$$\Delta U = I \frac{(PR_0 + QX_0)}{U_{ном}}. \quad (11.3)$$

Для линий, разбитых на отдельные участки применяется формула

$$\Delta U = \frac{\sum_1^n (P_i R_{0i} + Q_i X_{0i}) I_i}{U_{ном}}, \quad (11.4)$$

где P_i - активная мощность i -й нагрузки, кВт;
 Q_i - реактивная мощность i -й нагрузки, кВАр.

Пример. Рассчитать потери напряжения в линии 10 кВ длиной 12 км, выполненную проводом АС-50. Нагрузка на конце линии активная и равна $P = 500$ кВт, $\cos\varphi = 0,8$. Удельные активное и реактивное сопротивления: $R_0 = 0,6$ Ом/км, $X_0 = 0,38$ Ом/км.

Алгоритм решения

Определение $\tan\varphi$

$$\tan\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{0,6}{0,8} = 0,75.$$

Реактивная мощность на конце линии

$$Q = P \tan\varphi = 500 \cdot 0,75 = 375 \text{ кВар}.$$

Потери напряжения в линии рассчитываются по формуле

$$\Delta U = I \frac{(PR_0 + QX_0)}{U_{\text{ном}}} = 12 \frac{(500 \cdot 0,6 + 375 \cdot 0,38)}{10} = 531 \text{ В}.$$

В процентах потери напряжения определяются по уравнению

$$\Delta U\% = \frac{100\Delta U}{U_{\text{ном}}} = \frac{100 \cdot 531}{10 \cdot 10^3} = 5,3\%.$$

Пример. Определить потери напряжения в линии 35 кВ с несколькими активными нагрузками. Линия выполнена сталеалюминиевым проводом марки АС-25. Нагрузки потребителей: $P_1 = 200$ кВт, $P_2 = 350$ кВт, $P_3 = 150$ кВт. Коэффициент мощности для всех участков $\cos\varphi = 0,8$, а $\tan\varphi = 0,75$. Длина участков от ТП равна: $l_1 = 15$ км, $l_2 = 10$ км, $l_3 = 5$ км. Удельные сопротивления: $R_0 = 1,18$ Ом/км, $X_0 = 0,38$ Ом/км.

Алгоритм решения

Расчет реактивных мощностей по участкам линии электропередачи

$$Q_1 = P_1 \tan\varphi = 200 \cdot 0,75 = 150 \text{ кВар};$$

$$Q_2 = P_2 \tan\varphi = 350 \cdot 0,75 = 262,5 \text{ кВар};$$

$$Q_3 = P_3 \tan\varphi = 150 \cdot 0,75 = 112,5 \text{ кВар}.$$

Потеря напряжения определяется по формуле для сосредоточенных значений мощностей

$$\Delta U = \frac{[(P_1 l_{12} + P_2 l_2 + P_3 l_3)R_0 + (Q_1 l_1 + Q_2 l_2 + Q_3 l_3)X_0]}{U_{\text{ном}}} =$$

$$= \frac{[(200 \cdot 15 + 350 \cdot 10 + 150 \cdot 5)1,18 + (150 \cdot 15 + 262,5 \cdot 10 + 112,5 \cdot 5)0,38]}{35} = 303,5 \text{ В.}$$

Выражая потерю напряжения в процентах, получим

$$\Delta U\% = \frac{100\Delta U}{U_{\text{ном}}} = \frac{100 \cdot 303,5}{35 \cdot 10^3} = 0,9 \text{ \%}.$$

11.3 Расчет допустимых потерь напряжения

Напряжение на зажимах потребителей зависит от уровня напряжения в центре питания, потерь напряжения в линиях электропередачи и трансформаторных подстанциях.

Потери и отклонение напряжения связаны между собой уравнением баланса

$$V_{\text{пит}} + \sum (V_{\text{пост}} + V_{\text{пер}}) - \sum \Delta U_{\text{лин}} - \sum \Delta U_{\text{т}} - V_{\text{потр}} = 0, \quad (11.5)$$

где $V_{\text{пит}}$ - отклонение напряжения в центре питания, %;

$V_{\text{пост}}$ - постоянные надбавки, %;

$V_{\text{пер}}$ - переменные надбавки, %;

$\Delta U_{\text{лин}}$ - потери напряжения в линии, %;

$\Delta U_{\text{т}}$ - потери напряжения в трансформаторах, %;

$V_{\text{потр}}$ - допустимое отклонение напряжения у потребителя, %.

Центрами питания считаются шины ТП напряжением 35 кВ в системе электроснабжения 35/10/0,38 кВ и напряжением 10 кВ в системе электрического снабжения 10/0,38 кВ. В современных трансформаторах постоянная надбавка напряжения равна +5 %, а переменные составляют диапазон: -5; -2,5; 0; +5; +2,5; +5 %. Суммарная надбавка напряжения на ТП может быть равной 0; +2,5; +5; +7,5; +10 %.

Допустимая потеря напряжения в линии электропередачи

$$U_{\text{доп}} = V_{\text{пит}} + \sum (V_{\text{пост}} + V_{\text{пер}}) - \sum \Delta U_{\text{т}} - V_{\text{потр}}. \quad (11.6)$$

На основании расчетов по уравнению (11.4) составляются таблицы отклонений и потерь напряжения.

Пример. Составить таблицу отклонений и потерь напряжения в линиях 35/10/0,4 кВ системы сельскохозяйственного электроснабжения, рисунок 11.1. Нормы

отклонения напряжения у сельскохозяйственных потребителей не должна выходить за рамки $V_{\text{норм}} \pm 7,5 \%$. Трансформаторная подстанция 110/35 кВ обеспечивает режим встречного регулирования на шинах напряжения 35 кВ. Постоянная надбавка трансформатора при 100 % нагрузке равна $V_{35}^{100} = +5$. При снижении мощности потребителей до 25 % надбавка напряжения уменьшается $V_{35}^{25} = 0$. Задаваемые потери и отклонения напряжения по элементам схемы электроснабжения представлены в таблице 11.1. Потребитель П1 эксплуатируется в режиме 100 % потребляемой мощности от ТП, а потребитель П2 работает в режиме 25 % получаемой мощности от трансформаторной подстанции.

Алгоритм решения

Таблица 11.1 - Потери и отклонения напряжения в % по участкам системы электроснабжения

Параметры элемента системы электроснабжения	Потребитель	
	П1	П2
Передаваемая мощность, %	100	25
Отклонение V_{35} напряжения на шинах 35кВ	+5	0
Потери напряжения ΔU_{35} в линии 35 кВ	-6	-1,5
Трансформаторная подстанция с трансформатором 35/10 кВ: - постоянная надбавка $V_{\text{пост}}$; - переменная надбавка $V_{\text{пер}}$; - потери напряжения $\Delta U_{\text{т}}$.	+5 0 -4	+5 0 -1
Потери напряжения ΔU_{10} в линии 10 кВ	-6	-1,5
Трансформаторная подстанция с трансформатором 10/0,4 кВ: - постоянная надбавка $V_{\text{пост}}$; - переменная надбавка $V_{\text{пер}}$; - потери напряжения $\Delta U_{\text{т}}$.	+5 +2,5 -4	+5 +2,5 -1
Потери напряжения $\Delta U_{0,38}$ в линии 0,38 кВ	-5	0
Отклонение напряжения $V_{\text{пл}}$ у потребителя П1	-7,5	+7,5

Суммарные потери напряжения в линиях системы электроснабжения 35/10/0,4 кВ определяются по формуле

$$\begin{aligned} \sum \Delta U_{\text{л}} &= V_{35}^{100} + \sum (V_{\text{пост}} + V_{\text{пер}}) - \sum \Delta U_{\text{т}} - V_{\text{пл}}^{100} = \\ &= +5 + (5 + 5 + 0 + 2,5) - (4 + 4) - (-7,5) = 17 \%. \end{aligned}$$

Суммарные потери напряжения можно перераспределить по линиям электроснабжения следующим образом: $\Delta U_{35} = 6 \%$, $\Delta U_{10} = 6 \%$, $\Delta U_{0,38} = 5 \%$.

Баланс отклонений и потерь напряжения при 100 % загрузке ТП проверяется по формуле

$$\begin{aligned} V_{35}^{100} + \sum (V_{\text{пост}} + V_{\text{пер}}) - \sum \Delta U_{\text{л}} - \sum \Delta U_{\text{т}} - V_{\text{пл}}^{100} = \\ = +5 + (5 + 5 + 0 + 2,5) - (6 + 6 + 5) - (4 + 4) - (-7,5) = 0. \end{aligned}$$

Баланс напряжений соблюдается, следовательно, надбавки и потери напряжения для всех элементов системы электроснабжения (рисунок 11.1), внесенных в таблицу 11.1 для 100 % загрузки ТП, выбраны правильно.

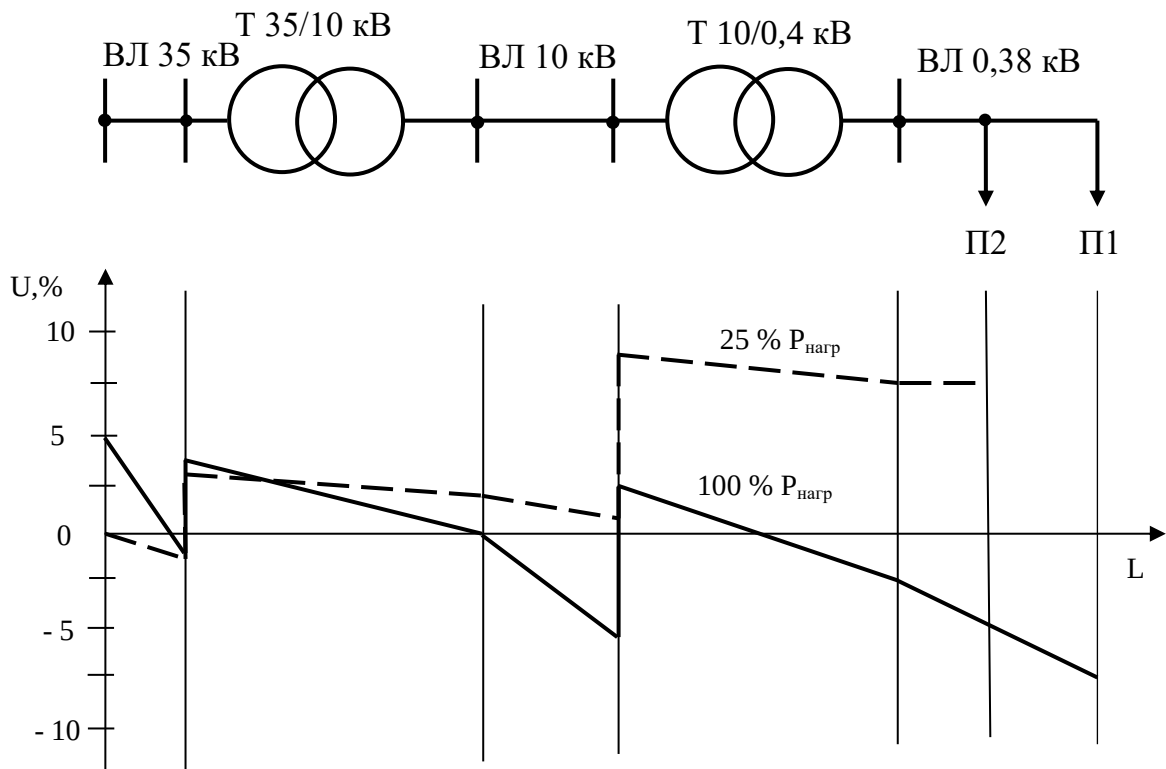


Рисунок 11.1 - Схема электроснабжения потребителей и диаграммы отклонений и потерь напряжения

Если нагрузка на ТП равна 25 % от максимальной, то потери напряжения в трансформаторах и линиях 35 и 10 кВ рекомендуется снижать в четыре раза, а потери в низковольтной линии 0,38 кВ принимать равными нулю.

Отклонение напряжения у потребителя П2 при 25 % нагрузке рассчитывается по формуле

$$V_{П2}^{25} = V_{35}^{25} + \sum (V_{пост} + V_{пер}) - \sum \Delta U_{л} - \sum \Delta U_{т} =$$

$$= 0 + (5 + 5 + 0 + 2,5) - (1,5 + 1,5 + 0) - (1 + 1) = +7,5.$$

Результат расчета заносится в таблицу 11.1. На основании значений, представленных в таблице, строятся диаграммы отклонений и потерь напряжения при 100 и 25 % нагрузке, рисунок 11.1.

12. РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДОВ

12.1 Определение площади сечения проводов в высоковольтных линиях электропередачи

Перед строительством линии электропередачи производится анализ электрических, конструктивных и структурных её параметров. Наиболее важными считаются вид сплава и расход материала проводов, активное и индуктивное сопротивление линии, максимальное значение передаваемой мощности, потери напряжения и электрической энергии, тип опор и изоляторов, а также структура построения – радиальная, магистральная, кольцевая.

Одним из важных параметров считается выбор рациональной площади сечения проводов. Площадь сечения проводов линий электропередачи напряжением 6...35 кВ рекомендуется находить по экономической плотности тока.

Нормированные значения экономической плотности тока представлены в ПУЭ, таблица 12.1.

Экономически целесообразная площадь сечения высоковольтных проводов определяется по уравнению

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (12.1)$$

где I_p - расчетный ток линии, А;

$j_{\text{эк}}$ - значения экономической плотности тока, А/мм².

Таблица 12.1 - Экономическая плотность тока

Провода, кабели	Продолжительность использования максимума нагрузки, ч/год		
	1000-3000	3000-5000	5000-8700
Голые медные провода и шины	2,5	2,1	1,8
Оголённые алюминиевые и сталеалюминиевые провода	1,3/1,5	1,1/1,4	1,0/1,3
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией и медными жилами	3,0	2,5	2,0
Кабели с алюминиевыми жилами	1,6/1,8	1,4/1,6	1,2/1,5
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с медными жилами	3,5	3,1	2,7
Кабели с алюминиевыми жилами	1,9/2,2	1,7/2,0	1,6/1,9

Для проводов с алюминиевыми жилами значения экономической плотности тока, рекомендованные к использованию в электроэнергетических расчетах при разработке проектной документации для европейской части стран СНГ, Забайкалья, Дальнего Востока представлены в числителе, а регионов центральной Сибири, Казахстана и Средней Азии в знаменателе.

Ток на участке линии электроснабжения находится по формуле

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_{ном}\cos\varphi}, \quad (12.2)$$

где P_p - расчетная мощность к концу пятого года эксплуатации линии электроснабжения, кВт;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение, кВ.

С учетом формулы (12.2) уравнение (12.1) приводится к следующему виду

$$F_{эк} = \frac{P_p}{\sqrt{3}j_{эк}U_{ном}\cos\varphi}. \quad (12.3)$$

Для участков линий с одинаковой площадью сечения проводов экономическая плотность тока на головном участке может быть увеличена в k_y раз согласно формуле

$$k_y = \sqrt{\frac{I_1^2 L}{(I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2 + \dots + I_n^2 l_n)}}, \quad (12.4)$$

где $I_1, I_2 \dots I_n$ - сила тока на участках линии, А;

L - суммарная длина линии электропередачи, км;

$l_1, l_2 \dots l_n$ - длины отдельных участков линии, км.

Пример. Найти площадь сечения и выбрать марку провода линии электропередачи, выполненной из сталеалюминиевого провода напряжением 35 кВ, если расчетная мощность равна $P_p = 5000$ кВт, время использования максимальных нагрузок $T_{max} = 3000$ ч/год, экономическая плотность тока, взятая из таблицы 12.1, $j_{эк} = 1,3$, $\cos\varphi = 0,8$, $\operatorname{tg}\varphi = 0,75$, длина линии $L = 40$ км, допустимые потери напряжения $\Delta U_{доп} = 6\%$.

Алгоритм решения

Ток линии вычисляется по уравнению

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}\cos\varphi} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 0,8} = 103,2 \text{ А.}$$

Экономически целесообразная площадь сечения сталеалюминиевых проводов рассчитывается

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{103,2}{1,3} = 79,4 \text{ мм}^2.$$

Из справочной литературы выбирается провод марки АС-95 с техническими характеристиками $R_0 = 0,31 \text{ Ом/км}$, $X_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$.

Расчетная реактивная мощность линии

$$Q_p = P_p \tan\varphi = 5000 \cdot 0,75 = 3750 \text{ кВАр.}$$

Допустимая потеря напряжения в линии

$$\Delta U = \frac{(P_p R_0 + Q_p X_0)L}{U_{\text{ном}}} = \frac{(5000 \cdot 0,31 + 3750 \cdot 0,4)40}{35} = 3485,7 \text{ В.}$$

Потеря напряжения в линии, выраженная в процентах,

$$\Delta U\% = \frac{100\Delta U}{U_{\text{ном}}} = \frac{100 \cdot 3485,7}{35 \cdot 10^3} = 9,9 \text{ \%}.$$

Полученная потеря напряжения в линии больше заданного значения $\Delta U_{\text{доп}} = 6 \text{ \%}$, следовательно, выбранная площадь сечения провода не удовлетворяет по условию нагрева. Для снижения потери напряжения необходимо увеличить площадь сечения провода или уменьшить длину линии и выполнить перерасчет. Площадь сечения выбранного провода АС-95 линии электропередачи напряжением 35 кВ приближена к предельному значению по механической прочности, поэтому рекомендуется уменьшить длину линии до 20 км.

Допустимая потеря напряжения в линии длиной $L' = 20 \text{ км}$

$$\Delta U = \frac{(P_p R_0 + Q_p X_0)L'}{U_{\text{ном}}} = \frac{(5000 \cdot 0,31 + 3750 \cdot 0,4)20}{35} = 1742,8 \text{ В.}$$

Тогда

$$\Delta U\% = \frac{100\Delta U}{U_{\text{ном}}} = \frac{100 \cdot 1742,8}{35 \cdot 10^3} = 4,98 \text{ \%} \approx 5 \text{ \%}.$$

После повторного расчета $\Delta U_p = 5 \text{ \%}$, что не превышает допустимых 6%.

Пример. Рассчитать площадь сечения высоковольтной линии электропередачи напряжением 35 кВ, состоящей из трех участков разной длины: $l_1 = 12$ км, $l_2 = 15$ км, $l_3 = 7$ км. Сила тока по участкам: $I_1 = 62$ А, $I_2 = 43$ А, $I_3 = 27$ А. Время действия максимальной нагрузки $T_{\max} = 4000$ ч/год. Суммарная длина линии $L = 34$ км, $\cos\varphi = 0,8$, $\sin\varphi = 0,6$, экономическая плотность тока $j_{\text{эк}} = 1,3$, допустимая потеря напряжения в линии $\Delta U_{\text{доп}} = 6 \%$.

Алгоритм решения

Для трех участков линии определяется k_y

$$k_y = \sqrt{\frac{I_1^2 L}{(I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2 + \dots + I_n^2 l_n)}} = \sqrt{\frac{62^2 \cdot 34}{(62^2 \cdot 12 + 43^2 \cdot 15 + 27^2 \cdot 7)}} = 1,29.$$

Площадь сечения провода

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_1}{k_y j_{\text{эк}}} = \frac{62}{1,29 \cdot 1,1} = 43,7 \text{ мм}^2.$$

По справочной литературе выбирается алюминиевый провод марки А-50, имеющий $R_0 = 0,59 \text{ Ом/мм}^2$ и $X_0 = 0,4 \text{ Ом/мм}^2$.

Потеря напряжения в проводе с учетом удельных сопротивлений вычисляется по формуле

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \sum_{i=1}^n (I_i l_i) (R_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi) = \\ &= \sqrt{3} (62 \cdot 12 + 43 \cdot 15 + 27 \cdot 7) (0,59 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,6) = 1938 \text{ В.} \end{aligned}$$

Для сравнения полученного значения потери напряжения с допустимой величиной необходимо расчетную величину перевести в проценты

$$\Delta U\% = \frac{100 \Delta U}{U_{\text{ном}}} = \frac{100 \cdot 1938}{35 \cdot 10^3} = 5,5 \%.$$

Расчетное значение 5,5 % не превышает допустимой потери напряжения в линии, равное 6 %, вследствие этого, провод марки А-50 удовлетворяет условиям по допустимому нагреву и механической прочности.

12.2 Метод экономических интервалов для расчета площади сечения проводов воздушных линий 0,38 кВ

Метод основывается на том, что для каждой площади сечения провода в соответствии с минимумом затрат устанавливаются интервалы

экономически целесообразной передаваемой полной мощности, с учетом климатических условий региона и конструктивных особенностей линии.

Передаваемая мощность с точки зрения экономической целесообразности в учебной литературе по электрическому снабжению промышленных и сельскохозяйственных объектов называется эквивалентной.

Алгоритм расчета по методу экономических интервалов состоит из нескольких этапов.

На первом этапе составляется расчетная схема линии напряжением 0,38 кВ с указанием значений активной мощности.

На втором определяется максимальная активная мощность линии с учетом перспективы роста нагрузок в течение 5...7 лет. Для этого необходимо знать максимальные значения мощностей: дневной производственной нагрузки, вечерней коммунально-бытовой, смешанной производственно-бытовой. Расчет площади сечения проводов ведется по наибольшей величине максимальной мощности.

На третьем этапе находится величина полной мощности на участках линии по уравнению

$$S_{\max.i} = \frac{P_{\max.i}}{\cos\varphi_i}, \quad (12.5)$$

где $P_{\max.i}$ - максимальная активная мощность i - участка, кВт;

$\cos\varphi_i$ - коэффициент мощности i - участка.

На четвертом этапе рассчитывается эквивалентная мощность на i -участках линии по формуле

$$S_{\text{экв}.i} = k_d S_{\max.i}, \quad (12.6)$$

где k_d - коэффициент динамики роста мощности нагрузок для вновь строящихся линий с выходом на максимальную мощность через 5...7 лет и для реконструируемых участков с ожидаемым увеличением нагрузки в 1,5...2 раза $k_d = 0,7$, при росте нагрузок менее чем в 1,5 раза - $k_d = 0,8$.

На пятом этапе по таблицам с эквивалентной мощностью выбираются марка и площадь сечения участков линии электроснабжения.

На последнем этапе проводится проверочный расчет линии с выбранными проводами по потере напряжения. Полученные значения потери напряжения сравниваются с допустимыми величинами в конце магистрали и на участках ответвлений. Если найденные результаты потери напряжения отличаются в большую сторону от указанных допустимых пределов, то следует обратиться к данным таблицы (таблица Б4) экономических интервалов эквивалентной

мощности и произвести замену основных проводов на дополнительные. После выбора новых марок проводов рекомендуется произвести повторный расчет линии по потере напряжения на её участках.

Пример. Выбрать марку проводов и рассчитать площадь сечения воздушной линии 0,38 кВ для свиноводческой фермы с дневным максимумом нагрузок: $P_1 = 15$ кВт, $P_2 = 10$ кВт, $P_3 = 5$ кВт. Длины участков линии: $l_1 = 100$ м, $l_2 = 70$ м, $l_3 = 50$ м. Коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,8$, допустимые потери напряжений в линии 6 %, коэффициент динамики роста нагрузок $k_d = 0,7$. Линия расположена в III климатическом районе по гололеду и ветровой нагрузке.

Расчетная схема линии электропередачи напряжением 0,38 кВ для свиноводческой фермы представлена на рисунке 12.1.

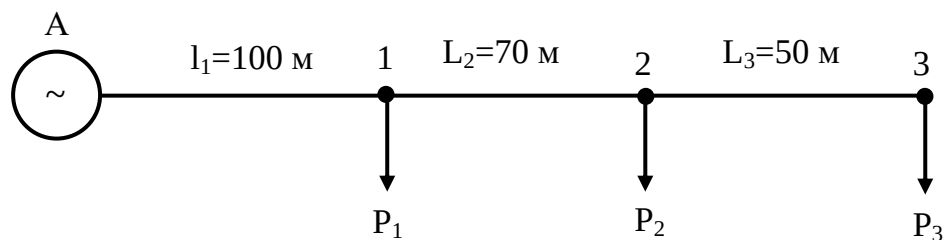


Рисунок 12.1 - Расчетная схема линии электроснабжения свинофермы

Алгоритм решения

Значение активной мощности на участке 2-3

$$P_{2-3} = 5 \text{ кВт};$$

полной

$$S_{2-3} = \frac{P_{2-3}}{\cos \varphi} = \frac{5}{0,8} = 6,25 \text{ кВА};$$

эквивалентной

$$S_{2-3}^{\text{экв}} = k_d S_{2-3} = 0,7 \cdot 6,25 = 4,38 \text{ кВА}.$$

Активная мощность на участке 1-2 с учетом значения коэффициента одновременности ($k_0 = 0,85$ - когда суммируются две нагрузки, $k_0 = 0,85$ - при суммировании трех нагрузок)

$$P_{1-2} = k_0 (P_2 + P_3) = 0,85(10 + 5) = 12,75 \text{ кВт};$$

$$S_{1-2} = \frac{P_{1-2}}{\cos \varphi} = \frac{12,75}{0,8} = 15,9 \text{ кВА};$$

$$S_{1-2}^{\text{экв}} = k_d S_{1-2} = 0,7 \cdot 15,9 = 11,13 \text{ кВА}.$$

Мощность на головном участке А-1

$$P_{A-1} = k_0 (P_1 + P_2 + P_3) = 0,8(15 + 10 + 5) = 24 \text{ кВт};$$

$$S_{A-1} = \frac{P_{A-1}}{\cos\varphi} = \frac{24}{0,8} = 30 \text{ кВА};$$

$$S_{A-1}^{\text{экв}} = k_d S_{A-1} = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ кВА}.$$

Из приложения Б по таблице экономических интервалов эквивалентной мощности (таблица Б4) выбирается марка и площадь сечения провода по участкам линии:

- участок 2-3: А-25+А-25;
- участок 1-2: 2×А-25+А-25;
- участок А-1: 3×А-25+А-25.

Потери напряжения на i -участках линии электропередачи рассчитываются по формуле

$$\Delta U_i \% = \Delta U_{\text{табл}}^i S_i l_i 10^{-3},$$

где $\Delta U_{\text{табл}}^i$ - табличное значение потерь напряжения, выраженных в тысячных долях процента на 1 кВА·м, по участкам линии;

S_i - максимальная полная мощность i - участка, кВА;

l_i - длина i - участка, м.

Из таблицы Б5 выбираются удельные потери напряжения для обозначенных марок проводов по участкам линии с учетом величины коэффициента мощности и значений максимальных полных мощностей: $\Delta U_{\text{табл}}^{2-3} = 4,7$; $\Delta U_{\text{табл}}^{1-2} = 1,77$; $\Delta U_{\text{табл}}^{A-1} = 0,79$.

На участке 2-3 потеря напряжения находится

$$\Delta U_{2-3} \% = \Delta U_{\text{табл}}^{2-3} S_{2-3} l_{2-3} 10^{-3} = 4,7 \cdot 6,25 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 1,5 \text{ \%}.$$

Для участка 1-2 потеря напряжения вычисляется

$$\Delta U_{1-2} \% = \Delta U_{\text{табл}}^{1-2} S_{1-2} l_{1-2} 10^{-3} = 1,77 \cdot 15,9 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 1,97 \text{ \%}.$$

На головном участке А-1 потеря напряжения рассчитывается

$$\Delta U_{A-1} \% = \Delta U_{\text{табл}}^{A-1} S_{A-1} l_{A-1} 10^{-3} = 0,79 \cdot 30 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 2,37 \text{ \%}.$$

В конце линии потеря напряжения определяется как сумма потерь по участкам

$$U_{A-3} = U_{A-1} + U_{1-2} + U_{2-3} = 2,37 + 1,97 + 1,5 = 5,84 \text{ \%}.$$

Потери напряжения в конце магистральной линии составляют 5,84 %, что меньше допустимого значения 6 %.

Линию электропередачи можно выполнить одной маркой провода с одинаковой площадью сечения проводов А-25.

13 ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

13.1 Потери мощности и электроэнергии в линиях электропередачи

Передача электрической энергии по проводам к потребителю связана с существенными потерями мощности в линиях электроснабжения, трансформаторах, измерительных приборах, распределительных устройствах и т.д.

В настоящее время в сельскохозяйственных сетях 0,38 кВ потери электроэнергии достигают 35 %, в трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ доля потерь доходит до 20 %, в линиях электропередачи напряжением 6...10 кВ потери составляют 30 %, на систему электроснабжения 35...110 кВ приходится 15 % потерь электрической энергии.

Рост потерь электроэнергии приводит к необоснованному нагреву проводов, разрушению изоляции и большим экономическим потерям, поэтому определение оптимальных потерь и возможности поддержания их на определенном уровне задача актуальная.

Потери активной мощности в линиях трехфазного тока находятся по формулам, в кВт:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3I^2 R_{\text{л}} 10^{-3};$$

$$\Delta P_{\text{л}} = 3I^2 R_0 l 10^{-3};$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{S^2 R_0 l 10^{-3}}{U^2};$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{(P^2 + Q^2) R_{\text{л}} 10^{-3}}{U^2}, \quad (13.1)$$

где I - сила полного тока линии, А;

$R_{\text{л}}$ - активное сопротивление фазы линии, Ом;

R_0 - линейное активное сопротивление фазы линии, Ом/км;

l - длина линии, км;

S - полная мощность, кВА;

P - активная мощность, кВт;

Q - реактивная мощность, кВАр;

U - напряжение линии, В.

Помимо активной мощности в трехфазных, четырех проводных линиях электропередачи происходит потеря и реактивной мощности, которая вычисляется по уравнениям, в кВАр:

$$\begin{aligned}\Delta Q_{\text{л}} &= 3I^2 X_{\text{л}} 10^{-3}; \\ \Delta Q_{\text{л}} &= 3I^2 X_0 l 10^{-3}; \\ \Delta Q_{\text{л}} &= \frac{S^2 X_0 l 10^{-3}}{U^2}; \\ \Delta Q_{\text{л}} &= \frac{(P^2 + Q^2) X_{\text{л}} 10^{-3}}{U^2},\end{aligned}\tag{13.2}$$

где $X_{\text{л}}$ - индуктивное сопротивление линии, Ом;

X_0 - линейное индуктивное сопротивление линии, Ом/км.

Потери активной энергии рассчитываются, в кВт·ч:

$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{а}} &= \Delta P t; \\ \Delta W_{\text{а}} &= 3I^2 R_{\text{л}} t 10^{-3}; \\ \Delta W_{\text{а}} &= 3I^2 R_0 l t 10^{-3}; \\ \Delta W_{\text{а}} &= \frac{(P^2 + Q^2) R_{\text{л}} t 10^{-3}}{U^2},\end{aligned}\tag{13.3}$$

где t - время, затрачиваемое на передачу мощности, ч.

Реактивная энергия, теряемая в трехфазной системе электроснабжения, находится по выражениям, в кВАр·ч:

$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{р}} &= \Delta Q t; \\ \Delta W_{\text{р}} &= 3I^2 X_{\text{л}} t 10^{-3}; \\ \Delta W_{\text{а}} &= 3I^2 X_0 l t 10^{-3}; \\ \Delta W_{\text{а}} &= \frac{(P^2 + Q^2) X_{\text{л}} t 10^{-3}}{U^2}.\end{aligned}\tag{13.4}$$

В уравнениях (13.3) и (13.4) ток, активная, реактивная и полная мощности непрерывно меняются в течение времени из-за отключения и подключения потребителей, поэтому в расчетах используют искусственные способы нахождения указанных параметров сети. Одним из таких методов является – метод среднеквадратичного тока. Допускается, что действие среднеквадратичного тока за год вызывает те же потери в линии электропередачи, что и действующая нагрузка, рисунок 13.1.

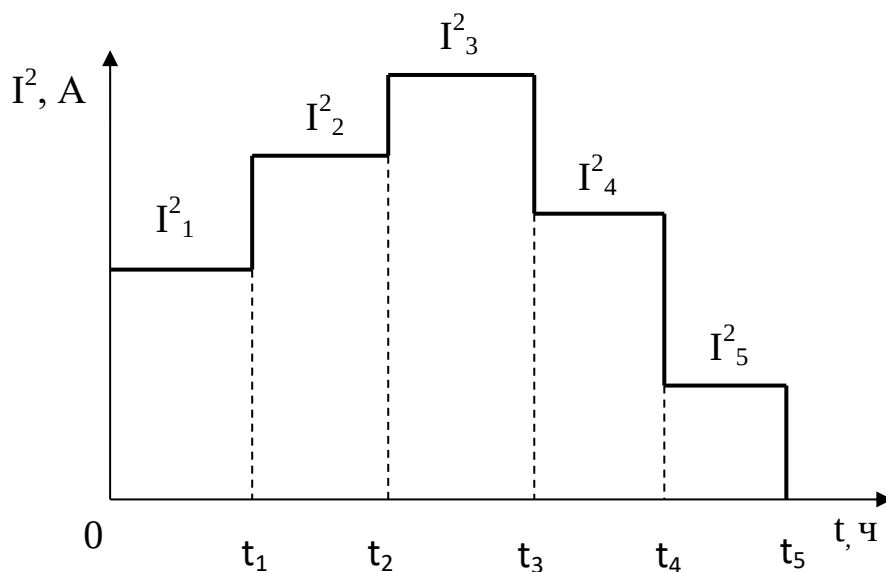


Рисунок 13.1 - График среднеквадратичного тока в функции времени работы линии

Среднеквадратичное значение тока определяется по уравнению

$$I_{\text{ср.кв}}^2 = \frac{(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_j^2 t_j)}{T_{\text{л}}}, \quad (13.5)$$

где $I_1, I_2 \dots I_j$ - токи линии, взятые из графика среднеквадратичного тока, А;
 $t_1, t_2 \dots t_j$ - временные интервалы действия токов, ч.

Потери активной и реактивной энергии вычисляются по формулам

$$\Delta W_a = 3 I_{\text{ср.кв}}^2 R_{\text{л}} T_{\text{л}} 10^{-3}, \quad (13.6)$$

где $T_{\text{л}}$ - время работы линии электроснабжения, ч.

$$\Delta W_p = 3 I_{\text{ср.кв}}^2 X_{\text{л}} T_{\text{л}} 10^{-3}. \quad (13.7)$$

Стоимость потерь электроэнергии вычисляется

$$C_{\Pi} = c_{\varepsilon} \Delta W_a \cdot 10^{-2}, \quad (13.8)$$

где c_{ε} - удельная стоимость потерь, коп/(кВт·ч).

Для нахождения активных потерь энергии в практике инженерных расчетов широко используется метод учета времени действия максимальной активной мощности и связанной с этой мощностью величиной активных потерь в линии.

Уравнение для подсчёта активных потерь энергии приводится в следующем виде

$$\Delta W_a = \Delta P_{\max} \tau = 3 I_{\max}^2 R_l \tau = \frac{P_{\max}^2 R_l \tau}{(U \cos \varphi)^2}, \quad (13.9)$$

где $I_{\max}$ - значение максимального тока в линии электропередачи, А;

$\Delta P_{\max}$ - максимальные активные потери мощности в линии, Вт;

τ - время, за которое происходит потеря максимальной активной мощности, ч.

Пример. Рассчитать потери энергии в линии электропередачи длиной 15 км за 570 ч работы. Линия выполнена из сталеалюминиевых проводов марки АС-50. Нагрузка линии в течение суток изменялась несколько раз и отслеживалась по показаниям амперметров в виде значений токов: 20, 30, 45, 63, 82 А. Время действия токов равно: 7, 3, 5, 8, 1 ч. Удельные активное и реактивное сопротивления линии $R_0 = 0,6$ Ом/км, $X_0 = 0,38$ Ом/км.

Алгоритм решения

Среднеквадратичное значение тока за контрольные сутки находится по формуле (13.5)

$$I_{\text{ср.кв}}^2 = \frac{(20^2 \cdot 7 + 30^2 \cdot 3 + 45^2 \cdot 5 + 63^2 \cdot 8 + 82^2 \cdot 1)}{24} = 2254,2 \text{ А}^2.$$

Активное сопротивление линии рассчитывается с учетом удельного сопротивления

$$R_l = R_0 l = 0,6 \cdot 15 = 9 \text{ Ом}.$$

Потери активной энергии в линии электроснабжения определяются

$$\Delta W_a = 3 I_{\text{ср.кв}}^2 R_l T_l 10^{-3} = 3 \cdot 2254,2 \cdot 9 \cdot 570 \cdot 10^{-3} = 34692,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Полное реактивное сопротивление линии

$$X_L = X_0 l = 0,38 \cdot 15 = 5,7 \text{ Ом.}$$

Потери реактивной мощности в линии за расчетный период рассчитываются

$$\Delta W_p = 3I^2 X_L T_L 10^{-3} = 3 \cdot 2254,2 \cdot 5,7 \cdot 570 \cdot 10^{-3} = 21971,7 \text{ кВАр} \cdot \text{ч.}$$

Ориентировочная стоимость потерь активной энергии, если удельная стоимость потерь равна $c_э = 103 \text{ коп/кВт} \cdot \text{ч}$,

$$C_{\Pi} = c_э \Delta W_a \cdot 10^{-2} = 103 \cdot 34692,1 \cdot 10^{-2} = 35732,9 \text{ руб.} \approx 35,7 \text{ тыс. руб.}$$

13.2 Потери мощности и энергии в трансформаторах

В процессе эксплуатации трансформаторов в них происходят потери мощности и энергии. Потери активной мощности в трансформаторах разделяются на потери в стали и меди. Активная мощность в стали теряется на перемагничивание в стальном сердечнике и вихревые токи. Потери в стали называют потерями холостого хода в трансформаторе. В медных обмотках трансформатора потери активной мощности связаны с величиной тока нагрузки, поэтому потери в меди называют потерями короткого замыкания. В трансформаторе наиболее значимыми в количественном отношении считаются потери короткого замыкания, так как они превосходят потери холостого хода в 5...6 раз при номинальной трансформируемой мощности.

Потери короткого замыкания зависят от величины трансформируемой мощности и соотносятся

$$\frac{\Delta P_K}{\Delta P_{K.\text{НОМ}}} = \left(\frac{I_{\text{нагр}}}{I_{\text{НОМ}}} \right)^2 = \left(\frac{S_{\text{нагр}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2.$$

Если обозначить соотношения $\frac{I_{\text{нагр}}}{I_{\text{НОМ}}} = \frac{S_{\text{нагр}}}{S_{\text{НОМ}}} = k_H$, тогда активные потери короткого замыкания в трансформаторе вычисляются по формуле

$$\Delta P_K = \Delta P_{K.\text{НОМ}} k_H^2. \quad (13.10)$$

Потери короткого замыкания $\Delta P_{K.\text{НОМ}}$ и холостого хода ΔP_x в номинальном режиме работы трансформатора приводятся в таблице Бб.

Суммарные потери активной мощности в трансформаторе находятся

$$\Delta P_T = \Delta P_K + \Delta P_X. \quad (13.11)$$

Установив время работы τ трансформатора с максимальной потерей мощности, можно перейти к определению полных потерь активной энергии

$$\Delta W_T = \Delta P_X t + \Delta P_{K.HOM} k_H^2 \tau. \quad (13.12)$$

Для трансформаторов, работающих параллельно, активные потери мощности следует вычислять по уравнению

$$\Delta W_T = n \Delta P_X t + \frac{\Delta P_{K.HOM} k_H^2 \tau}{n}, \quad (13.13)$$

где n - количество трансформаторов работающих параллельно.

Время максимальных потерь при $T_{max} = 2500 \dots 4500$ ч работы трансформатора рассчитывается по упрощённой формуле

$$\tau = 0,7 T_{max} - 584. \quad (13.14)$$

Пример. Рассчитать годовые потери электроэнергии в трансформаторе 10/0,4 кВ. Трансформатор обладает следующими техническими характеристиками: $S_{ном} = 160$ кВА, $P_{max} = 100$ кВт, $\cos \varphi = 0,8$, годовое потребление активной электрической энергии $W_a = 850 \cdot 10^3$ кВт·ч. Время работы трансформатора $t = 200$ ч, потери активной мощности, взятые из таблицы $\Delta P_X = 0,51$ кВт, $\Delta P_{K.HOM} = 2,65$ кВт.

Алгоритм решения

Значение максимальной полной мощности рассчитывается

$$S_{max} = \frac{P_{max}}{\cos \varphi} = \frac{100}{0,8} = 125 \text{ кВА.}$$

Загрузочный коэффициент трансформатора

$$k_H = \frac{S_{max}}{S_{ном}} = \frac{125}{160} = 0,78.$$

Время максимальной загрузки трансформатора

$$T_{max} = \frac{W_a}{P_{max}} = \frac{850 \cdot 10^3}{100} = 8500 \text{ ч.}$$

Время максимальных потерь вычисляется

$$\tau = (0,124 + 10^{-4} T_{max})^2 8760 = (0,124 + 10^{-4} \cdot 8500)^2 8760 = 8310,4 \text{ ч.}$$

Потери активной энергии в трансформаторе находятся

$$\begin{aligned}\Delta W_T &= \Delta P_x t + \Delta P_{K.HOM} k_H^2 \tau = \\ &= 510 \cdot 200 + 2650 \cdot 0,78^2 \cdot 8310,4 \cdot 10^{-3} = 13500,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.\end{aligned}$$

Годовые потери энергии в трансформаторе, выраженные в %,

$$\Delta W_T \% = \frac{100 \Delta W_T}{W_a} = \frac{100 \cdot 13500,5}{850 \cdot 10^3} = 1,6 \, \%.$$

14 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Большой физический износ линий электроснабжения сельскохозяйственного назначения, перекосы фазных нагрузок, ежегодное приращение мощностей, увеличение длин участков за счет дополнительных отводов приводят к периодическим сбоям в работе электроустановок и потребителей электроэнергии. Для предотвращения работы электрооборудования в аномальных режимах: рост тока и температуры нагрева в проводниках, снижения или повышения напряжения и частоты, в системах электроснабжения применяют релейную защиту.

Релейная защита - это автоматические устройства, защищающие линии электропередачи и электрооборудование потребителей от токов короткого замыкания и возникающих от их действия опасных последствий. Защита предназначена для автоматической ликвидации аварии, её локализации в виде отключения поврежденного участка сети или электрического оборудования.

Действие релейной защиты основано на постоянном мониторинге технического состояния отдельных контролируемых элементов электроэнергетической системы и своевременном их отключении при возникновении повреждений и аварийных режимов.

Надежная работа электроэнергетической системы достигается за счет того, что релейная защита обладает следующими функциональными возможностями: селективностью, быстродействием, чувствительностью.

Селективность - способность отключать определенные участки сети при токах короткого замыкания или вышедший из строя элемент.

Быстродействие - время отключения вышедшего из строя объекта. В зависимости от напряжения системы электроснабжения время отключения не должно превышать либо доли секунд, либо несколько секунд.

Чувствительность - способность отличать нормальный режим от аварийного в зоне действия релейной защиты.

В сельскохозяйственных распределительных сетях для линий с односторонним питанием напряжением до 35 кВ в качестве релейной защиты широко используется максимальная токовая защита (МТЗ).

Максимальную токовую защиту выполняют в виде: токовой защиты с выдержкой времени в соответствии с рекомендациями, у которой время срабатывания не зависит от силы тока в линии; токовой защиты у которой время срабатывания зависит от величины силы тока сети; токовой отсечки - мгновенно действующей защиты.

МТЗ, изготовленная на базе реле РТ-40, предназначена для защиты поврежденных участков линии с выдержкой времени. В состав защиты входят: электромагнитное токовое реле РТ-40 и реле выдержки времени типа ЭВ-235, ЭВ-245 или РВМ 12, РВМ 13. У реле марки РТ-40 ток уставки изменяется плавно, а время срабатывания не зависит от величины тока.

Токовая защита, зависящая от величины тока, протекающего в линии, выполняется при помощи реле РТ-80, РТ-83, РТ-85, РТ-95 и РТВ, имеющие пусковой орган и устройство выдержки времени. Реле изготавливают в комбинированном варианте, поэтому в его состав входят: индукционный элемент, например, в виде диска для создания выдержки времени и электромагнитное устройство мгновенного действия, отключающего поврежденный участок без задержки времени при высоких токах КЗ.

Селективность максимальной токовой защиты обеспечивается соответствующим выбором тока и времени срабатывания. В радиальной сети с односторонним питанием защиты устанавливаются на каждой линии. Защита наиболее удаленной от источника питания линии имеет наименьший ток срабатывания и наименьшую выдержку времени. Защита каждой последующей линии имеет выдержку времени больше выдержки времени предыдущей защиты.

МТЗ каждого отрезка линии настраивается таким образом, чтобы иметь возможность срабатывать при токах короткого замыкания на предыдущих участках сети, тем самым резервируя более удаленные зоны. У каждой максимальной токовой защиты имеются основная и резервная зоны отключения.

Методика расчета максимальной токовой защиты начинается с определения токов срабатывания при возникновении в линиях аварийных режимов работы.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты определяется по условиям настройки в зависимости от максимального тока линии

$$I_{с.з} = \frac{k_H k_{с.п} I_{p.max}}{k_B}, \quad (14.1)$$

где k_H - коэффициент надежности, $k_H = 1,2 \dots 1,5$;

$k_{с.п}$ - коэффициент самозапуска электродвигателей, $k_{с.п} = 1,1$;

$I_{p.max}$ - максимальный расчетный ток защищаемого участка, А;

k_B - коэффициент возврата, $k_B = 0,7 \dots 0,85$.

Ток срабатывания реле находится по формуле

$$I_{c.p} = \frac{k_{cx} I_{c.з}}{k_{т.т}}, \quad (14.2)$$

где k_{cx} - коэффициент схемы, $k_{cx} = 20$;

$k_{т.т}$ - коэффициент трансформации трансформатора тока.

Если на конце линии подключена крупная нагрузка, например в виде сельскохозяйственного комплекса, то коэффициент самозапуска электродвигателей находится из уравнения

$$k_{c.п} = \frac{I_{к}^{(3)}}{I_{p.max} + 0,4I_{к}^{(3)}}, \quad (14.3)$$

где $I_{к}^{(3)}$ - ток трехфазного короткого замыкания в точке, в которой подключена максимальная нагрузка в виде электрических двигателей, А.

В схемах максимальных токовых защит ток уставки предварительно находится, исходя из неравенства, а затем уточняется по справочной таблице для выбранной марки реле

$$I'_{y.p} \geq 1,2I_{c.к}, \quad (14.4)$$

где $I_{c.к}$ - ток срабатывания катушки отключения, $I_{c.к} = 3 \dots 5$ А.

С учетом коэффициентов трансформации трансформатора тока и схемы, а также значения тока уставки реле ток срабатывания защиты рассчитывается по выражению

$$I'_{c.з} = \frac{k_{т.т} I_{y.p}}{k_{c.x}}. \quad (14.5)$$

где $I_{y.p}$ - табличный ток уставки реле, А.

Коэффициент чувствительности для основной зоны защиты при двухфазном токе короткого замыкания определяется как

$$k_q = \frac{I_{к.min}^{(2)}}{I_{c.з.p}} = \frac{0,87I_{к.min}^{(3)}}{k_{т.т} I_{y.p}} \geq 1,5, \quad (14.6)$$

где $I_{к.min}^{(3)}$ - наименьший ток трехфазного короткого замыкания в конце защищаемого участка линии, А;

$I_{c.з.p}$ - ток срабатывания резервной защиты, А.

Для резервируемой зоны коэффициент чувствительности должен быть $k_q \geq 1,2$.

Токовая отсечка применяется тогда, когда необходимо практически мгновенно отключить поврежденный участок линии электроснабжения. В основе токовой отсечки лежит методика построения защит на основе реле тока срабатывающих без выдержки времени. В некоторых случаях токовая отсечка может срабатывать через 0,3...0,6 с после возникновения режима короткого замыкания.

Ток срабатывания токовой отсечки

$$I_{c.o} = k_H I_{к.мах}^{(3)}, \quad (14.7)$$

где $I_{к.мах}^{(3)}$ - максимальный ток трехфазного короткого замыкания на конце аварийного участка, А.

Для защиты линий 6...20 кВ с помощью токовой отсечки должно выполняться условие

$$I_{c.o} \geq \frac{(4 \dots 5) \sum S_{н.т}}{\sqrt{3} U_{ном}}, \quad (14.8)$$

где $\sum S_{н.т}$ - сумма номинальных мощностей потребительских подстанций трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, Вт.

Ток срабатывания реле отсечки в линиях напряжением 6...20 кВ

$$I_{c.p.o} = I_{c.o} \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_{т.т}}. \quad (14.9)$$

Ток срабатывания токовой отсечки

$$I'_{c.o} = I_{y.p.o} \frac{k_{т.т}}{k_{сх}^{(3)}}, \quad (14.10)$$

где $I_{y.p.o}$ - ток уставки токовой отсечки, А.

Коэффициент чувствительности токовой отсечки

$$k_q = \frac{I_k}{I'_{c.o}}, \quad (14.11)$$

где I_k - ток короткого замыкания в месте установки защиты, А.

Защита от перегрузок линий электропередачи выполняется на двух реле - токовом и времени, которые устанавливаются в одну из фаз трехфазной системы электроснабжения.

Ток срабатывания защиты в момент перегрузки рассчитывается по формуле

$$I_{с.з} = \frac{k_H I_{НОМ}}{k_B}. \quad (14.12)$$

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р} = \frac{k_H I_{НОМ}}{k_B k_{Т.Т}}. \quad (14.13)$$

Защита от перегрузок должна быть отстроена таким образом, чтобы не срабатывать на броски намагничивающего тока трансформаторов и пусковые токи электродвигателей.

Коэффициент надежности для защиты трансформаторов принимается равным $k_H = 1,05$, а для защиты электродвигателей $k_H = 1,2$.

Пример. Рассчитать ток срабатывания МТЗ Q_2 линии напряжением 10 кВ. Защита выполнена на токовом реле типа РТ-40. Исходные данные: $k_H = 1,2$, $k_B = 0,85$, $k_{с.п} = 1,1$, $k_{сх} = 20$. Максимальный рабочий ток линии $I_{р.мах} = 30$ А. Коэффициент трансформации трансформатора тока $k_{Т.Т} = 30/5 = 6$. Ток срабатывания катушки реле $I_{с.к} = 3$ А. Минимальный ток трехфазного короткого замыкания в основной зоне $I^{(3)}_{к.мин} = 85$ А, в резервной $I^{(3)}_{к.мин} = 60$ А. Схема линии с установкой МТЗ Q_1 и Q_2 и нанесением точек КЗ (K_1 и K_2) представлена на рисунке 14.1.

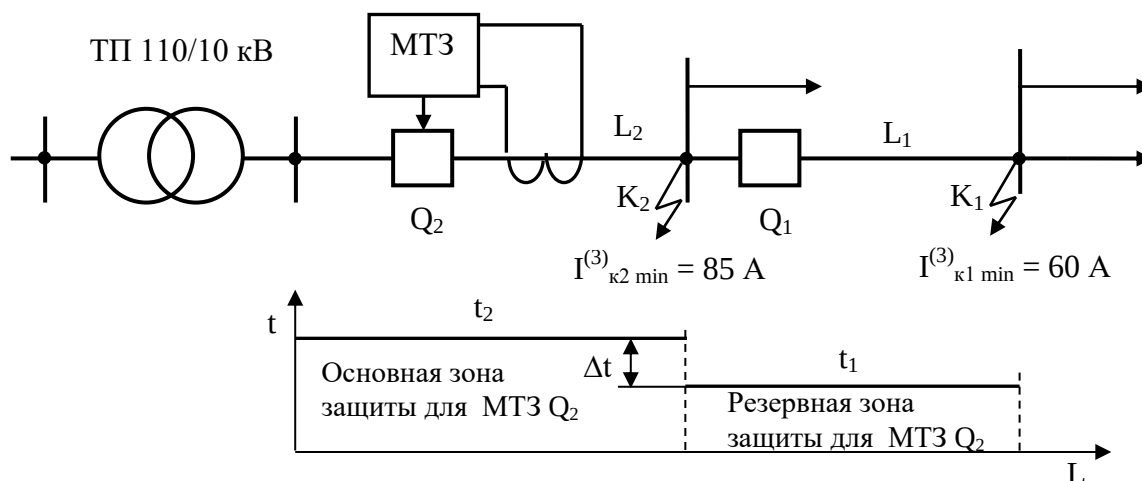


Рисунок 14.1 - Ступенчатая характеристика выдержек времени МТЗ по зонам защиты

Алгоритм решения

Ток срабатывания максимальной токовой защиты Q₂

$$I_{c.з} = \frac{k_H k_{c.п} I_{p.max}}{k_B} = \frac{1,2 \cdot 1,1}{0,85} 30 = 46,59 \text{ A.}$$

Ток срабатывания реле РТ-40

$$I_{c.p} = \frac{k_{cx} I_{c.з}}{k_{T.T}} = \frac{20 \cdot 46,59}{6} = 155,29 \text{ A.}$$

Предварительный ток уставки реле определяется из неравенства

$$I'_{y.p} \geq 1,2 I_{c.к} = 1,2 \cdot 3 = 3,6 \text{ A.}$$

Из справочной литературы для МТЗ Q₂ выбирается реле типа РТ-40/10 с током уставки $I_{y.p} = 5 \text{ A}$.

Коэффициент чувствительности в конце основной зоны защиты в точке K₁ с учетом двухфазного тока короткого замыкания определяется по уравнению $I_{к2 \min}^{(2)} = 0,87 I_{к2 \min}^{(3)}$, ток срабатывания резервной защиты находится $I_{c.з.p} = k_{T.T} I_{y.p}$.

$$k_q = \frac{I_{к2 \min}^{(2)}}{I_{c.з.p}} \geq 1,5; \quad k_q = \frac{0,87 \cdot 85}{6 \cdot 5} = 2,5; \quad 2,5 > 1,5.$$

В резервной зоне коэффициент чувствительности вычисляется с учетом двухфазного минимального тока КЗ на фидере K₁

$$k_q = \frac{I_{к1 \min}^{(2)}}{I_{c.з.p}} \geq 1,2; \quad k_q = \frac{0,87 \cdot 60}{6 \cdot 5} = 1,74; \quad 1,74 > 1,2.$$

Принимается время выдержки максимальных токовых защит Q₁ и Q₂ с учетом ступенчатого отключения через $\Delta t = 0,5 \text{ с}$:

- в резервной зоне $t_1 = \Delta t = 0,5 \text{ с}$;
- в основной зоне $t_2 = t_1 + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с}$.

15 РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Защитное заземление - это соединение с землей металлических нетоковедущих элементов и корпусов электрического оборудования, которые при эксплуатации могут оказаться под напряжением.

Заземляющие устройства применяются для снижения напряжения на корпусах электрооборудования относительно земли и уменьшения величины поражающего тока, проходящего через человека в момент его прикосновения к металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением в результате пробоя изоляции и замыкания проводников на корпус установки.

Заземляющее устройство - совокупность проводников, полос связи и заземляющих электродов, предназначенных для соединения внешних нетоковедущих металлических поверхностей электрооборудования с землей.

Заземляющие устройства бывают одиночные и групповые и подразделяются на естественные и искусственные.

К естественным заземляющим устройствам относятся: водопроводные трубы, проложенные в земле; конструкции зданий и сооружений выполненные из металла и надежно соединенные с землей; оболочки кабелей, изготовленные из металлической ленты; обсадные трубы артезианских скважин.

В качестве искусственных устройств заземления применяются стальные трубы диаметром 3...5 см, с толщиной стенок от 3,5 мм и длиной 2...3 м. Полосовая сталь толщиной не менее 4 мм. Угловая сталь толщиной 4 мм и более. Прутковая сталь диаметром более 10 мм и длиной до 10 м.

Согласно ПУЭ для электроустановок напряжением выше 1000 В с глухозаземлённой нейтралью сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 0,5 Ом. Сопротивление заземления для установок напряжением ниже 1000 В с изолированной нейтралью обязано не превышать 4 Ом для генераторов и трансформаторов с суммарной мощностью более 100 кВА и иметь значение не выше 10 Ом, если общая мощность указанных устройств равна 100 кВА и ниже.

В установках с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединяют нейтральный проводник трансформаторов и генераторов, должно быть не более 2 Ом для установок, рассчитанных на напряжение 660/380 В, 4 Ом - для электротехнических устройств разработанных на напряжение 380/220 В и 8 Ом - для оборудования, подключаемого к напряжению 220/127 В.

Соппротивление искусственного заземляющего устройства, предназначенного для подключения нейтралей трансформаторов и генераторов, не должно быть выше 15 Ом, если установки рассчитаны на напряжение 660/380 В, 30 Ом - когда напряжение равно 380/220 В и 60 Ом - для напряжения 220/127 В.

Повторное заземление выполняется на концах воздушных линий электроснабжения длиной более 200 м и на вводах в здания, когда электроустановки размещены внутри помещений. Общее сопротивление всех проводников повторного заземления не должно быть больше 5 Ом при напряжении питания 660/380 В, 10 Ом - для напряжения на шинах ТП 380/220 В и 20 Ом - если подключение осуществляется на напряжение 220/127 В.

Соппротивление заземляющего устройства каждого из повторных заземлителей не должно быть выше: для электроустановок, рассчитанных на напряжение 660/380 В - 15 Ом, электрических устройств, изготавливаемых на напряжение 380/220 В - 30 Ом, электрооборудования, работающего от сети 220/127 В - 60 Ом.

Для объектов, оснащенных электротехническим оборудованием напряжением до 1000 В с глухозаземлённой нейтралью, устанавливаемых на поверхности земли с удельным сопротивлением грунта более $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, допускается увеличение сопротивления заземляющих устройств в $\frac{\rho}{100}$ раз. Для электроустановок, расположенных на поверхности грунта с удельным сопротивлением более 500 Ом·м, разрешается увеличение сопротивления заземления до $\frac{\rho}{500}$, но не более чем в десять раз.

Величины удельных сопротивлений грунтов, коэффициенты сезонности для различных регионов РФ и состояния грунта на момент измерения представлены в таблицах 15.1...15.3.

Таблица 15.1 - Удельные сопротивления грунтов

Грунт	Удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м
Торф	20
Чернозем	50
Глина	60
Глина, смешанная с известняком и щебнем	125
Супесь	150
Песок при грунтовых водах до 5 м	500
Песок при грунтовых водах глубже 5 м	1000

Таблица 15.2 - Коэффициент сезонности для электродов в зависимости от климатической зоны

Климатическая зона	Климатический признак зон		Коэффициент сезонности k_c для электродов				
	Средняя многолетняя температура, °С		Продолжительность замерзания вод, сутки	Вертикальных длиной 3 м	Вертикальных длиной 5 м	Горизонтальных длиной 10 м	Горизонтальных длиной до 50 м
	январь	июль					
Архангельская, Кировская области	-20 -15	+15 +18	170-190	1,65	1,35	5,5	4,4
Ленинградская, Вологодская, Московская области	-15-10	+18+22	150	1,45	1,25	3,5	3,0
Смоленская, Курская области	-10 - 0	+22+24	100	1,3	1,15	2,5	2,0
Ставропольский, Краснодарский края	0+5	+24+26	0	1,1	1,1	1,5	1,4

Таблица 15.3 - Коэффициенты, учитывающие состояние грунта в момент измерения

Тип электрода	Коэффициенты к значениям удельного сопротивления земли, учитывающие её состояние во время измерения		
	K_1	K_2	K_3
Вертикальный: длиной до 3 м длиной до 5 м	1,15	1	0,92
	1,1	1	0,95
Горизонтальный: длиной до 10 м длиной до 50 м	1,7	1	0,75
	1,6	1	0,8

Коэффициент k_1 применяется в расчетах заземляющих устройств для влажной земли. Измерению удельного сопротивления предшествовало выпадение большого количества осадков. Выбирать k_2 рекомендуется, когда коэффициент вязкости земли соответствует нормальной влажности, а перед замером сопротивления произошло выпадение небольшого количества осадков. Использовать k_3 следует, если земля сухая и количество выпавших осадков ниже нормы для выбранной местности.

Расчет заземляющих устройств выполняется в соответствии со следующим алгоритмом.

На первом этапе, исходя из напряжения сети и вида электроустановки, выбирается нормативное сопротивление заземляющего устройства r_z .

Далее по расширенной формуле определяется активное сопротивление, которое оказывает вертикальный электрод растеканию тока,

$$R_B = \frac{0,37\rho_p}{l} \left[\lg\left(\frac{kl}{d}\right) + 0,5 \lg\left(\frac{4h_{cp} + l}{4h_{cp} - l}\right) \right], \quad (15.1)$$

где ρ_p - расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

l - длина электрода, м;

k - коэффициент формы вертикального заземлителя ($k = 2$ для круглых стержней и труб, $k = 2,1$ для уголков);

d - внешний диаметр трубы или стержня, а для уголка ширина грани, м;

h_{cp} - глубина заложения определяемая как расстояние от поверхности земли до середины трубы или стержня, м.

Если требуется приближенно рассчитать сопротивление R_B , то прибегают к уравнению

$$R_B \cong \frac{\rho}{l}, \quad (15.2)$$

где ρ - удельное сопротивление грунта, взятое из справочной таблицы или измеренное прибором, Ом·м.

Расчетное сопротивление грунта

$$\rho_p = k k_c \rho_{изм}, \quad (15.3)$$

где k_c - коэффициент сезонности;

$\rho_{изм}$ - удельное сопротивление грунта, полученное в результате измерения, Ом·м.

Сопротивление горизонтального заземлителя - полосы связи находится по выражению

$$R_r = \frac{0,37\rho_p \lg\left(\frac{k_r l^2}{d_r h_r}\right)}{l_r}, \quad (15.4)$$

где l_r - длина горизонтального заземлителя, м;

k_r - коэффициент формы горизонтального заземлителя ($k_r = 1$ для круглого сечения, $k_r = 2$ для прямоугольного сечения);

d_r - диаметр круглой стали или ширины полосы прямоугольного сечения, м;

h_r - глубина заложения горизонтального заземлителя, м.

Для приближенного вычисления R_r следует воспользоваться формулой

$$R_r = \frac{2\rho}{l}. \quad (15.5)$$

Сопротивление искусственного заземляющего устройства

$$r_{\text{и}} = \frac{r_3 r_e}{r_e - r_3}, \quad (15.6)$$

где r_e - сопротивление естественного заземлителя, Ом.

В случае, когда естественные заземлители не используются, то $r_{\text{и}} = r_3$.

Расчет сопротивления искусственного заземления для электроустановок напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали выполняется по формуле

$$r_{\text{и}} = \frac{r_3 r_{\text{п.з}}}{r_{\text{п.з}} - r_3}, \quad (15.7)$$

где $r_{\text{п.з}}$ - эквивалентное (суммарное) сопротивление повторных заземлений, Ом.

Когда при проектировании заземляющих устройств сельскохозяйственных объектов одновременно с искусственными заземлителями планируется применять и естественные, то формула (15.7) приводится к следующему виду

$$r_{\text{и}} = \frac{r_3 r_{\text{п.з}} r_e}{r_{\text{п.з}} r_e - k_3 (r_{\text{п.з}} - r_e)}, \quad (15.8)$$

где k_3 - коэффициент экранирования.

Количество вертикальных заземлителей рассчитывается

$$n_{\text{т}} = \frac{R_{\text{в}}}{r_{\text{и}}}. \quad (15.9)$$

Действительное число вертикальных стержней с учетом сопротивления полосы связи

$$n_d = \frac{R_B k_{э.Г}}{k_{э.В}} \left(\frac{1}{r_{и} k_{э.Г}} - \frac{1}{R_{Г}} \right), \quad (15.10)$$

где $k_{э.Г}$ - коэффициент экранирования горизонтальных заземлителей - полосы связи;

$k_{э.В}$ - коэффициент экранирования вертикальных заземлителей.

Коэффициенты экранирования берутся из таблиц Б7 и Б8, представленных в приложении.

Таблица 15.4 - Коэффициенты использования заземлителей из труб, стержней или уголков, размещённых в ряд

Отношение расстояния между трубами, стержнями или уголками к их длине a/l	Количество труб, стержней, уголков n	K_B
1	4	0,66-0,72
	6	0,58-0,65
	10	0,52-0,58
	20	0,44-0,50
	40	0,38-0,44
	60	0,36-0,42
	100	0,33-0,39
2	4	0,76-0,80
	6	0,71-0,75
	10	0,66-0,71
	20	0,61-0,66
	40	0,55-0,61
	60	0,52-0,58
	100	0,49-0,55
3	4	0,84-0,86
	6	0,78-0,82
	10	0,74-0,78
	20	0,68-0,73
	40	0,64-0,69
	60	0,62-0,67
	100	0,59-0,65

Если в результате расчета установлено, что $n_d \leq n_T$, то количество стержней заземляющего устройства принимается равным n_T . В противном случае, когда $n_d > n_T$ за основу берется расчетное значение стержней равное n_d .

Таблица 15.5 - Коэффициенты использования соединительной полосы
в контуре k_r

Отношение расстояния между заземлителями к их длине, а/л	Количество труб, стержней, уголков в контуре заземления, п								
	4	6	8	10	20	30	50	70	100
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35	0,33

Без учета сопротивления полосы связи действительное сопротивление стержней определяется по формуле

$$n_d = \frac{n_T}{k_{э.в}}. \quad (15.11)$$

По полученному значению n_d из графика уточняется величина коэффициента экранирования вертикальных стержней $k_{э.в}'$ устройства заземления.

Расчетное сопротивление заземляющего устройства находится из уравнения

$$r_p = \frac{R_B}{n_d k_{э.в}'}. \quad (15.12)$$

Расчет устройства заземления электроустановки или объекта можно закончить, если выполняется неравенство $r_p \leq r_{и.}$ В случае когда в результате расчетов установлено, что $r_p > r_{и.}$, то следует увеличить количество заземляющих электродов и произвести перерасчет сопротивления, чтобы добиться соблюдения условия $r_p \leq r_{и.}$

Пример. Произвести расчет заземляющего устройства трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ, расположенной в Ставропольском крае, и шести повторных заземлений нулевого провода, отходящих от распределительной подстанции линий электроснабжения. Подстанция установлена на поверхности почвы, в состав которой входят глина и известняк с щебнем. От трансформаторной подстанции отходят три воздушные линии напряжением 380/220 В. Удельное сопротивление грунта, взятое из справочной таблицы равно $\rho_{изм} = 125 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Заземляющий контур выполняется в виде прямоугольника с заложением в грунт стальных цилиндрических электродов диаметром $d = 16 \text{ мм}$ и длиной $l = 5 \text{ метров}$. Электроды соединяются между собой стальной полосой $40 \times 4 \text{ мм}$. Глубина заложения стержней равна $h = 0,9 \text{ м}$, соединительной полосы 1 м . Коэффициент формы круглого

вертикального заземлителя принимается $k = 2$. Коэффициент формы горизонтальной полосы заземления для прямоугольного сечения равен $k_r = 2$. Коэффициент сезонности равен $k_c = 1,1$. Коэффициент состояния грунта $k_1 = 1,1$. Нормативное сопротивление заземляющего устройства $r_3 = 4$ Ом.

Алгоритм решения

Расчетное сопротивление грунта для стальных, круглых заземлителей находится по формуле

$$\rho_p = k_1 k_c \rho_{изм} = 1 \cdot 1,1 \cdot 125 = 137,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Сопротивление вертикального стального электрода

$$R_B = \frac{0,37 \rho_p}{l} \left[\lg \left(\frac{kl}{d} \right) + 0,5 \lg \left(\frac{4h_{cp} + l}{4h_{cp} - l} \right) \right] =$$

$$= \frac{0,37 \cdot 137,5}{5} \left[\lg \left(\frac{2 \cdot 5}{0,016} \right) + 0,5 \lg \left(\frac{4 \cdot 2,9 + 5}{4 \cdot 2,9 - 5} \right) \right] = 30,6 \text{ Ом}.$$

Согласно рекомендаций сопротивление повторного заземления $R_{п.з}$ не должно быть больше 30 Ом при сопротивлении грунта $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и меньше.

Если $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, то допускается произвести расчет сопротивления повторного заземления по уравнению

$$R'_{п.з} = \frac{30\rho}{100} = \frac{30 \cdot 137,5}{100} \cong 41 \text{ Ом}.$$

Исходя из неравенства $30,6 \text{ Ом} < 41 \text{ Ом}$, повторное заземление выполняется одностержневым стальным заземляющим электродом диаметром 16 мм и длиной 5 м.

Суммарное сопротивление шести повторных заземлений равно

$$r_{п.з} = \frac{R_B}{n} = \frac{30,6}{6} = 5,1 \text{ Ом}.$$

Расчетное сопротивление заземления нейтрали трансформатора с учетом повторных заземлений

$$r_{и} = \frac{r_3 r_{п.з}}{r_{п.з} - r_3} = \frac{4 \cdot 5,1}{5,1 - 4} = 18,5 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление заземляющих устройств согласно ПУЭ не должно превышать 10 Ом при напряжении сети 380/220 В. Тогда, для дальнейшего расчета принимается $r_{и} = 10 \text{ Ом}$.

Теоретическое число стержней рассчитывается

$$n_T = \frac{R_B}{r_{\text{и}}} = \frac{30,6}{10} = 3,1.$$

Принимается четыре стержня ($n_T = 4$) с расположением в грунте на расстоянии $a = 5$ м друг от друга.

Длина горизонтальной полосы связи находится в соответствии с формулой

$$l_r = a n_T = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м.}$$

Расчетное сопротивление грунта для полосы связи

$$\rho_{p,r} = k_1 k_c \rho_{\text{изм}} = 1,7 \cdot 1,5 \cdot 125 = 318,8 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Сопротивление полосы связи рассчитывается

$$R_r = 0,37 \frac{\rho_{p,r}}{l_r} \lg \left(\frac{k_r l_r^2}{dh} \right) = 0,37 \frac{318,8}{20} \lg \left(\frac{2 \cdot 20^2}{0,04 \cdot 1} \right) = 25,4 \text{ Ом.}$$

Действительное число стержней с учетом $k_{\text{э},r} = 0,6$; $k_{\text{э},b} = 0,7$

$$n_d = \frac{R_B k_{\text{э},r}}{k_{\text{э},b}} \left(\frac{1}{r_{\text{и}} k_{\text{э},r}} - \frac{1}{R_r} \right) = \frac{30,6 \cdot 0,6}{0,7} \left(\frac{1}{10 \cdot 0,6} - \frac{1}{25,4} \right) = 5,5$$

Для удобства монтажа принимается $n_d = 6$.

Выполняется поверочный расчет.

Сопротивление искусственного заземления

$$r_{\text{и}} = \frac{R_B R_r}{n_d R_r k_{\text{э},b} + R_B k_{\text{э},r}} = \frac{30,6 \cdot 25,4}{6 \cdot 24,4 \cdot 0,7 + 30,6 \cdot 0,6} = 6,4 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом.}$$

С учетом повторных заземлений нулевого провода сопротивление заземляющего устройства находится

$$r_p = \frac{r_{\text{и}} r_{\text{п.з}}}{r_{\text{и}} + r_{\text{п.з}}} = \frac{6,4 \cdot 5,1}{6,4 + 5,1} = 2,8 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом.}$$

Если планируется организовать заземляющее устройство без полосы связи, то действительное число стержней определяется

$$n_d = \frac{n_T}{k_{\text{э},b}} = \frac{4}{0,7} = 5,7.$$

Полученное число округляется и принимается 6 стержней для организации устройства заземления.

16. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ 2.2»

Создание проекта системы электроснабжения объекта - задача достаточно сложная и ответственная, особенно если речь идет о крупных предприятиях производственного, сельскохозяйственного и коммунально-бытового назначения. Бесперебойная поставка электрической энергии приёмникам во многом зависит от того, как на этапе проектирования происходило согласование между вырабатывающими, распределяющими и потребляющими устройствами энергосистемы. Добиться полного согласования возможно, если в процессе выполнения проектных работ принимают участие коллективы разработчиков с большим теоретическим и практическим опытом работы. К сожалению, в последние годы количество подобных проектных организаций сильно сократилось, а оставшиеся в основном укомплектованы молодыми сотрудниками - выпускниками высших учебных заведений, которые не обладают в полной мере профессиональными навыками, изготовления проектной документации систем электроснабжения различных объектов. Слабая подготовка молодых специалистов приводит к большому количеству ошибок и несогласований в процессе проектирования устройств электроснабжения производственного и бытового секторов энергообъектов агропромышленного профиля.

Кроме того, из-за высокой стоимости проектных работ электроэнергетические службы хозяйств пытаются сами без проектной документации выполнять монтажные работы элементов электрических сетей без предварительных расчетов. Пренебрежение проектированием систем электроснабжения может привести к нарушению ряда правил, например, определению необходимых длин для участков линии электропередачи проводов и кабелей, а также к неверному выбору их сечений. Если сечение проводов и кабелей будет меньше, чем того требует норма, то они просто не выдержат механической нагрузки, что приведет к обрывам и как следствие, сбоям в работе электросети. Выбор же слишком большого сечения проводов и кабелей - излишняя трата денежных средств.

Для устранения сложившейся ситуации в области проектирования линий электропередачи, трансформаторных подстанций, аппаратуры управления и защиты объектов сельскохозяйственного назначения рекомендуется широко использовать компьютерные программные разработки для расчетов элементов систем электроснабжения производственных, административных и бытовых зданий агропромышленных поселений и фермерских хозяйств.

В Ставропольском государственном аграрном университете на кафедре применения электрической энергии в сельском хозяйстве была разработана универсальная электронная среда с большим объемом разнообразных баз данных для автоматизированного проектирования систем электроснабжения объектов - «**Электроснабжение 2.2**».

Предлагаемая программа позволяет избежать указанных выше проблем при разработке проектов электроснабжения и дает возможность в короткий срок систематизировать и обработать большое количество разнообразных данных, выполнить ряд сложных расчетов, например, суммировать мощность вечерних и дневных нагрузок, определить токи короткого замыкания, рассчитать параметры и составить конфигурацию электрических сетей, рассчитанных на напряжения: 0,38; 6; 10 и 35 кВ.

Разработанный программный продукт позволяет произвести расчет новых линий электропередачи или выполнить реконструкцию действующих систем электроснабжения, определить место расположения распределительной подстанции, установить мощность и количество потребительских трансформаторных подстанций, выбрать аппаратуру управления и защиты средств распределения и потребления электрической энергии.

Одной из функциональных особенностей программы является возможность размещения на плане объекта до 200 потребительских ТП, запитанных от распределительной трансформаторной подстанции (РТП). Каждая трансформаторная подстанция обеспечивает электрической энергией до 200 потребителей (для промышленности до 200 групп потребителей). Максимальное число потребителей составляет $200 \times 200 = 40000$.

Результаты проектирования сохраняются в файл с расширением **.doc**. К результатам проектирования имеется доступ для их редактирования и переноса в расчетно-пояснительную записку и на графические листы.

Процесс расчета состоит из следующих основных этапов.

1. Ввод исходных данных.
2. Определение места расположения ТП и выбор конфигурации сети 0,38 кВ.
3. Расчет электрических нагрузок сети 0,38 кВ.
4. Нахождение количества и номинальных значений мощности трансформаторов на подстанции.
5. Выбор типа подстанции.
6. Вычисление координат расположения подстанции, выявление конфигурации сети высокого напряжения и его числового номинального значения.

7. Определение нагрузки в сети напряжением свыше 1 кВ.
8. Расчет сечения проводов в сети высокого напряжения.
9. Определение потерь напряжения в высоковольтной сети и трансформаторах.
10. Нахождение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения и трансформаторе.
11. Выявление допустимых потерь напряжения в сети 0,38 кВ.
12. Расчет сечения проводов и фактических потерь напряжения, мощности и энергии в низковольтных сетях.
13. Установление конструктивных параметров высоковольтной и низковольтной линий.
14. Вычисление токов короткого замыкания.
15. Выбор и проверка аппаратуры высокого напряжения для ячейки питающей линии.
16. Расчет электрических нагрузок населенного пункта.
17. Компенсация реактивной мощности в сетях 0,38 кВ.
18. Расчет сети на потерю напряжения при пуске наибольшего по мощности электродвигателя.
19. Определение уставок релейной защиты.
20. Выбор и проверка высоковольтной и низковольтной аппаратуры управления и защиты на подстанции.
21. Подбор устройств защиты от перенапряжений.
22. Расчет контура заземления трансформаторной подстанции.

Интерфейс программы оснащен кнопками управления с названиями и одновременно обозначением функциональных возможностей:



– «Установка РТП»;



– «Размещение потребительских подстанций»;



– «Установка разветвительной опоры»;



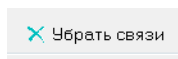
– «Прокладка ЛЭП»;



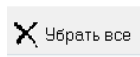
– «Построение конфигурации низковольтной сети»;



– «Изменение местоположения ТП»;



– «Удаление ЛЭП»;



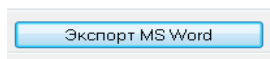
– «Очистка конфигурации сети»;



– «Настройки программы»;



– «Предварительный расчет»;



– «Формирование расчетно-пояснительной части»;



– «Открытие рабочей папки».

Внешний вид окна программы со строкой меню и панелями инструментов, предназначенной для расчета систем электроснабжения напряжением до 35 кВ с различным видом нагрузок объектов, представлен на рисунке 16.1.

В электронной среде программы предусмотрены средства для задания конфигурации сети высокого напряжения. Перед началом работы в строке, обозначенной под цифрой 1, следует задать размеры участка для проектирования электроснабжения объектов. Текущее положение курсора отображается в нижнем левом углу окна и высвечивает координаты РТП (позиция 2).

Следом за установкой размера поля для проектирования системы электроснабжения необходимо выполнить предварительные настройки,



нажав на кнопку - «Настройки программы», в результате появится панель, представленная на рисунке 16.2.

В меню настройки программы входит ряд опций для расчета:

- выбор рабочей базы данных нагрузок сельскохозяйственных или промышленных потребителей;
- возможность нахождения сечения проводов и кабелей низковольтной сети с учетом падения напряжения или плотности тока.

Кроме того, имеются дополнительные опции, предназначенные для расчетов:

- компенсации реактивной мощности;
- определения конструктивных параметров линии электропередачи;
- сети по потери напряжения при пуске электродвигателя большой мощности;
- контура заземления подстанции;

- временной характеристики селективности срабатывания и построения карты, конечных трансформаторных подстанций на линиях высокого напряжения.

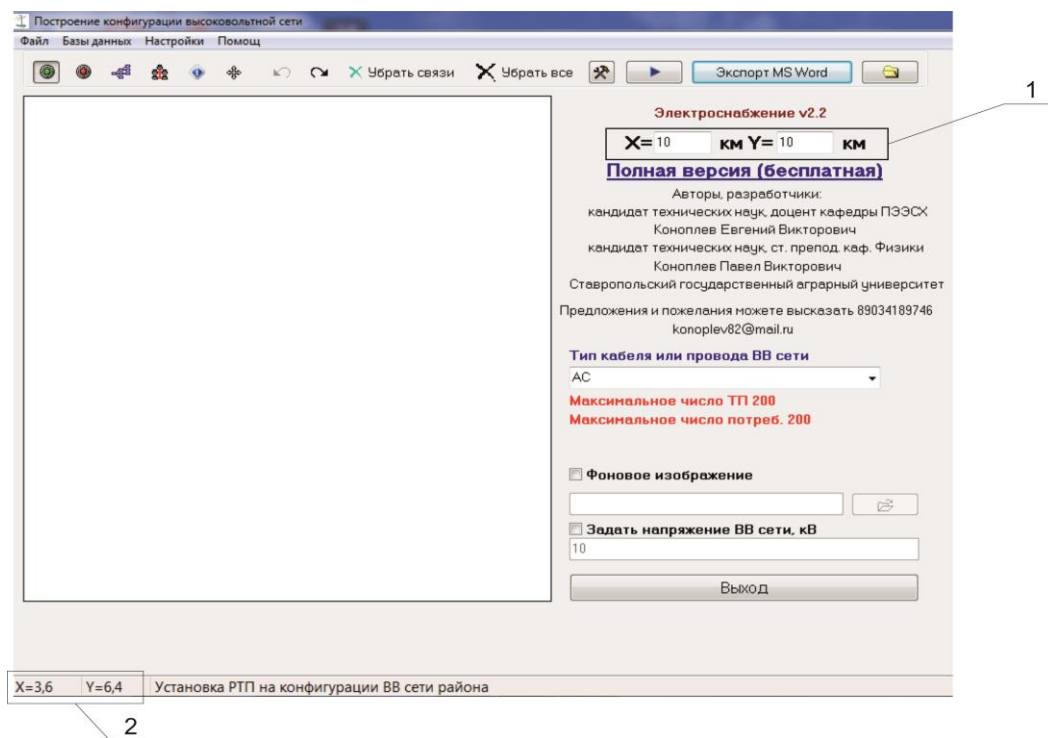


Рисунок 16.1 - Окно программы для проектирования электроснабжения агропромышленных объектов: 1 - ввод координат участка проектирования, 2 - текущее положение курсора на участке для проектирования

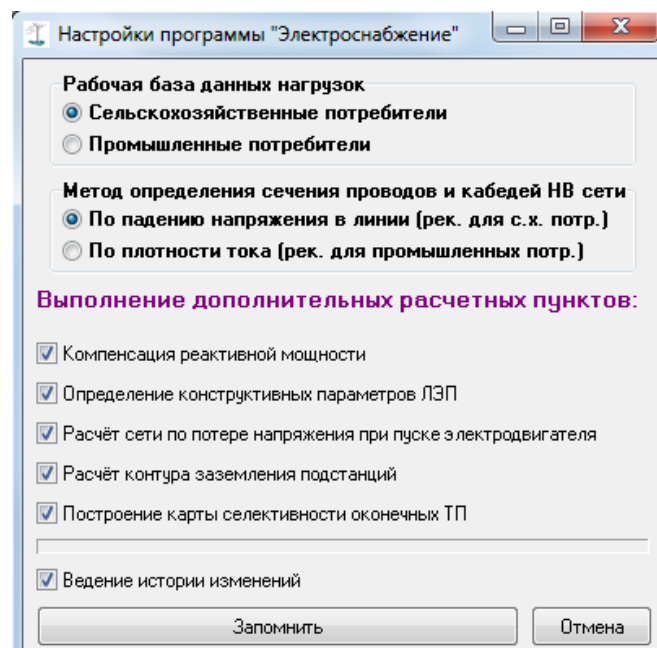


Рисунок 16.2 - Меню настройки программы

Для выбора места расположения трансформаторных подстанций на плане конфигурации высоковольтной сети необходимо нажать на кнопку, которая представлена иконкой  - «Размещение потребительских подстанций», и переместить курсор в поле проектирования. Установить курсор в выбранных координатах и кликнуть левой кнопкой мыши в указанном месте.

Для задания параметров низковольтной сети необходимо в строке меню курсором нажать на кнопку  - «Построение конфигурации низковольтной сети».левой кнопкой мыши в поле окна кликнуть на обозначение выбранной трансформаторной подстанции, чтобы определить её конфигурацию сети по низкому напряжению. В результате откроется электронное окно, представленное на рисунке 16.3.

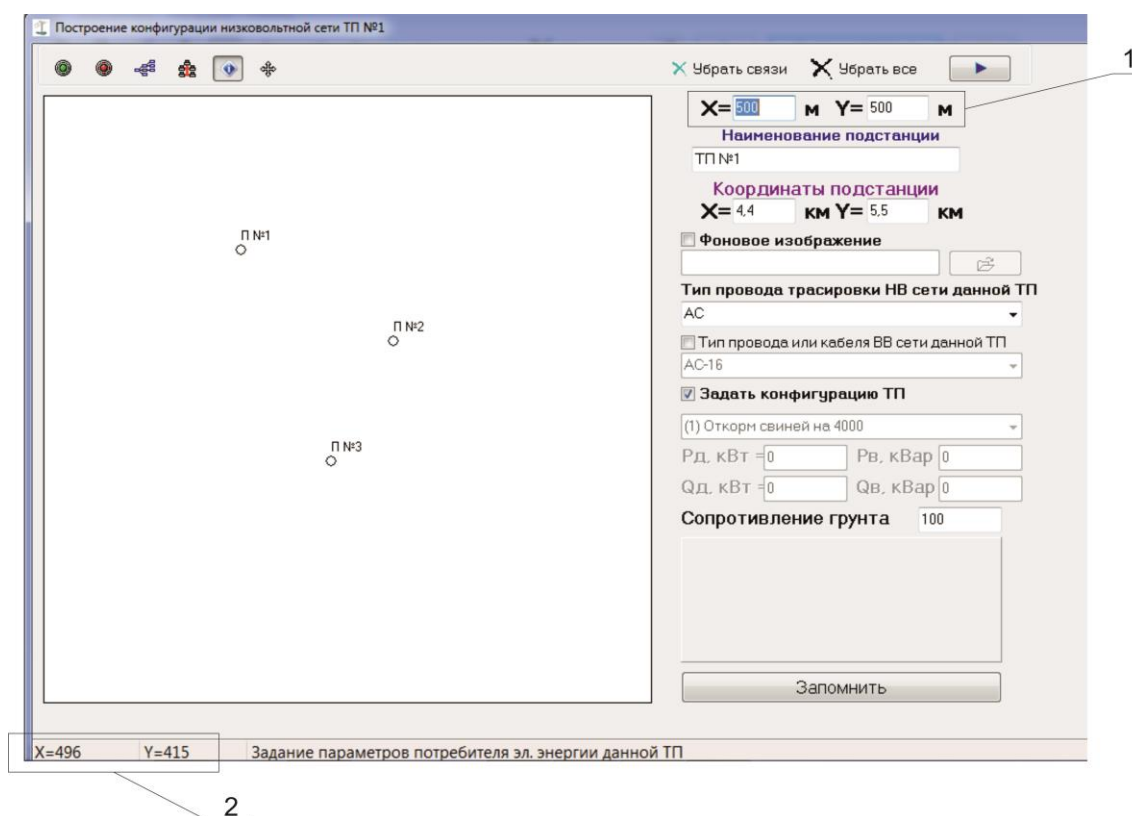


Рисунок 16.3 - Окно программы для построения конфигурации низковольтной сети

В правом поле окна высвечиваются строчки для задания параметров конфигурации сети низкого напряжения. В пустые строки вводятся координаты участка, на котором планируется протянуть линию электроснабжения, место положения трансформаторной подстанции, марка провода, способ прокладки и удельное сопротивление грунта.

Для установки потребителей электрической энергии сельскохозяйственного объекта в меню окна необходимо нажать на кнопку  - «Размещение потребителей» и расположить выбранные потребители энергии в соответствующих координатах. После выбора потребителей рассматриваемой трансформаторной подстанции задаются их мощностные характеристики.

В меню верхней строки окна «Построение конфигурации низковольтной сети» нажимается иконка  - «Задание свойств потребителей низковольтной сети» и кликом левой кнопки мыши выбирается потребитель, свойства которого необходимо задать. На экране монитора высвечивается окно программы (рисунок 16.4.) под названием «Задание параметров потребителей».

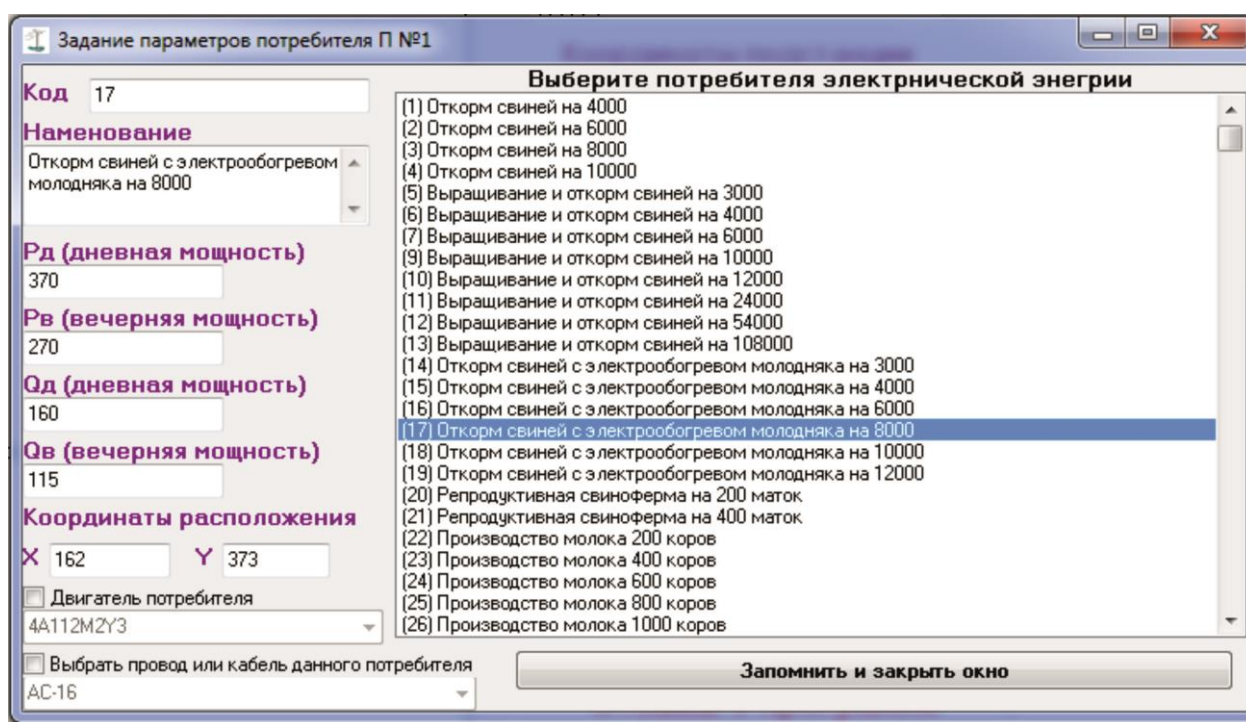


Рисунок 16.4 - Задание параметров потребителя низковольтной сети

В правой части окна, представленного на рисунке 16.4, выбирается потребитель электрической энергии с установленными значениями дневной и вечерней мощности для типовых сельскохозяйственных потребителей. Если мощность нагрузки отличается от стандартных значений, то в левой части окна имеются строчки для ручного ввода величин мощности дневной и вечерней нагрузки, координат расположения выбранного объекта электрического снабжения и типа нагрузки.

Исходя, из выбранных свойств потребителей выбранной трансформаторной подстанции, производится предварительный расчет системы электроснабжения, который позволяет установить центр электрических нагрузок (ЦЭН). Процедура выполняется в результате

нажатия курсором на иконку  - «Предварительный расчет». В конечном итоге на плане поля проектирования появится расчетное значение центра электрических нагрузок, в котором целесообразно установить трансформаторную подстанцию, рисунок 16.5.

В установленных координатах центра электрических нагрузок целесообразно расположить трансформаторную подстанцию, нажав на кнопку  - «Установка ТП». Затем необходимо соединить потребители электрической энергии П№1...П№3 и трансформаторную подстанцию в

единую сеть, нажав на иконку  - «Прокладка ЛЭП».

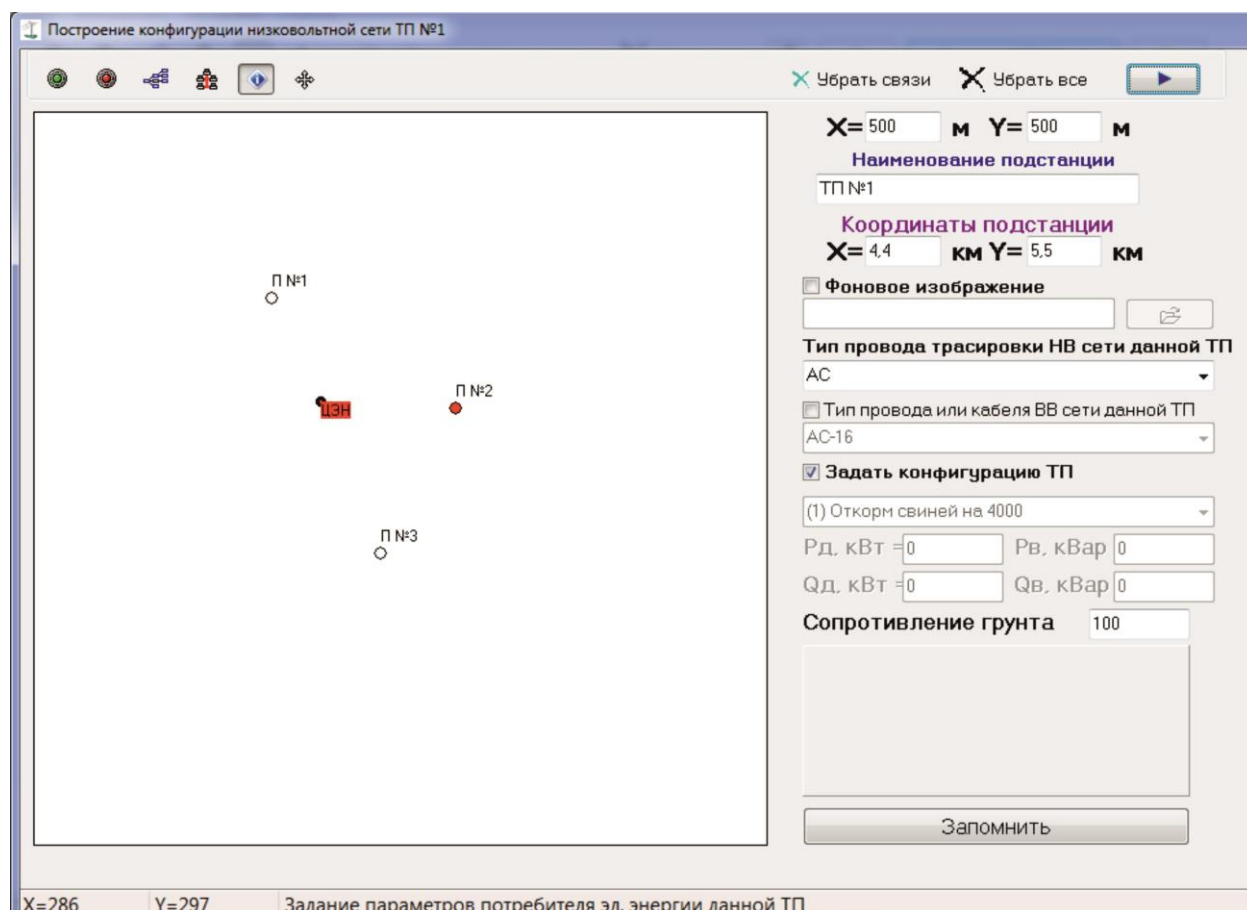


Рисунок 16.5 - Определение центра электрических нагрузок низковольтной сети

В результате на экране вычерчивается следующая конфигурация низковольтной сети, рисунок 16.6.

В программе предусматривается функция, направленная на то, что в процессе расчета низковольтной сети можно изменять ряд параметров, например, марку кабеля или провода, сечение проводов, мощность нагрузки трансформаторной подстанции, длину линии электропередачи. Выбор указанных величин можно осуществить в соответствующих полях электронного окна.

Для сохранения конфигурации низковольтной сети выбранной трансформаторной подстанции нажимается кнопка «Запомнить».

После задания параметров потребителей всех трансформаторных подстанций выполняется итоговый расчет системы электроснабжения с формированием пояснительной записки к проекту и необходимых графических материалов. Расчет осуществляется в результате нажатия кнопки «Экспорт MS Word» в меню главного окна программы.

Результаты работы программы в соответствии с алгоритмом формирования расчетно-пояснительной записки по дисциплине «Электроснабжение», направленной на проектирование и реконструкцию электрических сетей объектов сельскохозяйственного назначения представлены на рисунках 16.7 и 16.8.

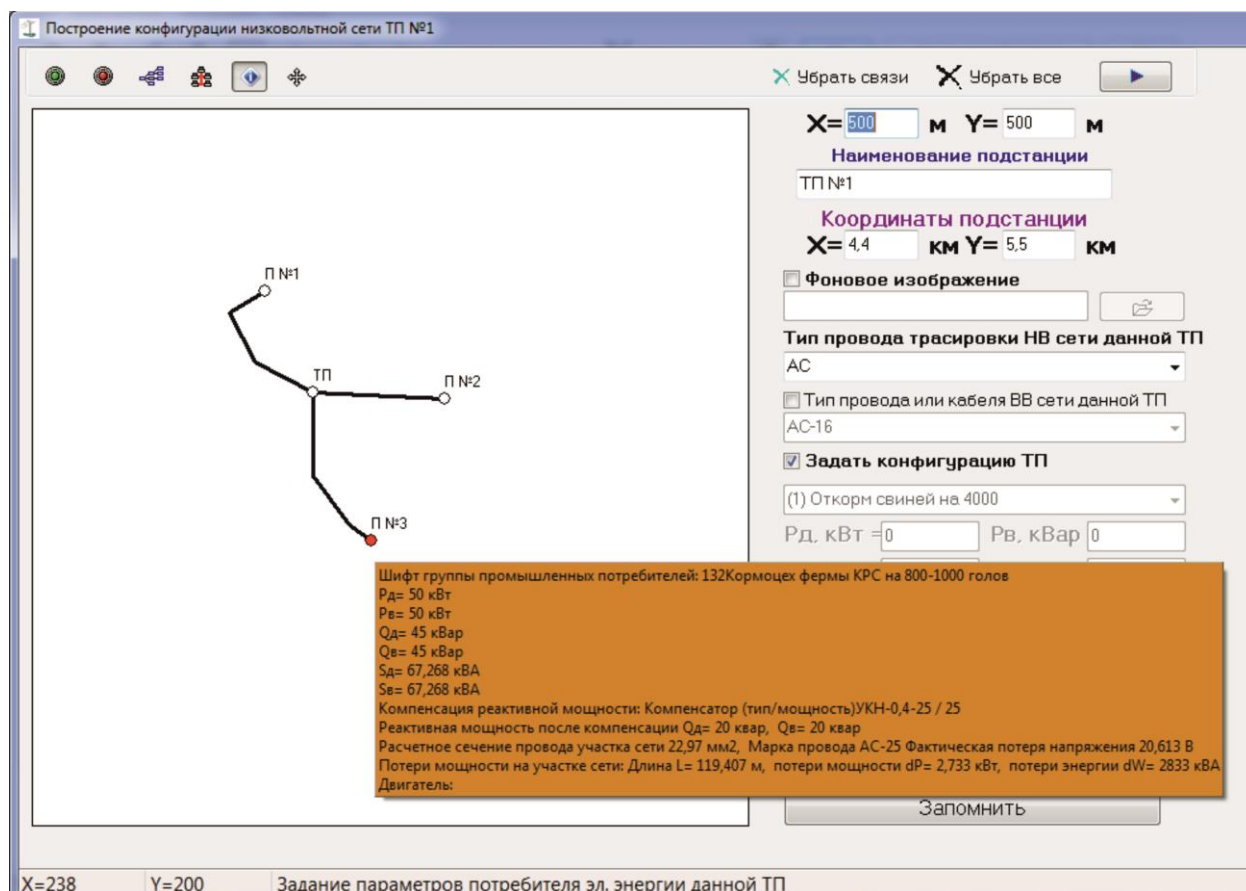


Рисунок 16.6 - Результаты расчета конфигурации низковольтной сети

Программный комплекс опирается на современные базы данных, например: характеристики промышленных и сельскохозяйственных потребителей, марки электрооборудования, величины номинальных мощностей трансформаторов и т.д., которые можно постоянно обновлять. Электронные окна для работы с базами данных представлены на рисунках 16.9...16.18.

В окнах для сельскохозяйственных и промышленных потребителей (рисунки 16.9 и 16.10) приводится нагрузка дневного и вечернего максимумов активной и реактивной мощности.

В окне «БД промышленных потребителей» дается информация о значениях коэффициента спроса и коэффициента мощности, рисунок 16.10.

В базе данных на рисунке 16.11 собраны значения коэффициентов использования и коэффициентов мощности для механизмов металлообрабатывающих станков.

В электронном окне под названием база данных «Трансформаторы» (рисунок 16.12) высвечиваются характеристики трансформаторов, а также приводятся: значения начальной и конечной номинальных мощностей, величины высокого и низкого напряжения, потери холостого хода, потери при коротком замыкании, напряжение к.з., ток холостого хода и марки трансформаторов.

В базе данных для проводов и кабелей (рисунок 16.13) указываются: марка провода или кабеля, номинальное сечение проводника, удельное сопротивление одного километра длины, масса одного километра провода, индуктивное сопротивление, тип кабеля или провода, рабочее напряжение.

В информации для масляных выключателей (рисунок 16.14) представлены: номинальное напряжение и токи.

В базе данных для разъединителей даются: номинальное напряжение и токи, рисунок 16.15.

В окне, в котором сосредоточены характеристики трансформаторов тока, представлены номинальные напряжения и токи, рисунок 16.16.

В базе данных для конденсаторных установок (рисунок 16.17) имеется следующая информация: наименование конденсаторной установки, ее серия и тип, номинальные значения мощностей, величины напряжения и тока, количество ступеней, масса и нормативный документ на использование.

В окне с данными для электродвигателей указываются: номинальная мощность, коэффициент мощности, КПД, пусковой ток, минимальный и максимальный ток и критическое скольжение.

Использование для расчетов электрических сетей программного обеспечения «Электроснабжение 2.2» позволяет сократить время на процесс проектирования, повысить производительность труда и наглядно продемонстрировать результаты проделанной работы.

Программный продукт «Электроснабжение 2.2» размещен в личных кабинетах профессора кафедры «Применение электрической энергии в сельском хозяйстве» ФГБОУ ВО Ставропольского государственного аграрного университета Никитенко Г.В. и доцента этой же кафедры Коноплева Е.В.

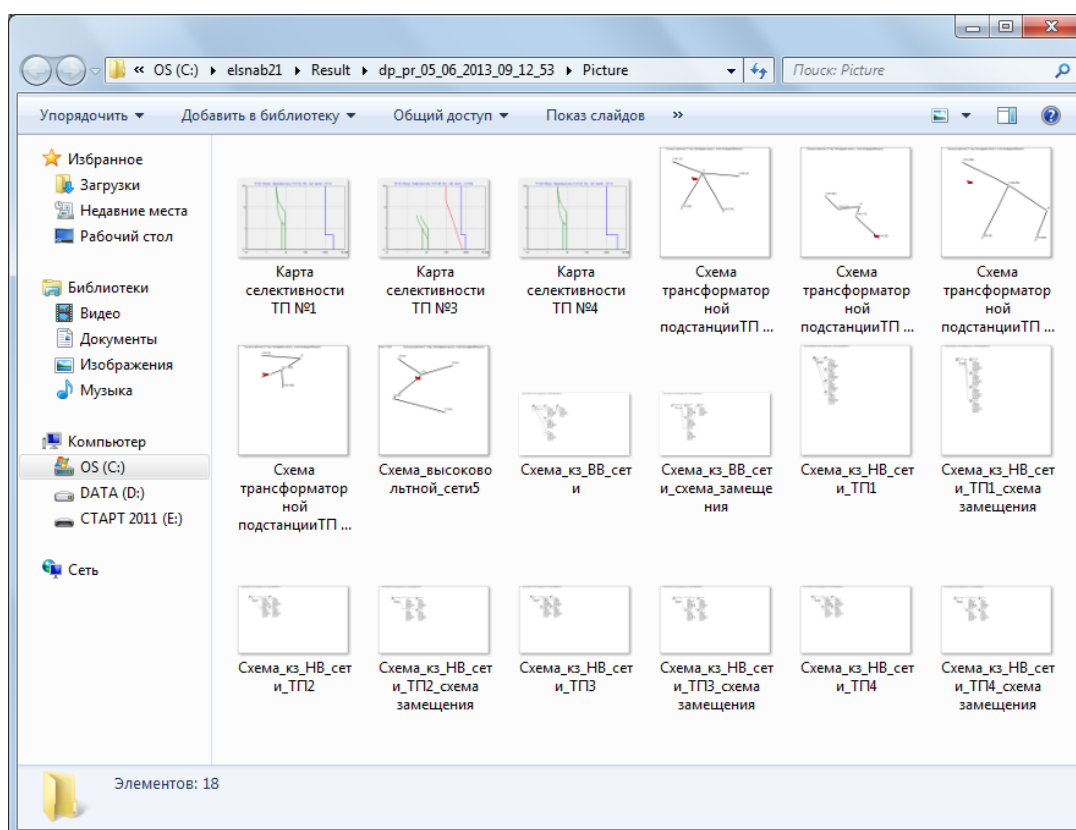


Рисунок 16.7 - Папка с содержанием схем и карт селективности

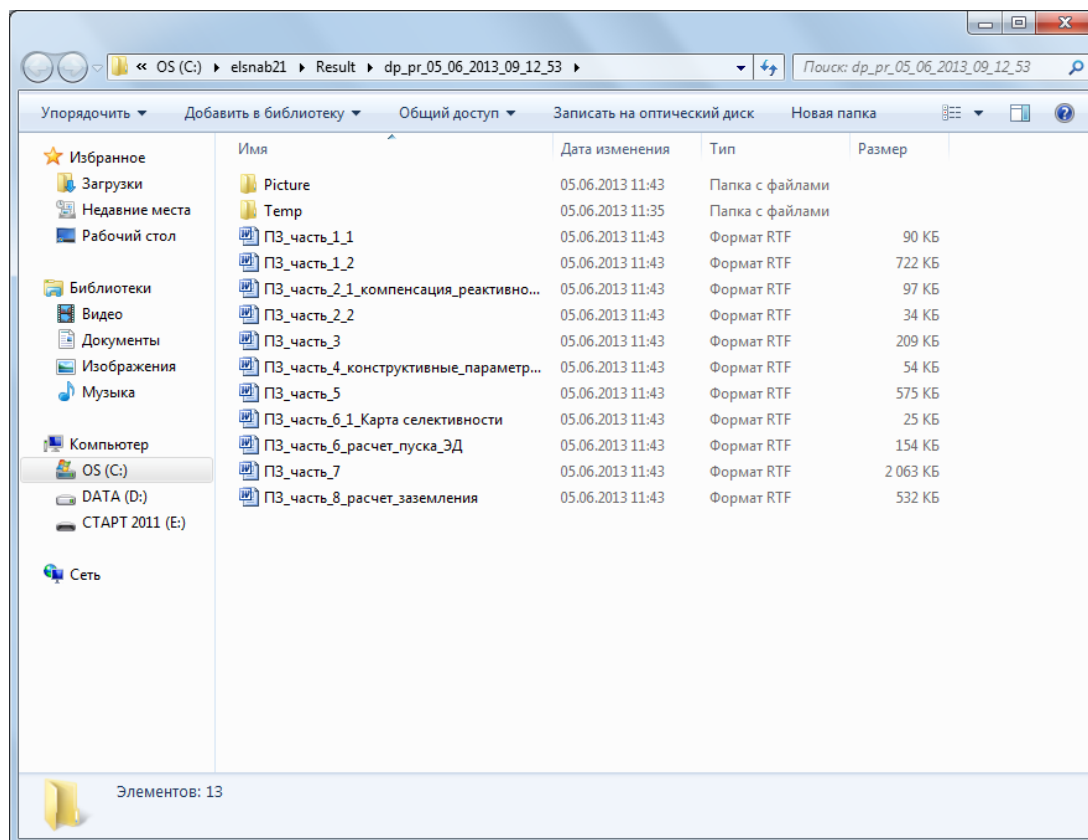


Рисунок 16.8 - Папка с содержанием материалов по проектированию электроснабжения потребителей

БД потребителей						
Наименование объекта	Шифр	Рд, кВт	Qд, кВар	Рв, кВт	Qв, кВар	
Откорм свиней на 4000	1	75	65	45	40	
Откорм свиней на 6000	2	120	105	65	60	
Откорм свиней на 8000	3	185	170	105	90	
Откорм свиней на 10000	4	240	210	120	105	
Выращивание и откорм свиней на 3000	5	105	90	65	60	
Выращивание и откорм свиней на 4000	6	120	105	90	80	
Выращивание и откорм свиней на 6000	7	150	150	105	90	
Выращивание и откорм свиней на 10000	9	300	260	150	120	
Выращивание и откорм свиней на 12000	10	420	430	310	320	
Выращивание и откорм свиней на 24000	11	560	570	420	430	
Выращивание и откорм свиней на 54000	12	700	715	520	530	
Выращивание и откорм свиней на 108000	13	1250	1280	900	920	
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 3000	14	185	80	145	65	
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 4000	15	220	95	185	80	
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 6000	16	280	120	230	100	
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 8000	17	370	160	270	115	
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 10000	18	550	235	370	160	
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на 12000	19	735	310	460	195	
Репродуктивная свиноферма на 200 маток	20	65	55	35	25	

Рисунок 16.9 - База данных сельскохозяйственных потребителей

БД промышленных потребителей			
Наименование цеха, производства	Кс (коэф. спроса)	cos(fi)	Примечание
Арматурный цех	0,35	0,6	Заводы тяжелого машиностроения
Рессорный цех	0,3	0,65	Заводы тяжелого машиностроения
Сварочный цех	0,45	0,6	Заводы тяжелого машиностроения
Аппаратный цех	0,3	0,7	Заводы тяжелого машиностроения
Изоляционный цех	0,6	0,9	Заводы тяжелого машиностроения
Лаковарочный цех	0,6	0,9	Заводы тяжелого машиностроения
Эстакада	0,25	0,65	Заводы тяжелого машиностроения
Цех пресс-порошка	0,5	0,85	Заводы тяжелого машиностроения
Цех электролиза	0,5	0,8	Заводы тяжелого машиностроения
Цех металлопокрытий	0,4	0,8	Заводы тяжелого машиностроения
Экспериментальный цех	0,2	0,7	Заводы тяжелого машиностроения
Главный корпус	0,4	0,85	Трансформаторные заводы
Сварочный корпус	0,35	0,7	Трансформаторные заводы
Аппаратный корпус	0,3	0,7	Трансформаторные заводы
Изоляционный корпус	0,6	0,9	Трансформаторные заводы

Рисунок 16.10 - База данных промышленных потребителей

Промышленные механизмы и аппараты		
Промышленные механизмы и аппараты	Ки (коэф. использ.)	cos(fi)
расточной станок	0,14	0,5
мелкие токарный станок	0,14	0,5
фрезерный станок	0,14	0,5
точильный станок	0,14	0,5
сверлильный станок	0,14	0,5
карусельный станок	0,14	0,5
строгальный станок	0,14	0,5
долбежный станок	0,14	0,5
расточной станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
мелкие токарный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
фрезерный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
точильный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
сверлильный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
карусельный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
строгальный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6
долбежный станок при крупносерийном производстве	0,16	0,6

Рисунок 16.11 - База данных промышленных механизмов и аппаратов

БД "Трансформаторы"

Нач. мощн.	Конечная мощн.	Мощность	В.В. напр.	Н.В. напр.	Потери х.х.	Потери к.з.	Напряжение к.з., %	Ток х.х., %	Тип трансформатора
0	37,5	25	10	0,4	0,125	0,6	4,5	3,2	ТМ-25
37,5	60	40	10	0,4	0,18	0,88	4,5	3	ТМ-40
60	94,5	63	10	0,4	0,265	1,28	4,5	2,8	ТМ-63
94,5	150	100	10	0,4	0,365	1,97	4,5	2,6	ТМ-100
150	240	160	10	0,4	0,54	2,65	4,5	2,4	ТМ-160
240	375	250	10	0,4	1,05	3,7	4,5	2,3	ТМ-250
375	600	400	10	0,4	1,45	5,5	4,5	2,1	ТМ-400
600	945	630	10	0,4	2,27	7,6	5,5	2	ТМ-630
945	1500	1000	10	0,4	3,8	12,7	5,5	3	ТМ-1000
1500	2500	2000	10	0,4	7,2	25,4	5,5	4	2 x ТМ-1000
2500	3500	3000	10	0,4	11	38,1	5,5	5	3 x ТМ-1000
3500	100000	4000	10	0,4	14,8	50,8	6	5,5	4 x ТМ-1000
0	150	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16	ТМ-100
150	240	160	35	0,4	0,66	2,65	6,5	2,4	ТМ-160
240	375	250	35	0,4	0,96	3,7	6,5	2,5	ТМ-250
375	600	400	35	0,4	1,35	5,5	6,5	2,1	ТМ-400
600	900	630	35	0,4	2	7,6	6,5	2	ТМ-630

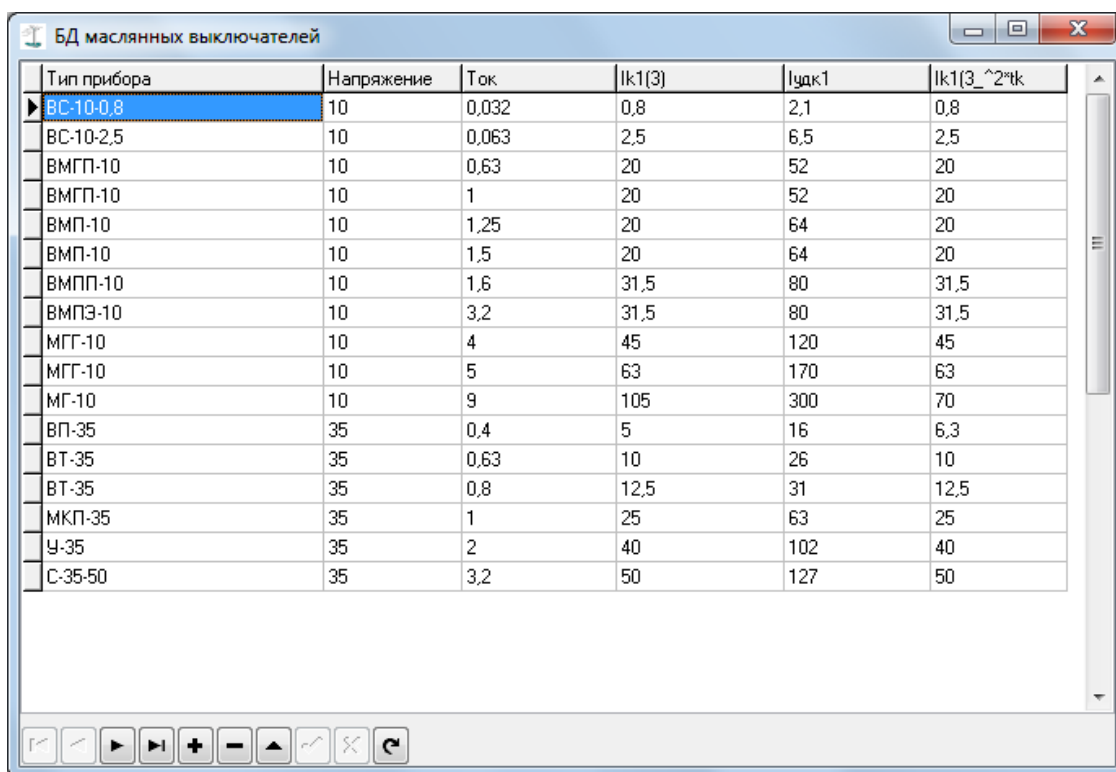
Рисунок 16.12 - База данных трансформаторов

БД проводов и кабелей

Марка провода	Ном. сечение	Сечение	Сопротивление, Ом/км	Масса, кг/км	X	Тип	U
AC-16	16	15,9	1,8	43	0,43	AC	35
AC-25	25	24,9	1,14	68	0,43	AC	35
AC-35	35	34,3	0,83	94	0,42	AC	35
AC-50	50	49,5	0,576	135	0,42	AC	35
AC-70	70	69,2	0,412	189	0,42	AC	35
AC-95	95	92,4	0,308	252	0,4	AC	35
AC-120	120	117	0,246	321	0,4	AC	35
AC-150	150	148	0,194	406	0,38	AC	35
AC-185	185	183	0,157	502	0,38	AC	35
AC-240	240	239	0,12	655	0,38	AC	35
AC-300	300	288	0,1	794	0,38	AC	35
AC-350	350	246	0,083	952	0,35	AC	35
AC-500	500	500	0,045	1800	0,35	AC	35
AC-1000	1000	1000	0,02	3600	0,35	AC	35
AC-2 x 1000	2000	2000	0,01	7200	0,35	AC	35
AC-3 x 1000	3000	3000	0,01	10800	0,35	AC	35
ABBG 3-2,5	2,5	2,5	12,1	107	0,09	ABBG 3	1
ABBG 3-4,0	4	4	7,41	148	0,09	ABBG 3	1
ABBG 3-6,0	6	6	5,11	178	0,09	ABBG 3	1
ABBG 3-10,0	10	10	3,08	233	0,07	ABBG 3	1
ABBG 3-16,0	16	16	1,91	298	0,07	ABBG 3	1

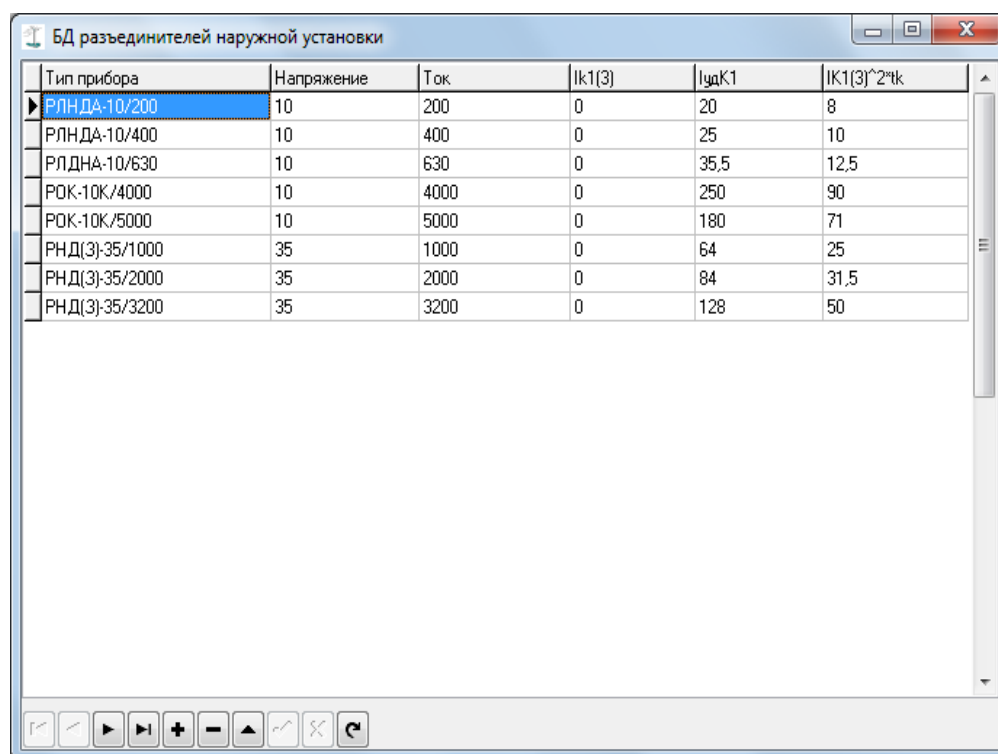
Заккрыть

Рисунок 16.13 - База данных проводов и кабелей



Тип прибора	Напряжение	Ток	Ik1(3)	IydK1	Ik1(3)^2tk
BC-10-0.8	10	0,032	0,8	2,1	0,8
BC-10-2,5	10	0,063	2,5	6,5	2,5
ВМГП-10	10	0,63	20	52	20
ВМГП-10	10	1	20	52	20
ВМП-10	10	1,25	20	64	20
ВМП-10	10	1,5	20	64	20
ВМПП-10	10	1,6	31,5	80	31,5
ВМПЗ-10	10	3,2	31,5	80	31,5
МГГ-10	10	4	45	120	45
МГГ-10	10	5	63	170	63
МГ-10	10	9	105	300	70
ВП-35	35	0,4	5	16	6,3
ВТ-35	35	0,63	10	26	10
ВТ-35	35	0,8	12,5	31	12,5
МКП-35	35	1	25	63	25
У-35	35	2	40	102	40
С-35-50	35	3,2	50	127	50

Рисунок 16.14 - База данных масляных выключателей



Тип прибора	Напряжение	Ток	Ik1(3)	IydK1	Ik1(3)^2tk
РЛНДА-10/200	10	200	0	20	8
РЛНДА-10/400	10	400	0	25	10
РЛНДА-10/630	10	630	0	35,5	12,5
РСК-10К/4000	10	4000	0	250	90
РСК-10К/5000	10	5000	0	180	71
РНД(З)-35/1000	35	1000	0	64	25
РНД(З)-35/2000	35	2000	0	84	31,5
РНД(З)-35/3200	35	3200	0	128	50

Рисунок 16.15 - База данных разъединителей

БД трансформаторов тока для внутренней и наружной установок

Тип прибора	Напряжение	Ток	IK1(3)	I _{зд} K1	IK1(3) ² ·k
▶ ТЛП-10КУЗ	10	2,47	0	2,47	0,04
ТЛП-10КУЗ	10	3,7	0	3,7	0,06
ТЛП-10КУЗ	10	7,4	0	7,4	0,12
ТЛП-10КУЗ	10	14,8	0	14,8	0,2
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	0,4
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	0,6
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	0,8
ТПЛМУ-10	10	70	0	70	1,2
ТПЛМУ-10	10	70	0	70	1,6
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	2,4
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	3,2
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	4
ТЛП-10КУЗ	10	74,5	0	74,5	6
ТШЛ-10К	10	125	0	125	8
ТШЛ-10К	10	125	0	125	12
ТШЛ-10К	10	125	0	125	16
ТШЛ-10К	10	125	0	125	20
ТПОЛ-35	35	100	0	100	1,6
ТПОЛ-35	35	100	0	100	2,4
ТПОЛ-35	35	100	0	100	3,2
ТПОЛ-35	35	100	0	100	4

Рисунок 16.16 - База данных трансформаторов тока

БД основных конденсаторных установок

Нач мощн	Кон мощн	Наименование	Серия, тип	Ном. мощн	Ном. U	Ном. f	Кол-во ступ	Масса, кг	ГОСТ
▶ 20	25	Установка конденсаторная	ККУ-0,4-20УЗ	20	0,4	50	2	20	ТУ 647РК
50	75	Установка конденсаторная	ККУ-0,4-50УЗ	50	0,4	50	2	25	ТУ 647РК
75	100	Установка конденсаторная дл	УКН6-0,4-75Уз	75	0,4	50	-	75	ТУ16-91 ИББЕ 67381
100	200	Установка конденсаторная дл	УКМ58-0,4-100-33 1/3 УЗ	100	0,4	50	3x33	175	ТУ16.673083-86 ИБД
200	268	Установка конденсаторная дл	УКМ58-0,4-200-33 1/3 УЗ	200	0,4	50	6x33	285	ТУ16.673083-86 ИБД
268	402	Устан. конд для авт. компенс.	УКМ58-0,4-268-67 УЗ	268	0,4	50	4x67	335	ТУ16.673083-86 ИБД
402	536	Устан. конд для авт. компенс.	УКМ-58-0,4-402-67 Уз	402	0,4	50	6x67	340	ТУ647РК-00213457.0
536	950	Устан. конд для авт. компенс.	УКМ-58-0,4-536-48 УЗ	536	0,4	50	8x67	340	ТУ647РК-00213457.0
950	1300	Уст. конд. для повышения коэ	УКЛ(П)57-10,5(6,3)-950УЗ	950	10,5	50	-	680	ТУ 16-91 ИББЕ 67382
1300	100000	Уст. конд. для повышения коэ	УКЛ(П)57-10,5(6,3)-1300УЗ	1300	10,5	50	-	940	ТУ 16-91 ИББЕ 67382
25	50	Установка конденсаторная	УКН-0,4-25	25	0,4	50	-	140	ТУ 647 РК

Рисунок 16.17 - База данных конденсаторных установок

БД двигателей											
Тип	Рном, кВт	cos(φ)	К.П.Д.	Iпуск	Imin	Imax	Ik	Rkp	Xkp	K1	Sk
4A112M2Y3	7,5	0,88	0,875	2	1,8	2,8	2	0,077	0,15	7,5	17
4A132M2Y3	11	0,9	0,88	1,7	1,5	2,8	1,7	0,068	0,12	7,5	19
4A160S2Y3	15	0,91	0,88	1,4	1	2,2	1,4	0,081	0,16	7	12
4A160M2Y2	18,5	0,92	0,885	1,4	1	2,2	1,4	0,079	0,16	7	12,5
4A180S2Y3	22	0,91	0,885	1,4	1,1	2,5	1,4	0,065	0,15	7,5	12,5
4A180M2Y3	30	0,9	0,905	1,4	1,1	2,5	1,4	0,054	0,13	7,5	12,5
4A200M2Y3	37	0,89	0,9	1,4	1	2,5	1,4	0,06	0,16	7,5	11,5
4A200L2Y3	45	0,9	0,91	1,4	1	2,5	1,4	0,058	0,15	7,5	11,5
4A225M2Y3	55	0,92	0,91	1,4	1,2	2,5	1,4	0,055	0,16	7,5	11,0
4A112M4Y3	7,5	0,86	0,875	2,2	1,7	3	2,2	0,088	0,15	7,5	19,5
4A132M4Y3	11	0,87	0,875	2,2	1,7	3	2,2	0,082	0,15	7,5	19,5
4A160S4Y3	15	0,88	0,885	1,4	1	2,3	1,4	0,085	0,15	7	16
4A160M4Y3	18,5	0,88	0,895	1,4	1	2,3	1,4	0,079	0,14	7	16
4A180S4Y3	22	0,9	0,9	1,4	1	2,3	1,4	0,076	0,15	6,5	14
4A180M4Y3	30	0,89	0,91	1,4	1	2,3	1,4	0,064	0,13	6,5	14
4A200M4Y3	37	0,9	0,91	1,4	1	2,5	1,4	0,074	0,16	7	10
4A200L2Y3	45	0,9	0,92	1,4	1	2,5	1,4	0,059	0,16	7	10
4A225M4Y3	55	0,9	0,925	1,3	1	2,5	1,3	0,058	0,15	7	10
4A132S6Y3	7,5	0,81	0,855	2	1,8	2,5	2	0,11	0,14	6	36
4A160M6Y3	11	0,86	0,86	2	1,8	2,5	2	0,12	0,18	6	26
4A160S6Y3	15	0,87	0,875	1,2	1	2	1,2	0,11	0,19	6	15

Рисунок 16.18 - База данных электродвигателей

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Нормы расхода воды для работников, скота, птицы и зверей

Потребители	Норма расхода воды на одну голову скота, птицы и зверей, л/сут.
Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды работников	25-50
На санитарно-гигиенические нужды персонала (с общими душевыми)	85
Коровы молочные	100
Коровы мясные	70
Быки нетели	60
Молодняк крупного рогатого скота в возрасте до 2 лет	30
Телята в возрасте до 6 месяцев	20
Лошади рабочие, верховые, рысистые и некормящие матки	60
Лошади племенные и кормящие матки	80
Жеребцы-производители	70
Жеребята в возрасте до 1,5 лет	45
Овцы взрослые	10
Молодняк овец	6
Хряки-производители, матки взрослые	25
Свиноматки с поросятами	60
Свиноматки супоросные-холостые	25
Поросята-отъемыши	5
Ремонтный молодняк	15
Свиньи на откорме	15
Куры	1
Индейки	1,5
Утки и гуси	2
Норки, соболи	3
Лисы и песцы	7
Кролики	3

Таблица А.2 – Количество тепла, углекислоты, и водяных паров, выделяемые животными при температуре 10°C и относительной влажности 70%

Вид животных	Живая масса, кг	Количество параметров микроклимата выделяемых на одну голову		
		Теплоты, кДж/ч	Углекислого газа, л/ч	Водяных паров, г/ч
Коровы сухостойные	400	2380	110	350
	600	2800	138	440
Коровы лактирующие: с удоем 10 л в сут	400	2300	114	364
	600	2880	143	455
Коровы лактирующие: с удоем 30 л в сут	400	3540	175	560
	600	4050	200	642
	800	4550	225	721
Молодняк КРС в возрасте от 4 мес. до 1 года	120	973	48	153
	250	1500	74	236
	350	1970	97	310
Свиноматки супоросные	100	790	40	110
	150	940	46	129
	200	1120	52	147
Свиноматки с поросятами	100	1780	87	242
	150	2030	99	276
	200	2350	114	320
Свиньи на откорме	100	970	47	132
	200	1290	63	175
	300	1700	83	230

Таблица А.3 – Количества тепла, углекислоты, и водяных паров, выделяемых птицей при температуре 16°C и относительной влажности 70%

Вид и возрастная группа птицы	Живая масса, кг	Количество параметров выделяемых на 1 кг массы		
		Свободного тепла, кДж/ч	Углекислоты, л/ч	Водяных паров, г/ч
Взрослая птица				
Содержание в клетках кур яичных пород	1,5 – 1,7	28,5	1,7	5,4
Напольное содержание взрослой птицы				
Куры яичных пород	1,5 – 1,7	33,1	2,0	5,8
Куры мясных пород	2,5 – 3,0	30,2	1,8	5,2
Индейки	6,8	28,1	1,7	5,0
Утки	3,5	20,1	1,2	3,6

Таблица А.4 – Параметры воздуха в животноводческих помещениях

Виды помещений	Параметры воздуха в помещении			
	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	Воздухообмен на 1 ц массы животного, птицы, м ³ /ч
Коровник для беспривязного содержания	3	85	0,5 -1	17
Коровник для привязного содержания	10	70	0,5-1	17
Телятник для откорма и выращивания	10	70	0,5	20
Свинарник для холостых маток и хряков-производителей	12	75	0,5	зимой 20, в переходный период 45
Свинарник для маток с поросятами	18 для поросят 24-30	70	0,15-0,4	зимой 20, летом 45
Свинарник для поросят-отъемышей	18	70	0,2-0,6	зимой 15, летом 45
Куры при напольном содержании	12-16	60-70	0,2-0,5	зимой 1,4 летом 7,0
Куры при клеточном содержании	16	60-70	0,2-0,5	зимой 1,1 летом 5,5
Бройлеры	18-20	60-70	0,2-0,6	летом 1,1 зимой 6,0

Таблица А.5 - Физические свойства влажного воздуха при давлении 101,3 кПа
(760 мм. рт. ст.)

Темпера- тура, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м ³	Влагосодержание воздуха в насыщенном состоянии, г/м ³	Темпера- тура, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м ³	Влагосодержание воздуха в насыщенном состоянии, г/м ³
-20	1,396	0,88	6	1,265	7,3
-19	1,394	0,96	7	1,261	7,8
-18	1,385	1,05	8	1,256	8,3
-17	1,379	1,15	9	1,252	8,8
-16	1,374	1,27	10	1,248	9,4
-15	1,368	1,38	11	1,243	10,0
-14	1,363	1,51	12	1,239	10,7
-13	1,358	1,65	13	1,235	11,4
-12	1,353	1,80	14	1,230	12,1
-11	1,348	1,96	15	1,226	12,8
-10	1,342	2,14	16	1,222	13,6
-9	1,337	2,33	17	1,217	14,5
-8	1,332	2,54	18	1,213	15,4
-7	1,327	2,76	19	1,209	16,3
-6	1,322	2,99	20	1,205	17,3
-5	1,317	3,24	21	1,201	18,3
-4	1,312	3,51	22	1,197	19,4
-3	1,308	3,81	23	1,193	20,6
-2	1,303	4,13	24	1,189	21,8
-1	1,298	4,47	25	1,185	23,0
0	1,293	4,84	26	1,181	24,4
1	1,288	5,22	27	1,177	25,8
2	1,284	5,60	28	1,173	27,2
3	1,279	5,98	29	1,169	28,7
4	1,275	6,40	30	1,165	30,3
5	1,270	6,84	-	-	-

Таблица А.6 – Коэффициенты местных сопротивлений элементов воздуховода

Местное сопротивление	Коэффициент местного сопротивления, β
Колено: прямоугольное с углом 120° с углом 150°	1,1 0,55 0,20
Колено с закруглением при отношении: радиуса к диаметру $\frac{r}{d}=1$ радиуса к диаметру $\frac{r}{d}=1,5$ радиуса к диаметру $\frac{r}{d}=2$	0,25 0,175 0,15
Сужение воздуховода при соотношении: диаметров меньшей трубы к большей $\frac{d}{D} = 0,1$ диаметров меньшей трубы к большей $\frac{d}{D} = 0,3$ диаметров меньшей трубы к большей $\frac{d}{D} = 0,4$ диаметров меньшей трубы к большей $\frac{d}{D} = 0,5$	0,29 0,25 0,21 0,18
Расширение воздуховода при соотношении: диаметров меньшей трубы к большей $\frac{d}{D} = 0,1$ диаметров меньшей трубы к большей $\frac{d}{D} = 0,3$ диаметров меньшей трубы к большей $\frac{d}{D} = 0,5$	0,81 0,49 0,25
Дроссель или задвижка	0,01 – 0,08
Боковой вход	1,0
Вход с конца	0,3
Выход с конца	1,0
Сетка с перекрытием сечения 80%	0,1
Жалюзи: выход вход	3,0 0,5

Таблица А.7 – Поправочный коэффициент для определения тепло- и влаговыделений животными и птицей при различных температурах воздуха

Температура, °C	Поправочный коэффициент для определения выделяемых животными: в числителе свободного тепла, в знаменателе водяных паров		Температура, °C	Поправочный коэффициент для определения выделяемых птицей: в числителе свободного тепла, в знаменателе водяных паров	
	Крупный рогатый скот	Свиньи		Птица в возрасте от 1 до 30 дней	Птица старше 30 дней и взрослая птица
-10	1,31/0,61	-	+4	-	1,15/0,85
-5	1,19/0,67	1,59/0,7	+8	-	1,1/0,9
0	1,08/0,76	1,27/0,83	+12	-	1,05/0,95
+5	1,05/0,86	1,08/0,98	+16	-	1/1
+10	1/1	1/1	+20	1,05/0,95	0,95/1,05
+15	0,96/1,24	0,98/1,15	+24	1/1	0,92/1,08
+20	0,93/2,04	1,15/1,53	+32	0,92/1,2	0,85/1,25
+25	0,89/2,49	1,47/1,96	+36	0,8/1,3	0,8/1,3

Таблица А.8 – Коэффициенты теплопроводности

Материал	Коэффициент теплопередачи, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	Конструкция окон, дверей и полов	Коэффициент теплопередачи, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$
Железобетон	1,98	Одинарное остекление	5,8
Бетон на гравии или щебне из природного камня	1,8	Двойное остекление	2,9
Шлакопемзобетон	0,7	Тройное остекление	1,92
Кирпичная кладка из глиняного кирпича	0,76	Остекление пустотелыми блоками	2,32
Кирпичная кладка из силикатного кирпича	0,81	Деревянные наружные двери и ворота: одинарные двойные	4 2
Штукатурка из цементно-песочного раствора	0,84	Полы на грунте: неутепленные, с теплопроводностью меньше $1,16 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ для зон пола: I II III утепленные с теплопроводностью материалов менее $1,16 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	0,4 0,2 0,1 0,8
Штукатурка из известково-песчаного раствора	0,76		
Асфальтобетон	1,05		
Дерево, сосна, ель	0,16		
Стекло оконное	0,76		
Асбоцементные листы	0,49		
Рубероид, толь	0,17		
Щебень, гравий	0,23		

Таблица А9 – Нормы освещенности

Помещения, участок, оборудование	Рабочая поверхность, для которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Освещенность при лампах, лк		Дополнительные указания
			газоразрядных	накаливания	
1	2	3	4	5	6
1 Животноводческие здания и сооружения					
1.1 Для крупного рогатого скота молочного направления					
1.1.1 Помеще ния для содержания коров и ремонтного молодняка:					Во время доения освещенность на уровне вымени коровы должна быть не менее 150 лк
-зона кормления	Пол, зона расположени я кормушек	Горизонталь ная	75	30	
- стойла, секции, боксы	Пол, зона расположени я кормушек	Горизонталь ная	50	20	
1.1.2 Помеще ния для содержания быков- производител ей	Пол, зона расположени я кормушек	То же	75	30	-
1.1.3 Помеще ния родильного отделения:					
-для отела коров	Пол	«	150	100	-
-для санитарной обработки коров	То же	«	75	30	-
- профилактори й, помещения для содержания телят	«	«	100	50	-
1.1.4 Телятники	«	«	100	50	-

1.2 Для крупного рогатого скота мясного направления					
1.2.1 Денник и секции для коров-кормилиц с телятами	Пол	Горизонтальная	75	30	-
1.2.2 Помещения для доразивания молодняка	Тоже	Тоже	50	20	-
1.2.3 Помещения для откорма молодняка (стойла, секции, боксы)	«	«	50	20	-
1.2.4 Помещения для санитарной обработки, сушки и взвешивания молодняка	Шкала приборов	Плоскость расположения шкалы	100	50	-
1.3 Для свиней					
1.3.1 Помещения для содержания хряков-производителей, холостых и супоросных маток	Пол	Горизонтальная	75	30	-
1.3.2 Помещения для подсосных маток	Тоже	Тоже	100	50	-
1.3.3 Помещения для содержания отъемышей и ремонтного молодняка	«	«	75	30	-

1.3.4 Помещения для содержания откормочного поголовья	Пол	Горизонталь ная	50	20	-
1.3.5 Помещения для контрольного выращивания молодняка (элевер)	Тоже	Тоже	75	30	-
2 Птицеводческие здания и сооружения					
2.1 Помещение для напольного содержания яичных кур промышленно го и племенного стад	Пол	Горизонталь ная	60	30	Обеспечить регулирование освещенности в диапазоне 10-60 лк
2.2 Помещения для клеточного содержания яичных кур племенного и промышленно го стад	Кормушки	«	60	30	Обеспечить регулирование освещенности в диапазоне 5-60 лк
2.3 Помещения для напольного выращивания ремонтного молодняка	Пол	«	60	30	Тоже
2.4 Помещения д ля клеточного выращивания ремонтного молодняка	Кормушки	«	60	30	«

2.5 Помещения для напольного выращивания бройлеров	Пол	«	50	30	Обеспечить регулирование освещенности в диапазоне 5-50 лк
2.6 Помещения для клеточного выращивания бройлеров	Кормушки	Горизонталь ная	50	30	То же
2.7 Помещение для напольного содержания племенного стада яичных кур	Пол	«	60	40	Обеспечить регулирование освещенности в диапазоне 5-60 лк
2.8 Помещение для клеточного содержания племенного стада мясных кур	Кормушки	«	60	40	То же
2.9 Помещения для напольного выращивания ремонтного молодняка мясных кур	Пол	«	60	40	«
2.10 Помещения для клеточного выращивания ремонтного молодняка мясных кур	Кормушки	Горизонталь ная	60	40	Обеспечить регулирование освещенности в диапазоне 5-60 лк

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 -Электрические нагрузки производственных,
общественных и коммунально-бытовых потребителей

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Р _д , кВт	Q _д , кВАр	Р _в , кВт	Q _в , кВАр
Животноводческие комплексы и фермы					
Откорм свиней на: 4000	1	75	65	45	40
6000	2	120	105	65	60
8000	3	185	170	105	90
10000	4	240	210	120	105
Выращивание и откорм свиней на:					
3000	5	105	90	65	60
4000	6	120	105	90	80
6000	7	150	150	105	90
8000	8	185	165	120	105
10000	9	300	260	150	120
12000	10	420	430	310	320
24000	11	560	570	420	430
54000	12	700	715	520	530
108000	13	1250	1280	900	920
Откорм свиней с электрообогревом молодняка на:					
3000	14	185	80	145	65
4000	15	220	95	185	80
6000	16	280	120	230	100
8000	17	370	160	270	115
10000	18	550	235	370	160
12000	19	735	310	460	195
Репродукторная свиноферма на:					
200 маток	20	65	55	35	25
400	21	90	80	50	40
Производство молока					
200 коров	22	35	30	25	20
400	23	105	90	105	90
600	24	140	125	140	125
800	25	165	145	165	145
1000	26	180	160	180	160
1200	27	220	195	220	195
1600	28	300	265	300	265
2000	29	375	330	375	330
Выращивание и откорм КРС					
5000 голов	30	300	265	260	230
10000	31	450	400	340	300
Площадка по откорму КРС на:					
1000 голов	32	40	35	25	20
2000	33	75	65	45	40
3000	34	120	105	60	50

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Р _д , кВт	Q _д , кВт	Р _в , кВт	Q _в , кВт
Площадка по откорму КРС на: 4000 голов	35	140	125	75	65
6000	36	155	140	90	80
10000	37	175	150	110	95
20000	38	270	240	190	170
30000	39	335	300	225	200
Выращивание нетелей на: 3000 скотомест	40	320	240	200	170
6000	41	480	360	320	240
Птицефабрика по производству яиц на:					
200тыс. кур-несушек	42	1350	1000	1350	1000
400тыс. кур-несушек	43	1850	1400	1850	1400
Птицефабрика мясного направления на:					
250тыс. бройлеров	44	230	100	230	100
500тыс. бройлеров	45	400	170	400	170
Птицеферма на:					
10тыс. кур-несушек	46	55	40	55	40
20тыс. кур-несушек	47	110	80	110	80
30тыс. кур-несушек	48	150	115	150	115
40тыс. кур-несушек	49	180	135	180	135
50тыс. кур-несушек	50	280	210	280	210
Птицефабрика мясного направления на:					
250 тыс. индюшек	51	1450	900	1450	900
500 тыс. индюшек	52	2050	1250	2050	1250
1000 тыс. индюшек	53	2500	1550	2500	1550
Птицефабрика на 500 тыс. гусят в год	54	3210	2000	3210	2000
Птицеферма выращивания и откорма индюшат, тыс./год:					
50 (без инкубаторов)	55	110	80	110	80
100 (с инкубаторами)	56	395	290	395	290
Птицеферма на 125тыс. гусят- бройлеров с родительским стадом.	57	800	640	800	640
Птицеферма на 125тыс. гусят- бройлеров без родительского стада.	58	170	135	170	135
Ферма выращивания уток на:					
12тыс. утят	59	35	25	35	25
15тыс. утят	60	45	20	45	20
30тыс. утят	61	75	30	75	30
65тыс. утят	62	90	38	90	38
125тыс. утят	63	95	40	95	40

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Р _д , кВт	Q _д , кВт	Р _в , кВт	Q _в , кВт
Овцеводческая ферма с полным оборотом стада на:					
2400 овцематок	64	145	110	145	110
3000	65	165	125	165	125
5000	66	240	180	240	180
Овцеводческие племенные фермы на 5000 маток	67	370	260	370	260
10000	68	630	450	630	450
Овцеферма мясомолочного направления на 5000 овец	69	3	2	15	12
10000	70	10	3	20	5
15000	71	13	4	25	7
Кроликоферма (содержание в открытых шедрах) на 1200 маток	72	60	45	60	45
2400	73	135	100	135	100
Звероферма (песцовая, лисья, соболиная) на 1500-18000 самок	74	10	5	10	5
Кумысная ферма на					
50 кобылиц	75	20	10	25	12
100	76	25	15	30	15
150	77	35	20	40	20
Животноводство и птицеводство					
Коровник без механизации процессов на 100 коров	100	4	-	4	-
200	101	6	-	6	-
То же, с электроподогревателем на 100 коров	102	10	-	10	-
200	103	18	-	18	-
Коровник привязного содержания механизированной уборкой навоза на 100 коров	104	4	4	4	4
200	105	6	6	6	6
То же, с электроподогревателем на 100 коров	106	9	8	9	8
200	107	15	13	15	13
Коровник привязного содержания с механизированным досением, уборкой навоза и электроподогревателем на					
100 коров	108	10	8	10	8
200	109	17	13	17	13
400	110	45	33	45	33

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Коровник без привязного содержания на: 400 коров	111	5	-	5	-
600 коров	112	7	-	7	-
Помещение для ремонтного и откормочного молодняка на:					
170-180 голов	113	1	-	3	-
240-260 голов	114	3	-	5	-
Тоже с механизированной уборкой навоза на:					
170-180 голов	115	4	3	7	5
240-260 голов	116	5	4	8	6
300-330 голов	117	7	6	13	9
Телятник с родильным отделением на: 120 телят	118	5	3	8	5
230 телят	119	6	4	10	6
340 телят	120	7	5	12	8
Родильное отделение с профилакторием на: 48 мест	121	20	15	20	15
72 места	122	27	20	27	20
96 мест	123	30	22	30	22
Родильное отделение на:					
48 мест	124	6	-	6	-
96 мест	125	12	-	12	-
144 места	126	20	-	20	-
Летний лагерь КРС на:					
200 коров	127	12	10	12	10
400 коров	128	15	13	15	12
Тоже с молочным блоком на:					
200 коров	129	13	12	14	12
400	130	18	17	19	17
Летний лагерь молодняка КРС на 400-500 голов	131	1	-	5	-
Кормоцех фермы КРС на 800-1000 голов	132	50	45	50	45
Молочный блок при коровнике на 3т/сутки	133	15	15	15	15
6т/сутки	134	20	20	20	20
Кормоприготовительная при коровнике	135	6	5	6	5
Свинарник маточник 50 маток	136	2	-	2	-
То же, с навозоуборочным транспортёром	137	3	3	5	5
То же, с теплогенератором	138	6	5	10	6
То же, с электрообогревом	139	28	12	28	8
Свинарник-маточник на 100 маток (подвесная дорога)	140	4	-	7	-

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Свинарник-маточник на 100 маток с навозоуборочным транспортёром	141	5	4	5	4
То же, с теплогенератором	142	8	6	8	6
То же, с электрообогревом	143	55	25	55	15
Свинарник откормочник на 1000-1200 голов	144	2	-	6	-
То же с навозоуборочным транспортёром	145	6	5	9	8
Кормоцех для свинофермы на 100 маток и 1000 голов откорма, или 2000 голов откорма	146	26	23	10	7
Кормоцех для свинофермы на 200 маток и 2000 голов откорма, или на 3000 голов откорма	147	37	33	15	10
Кормоцех для свинофермы на 300 маток и 3000 голов откорма, или на 6000 голов откорма	148	45	40	15	10
Кормоцех на 12000 откорма свиней	149	65	55	20	15
Птичник на 6-9тыс. цыплят	150	25	10	25	7
15-20тыс.	151	30	15	30	10
на 7тыс. молодняка	152	10	5	10	4
10-12 тыс.	153	20	5	20	5
На 5-6тыс. кур	154	20	10	20	10
8тыс. кур	155	25	12	25	12
Птичник с клеточными батареями на 10-15тыс. кур-несушек	156	10	5	15	10
20тыс.	157	12	7	20	13
Кормоцех птицефермы на 25-30тыс. кур	158	25	20	10	7
Навесы для выращивания 4-8тыс. утят или 2-4тыс. гусят	159	1	-	2	-
Птичник на 3тыс. утят	160	20	15	10	5
5тыс.	161	40	30	20	10
Птичник на 2тыс. индеек маточного стада	162	25	20	10	5
Цех для выращивания индюшат на 14тыс. голов	163	70	35	30	15
Птичник для выращивания 3300 гусят-бройлеров	164	25	20	15	10
6300 гусят-бройлеров	165	45	40	25	20
Инкубаторий на 2 инкубатора	166	20	-	20	-
4 инкубатора	167	30	-	30	-
6 инкубаторов	168	60	-	60	-

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Инкубаторий на 10 инкубаторов	169	80	-	80	-
Овчарня на 800-1000 овцематок	170	1	-	5	-
Овчарня на 1000 голов молодняка	171	2	-	4	-
Конюшня	172	3	-	3	-
Оборудование для прессования кормов ОПК-2,0	173	150	130	150	130
ОПК-3,0	174	210	180	210	180
ОПК-3,0У	175	135	120	135	120
ОПК-5,0	176	330	290	330	290
Оборудование для гранулирования травяной муки ОГМ-0,8А	177	50	45	50	45
ОГМ-1,5	178	85	80	85	80
Оборудование для гранулирования комбикормов ОГК-3	179	55	50	55	50
ОГК-6	180	70	65	70	65
Агрегат для приготовления травяной муки АВМ-0,65	181	80	70	80	70
АВМ-1,5А	182	185	170	185	170
АВМ-3,0	183	360	330	360	330
АВМ-5,0	184	605	560	605	560
Пункт приготовления травяной муки на базе двух агрегатов АВМ-0,65	185	590	550	590	550
на базе агрегата АВМ-1,5А	186	300	270	300	270
Дробилка кормов ДБ-5-1	187	40	35	-	-
КМД-2	188	30	25	-	-
Измельчитель грубых кормов ИГК-30Б	189	30	25	-	-
ИРТ-165	190	150	130	-	-
«Волгарь-5»	191	22	20	-	-
«Волгарь-15»	192	40	35	-	-
Комбикормовый завод производительностью 6 т/сутки	193	650	575	650	575
Комбикормовый цех производительностью 10-15 т/смену	194	65	60	65	60
30 т/смену	195	120	105	120	105
50 т/смену	196	190	160	190	160
Убойно-санитарный пункт	197	6	5	2	2
Ветеринарный пункт	198	1	-	1	-
Ветеринарно-фельдшерский пункт	199	3	-	3	-

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Пункт искусственного осеменения	200	2	-	-	-
Участковая ветеринарная лечебница	201	20	10	10	4
Растениеводство, подсобное хозяйство					
Комплект машин и оборудования зерноочистительного агрегата ЗАВ-20	300	25	25	26	23
То же, с семяочистительным отделением	301	55	55	57	52
Комплект машин и оборудования зерноочистительного агрегата ЗАВ-40	302	35	35	36	32
То же, с семяочистительным отделением	303	65	65	66	64
Комплект машин и оборудования зерноочистительного агрегата ЗАР-5	304	30	30	32	30
Комплект машин и оборудования зерноочистительного-сушильного комплекса КЗС-10Б	305	65	60	65	60
КЗС-20Б	306	100	95	100	95
КЗС-20Ш	307	160	150	160	150
КЗС-40	308	190	175	190	175
КЗР-5	309	250	235	250	235
Пункт послеуборочной обработки зерна кукурузы в початках производительностью 10 т/час	310	120	100	120	100
Зернохранилище с передвижными механизмами ёмкостью 500 т	311	10	10	5	3
1000-2000 т	312	20	18	10	5
То же, с ленточным транспортёром ёмкостью 1000 т	313	25	25	10	5
Овощекартофелехранилище на 300-600 т	314	5	3	2	-
1000 т	315	6	4	2	-
То же, с отопительно-вентиляционной установкой на 500-600 т	316	20	15	20	15
1000 т	317	36	25	36	25
Холодильник для хранения фруктов ёмкостью 50 т	318	8	6	8	6
250 т	319	35	25	35	25
350 т	320	65	50	65	50
700 т	321	95	70	95	70

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Семеновохранилище ёмкостью 1000 т	322	80	60	80	60
2500 т	323	95	70	95	70
Склад рассыпных и гранулированных кормов ёмкостью 200 т	324	20	12	1	-
360 т	325	30	18	5	-
520 т	326	35	22	10	5
Склад концкормов с дробилкой ДКУ-1	327	15	13	1	-
ДКУ-2	328	25	23	1	-
Склад минеральных удобрений	329	12	4	1	-
Склад ядохимикатов ёмкостью до 2000 т	330	5	4	1	-
Склад нефтепродуктов ёмкостью до 300 м ³	331	5	4	2	-
Цех виноделия производительностью 50-100 тыс. дал/год	332	80	60	80	60
Цех овощных и фруктовых консервов производительностью 1 млн. у.б. в год	333	100	75	100	75
3 млн. у.б. в год	334	125	95	125	95
То же, с солением и квашением 1 млн. у.б. 300 т	335	150	110	150	110
3 млн. у.б. 500 т	336	180	155	180	155
Цех по переработке 50 т солений и 130 т капусты	337	40	45	40	45
Кумысный цех на 1-2 тыс. л/сутки	338	12	10	12	10
Кузница	339	5	-	1	-
Плотницкая	340	10	8	1	-
Столярный цех	341	15	10	1	-
Столярный цех с пилорамой ЛРМ-79	342	16	18	2	-
Р-65	343	23	27	2	-
Мельница с жерновым поставом 5/4	344	5	4	1	-
6/4	345	8	6	1	-
7/4	346	10	8	1	-
8/4	347	17	13	1	-
Мельница вальцовая производительностью 6 т/сутки	348	15	10	1	-
25 т/сутки	349	35	25	2	-
Крупорушка	350	12	10	1	-
Просорушка	351	2	2	1	-

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Гречерушка	352	3	2	1	-
Приёмный пункт молокозавода мощностью 10 т/смену	354	45	40	45	40
30 т/смену	355	65	60	65	60
Хлебопекарня производительностью 3 т/сутки	356	5	4	5	4
5,5 т/сутки	357	15	13	15	13
11 т/сутки	358	25	23	25	23
Пункт первичной обработки льна	359	15	13	1	-
Мяльно-трепальный цех 4 т/смену	360	30	25	3	-
8 т/смену	361	60	55	4	-
Хмелесушка с воздухоподогревателем	362	10	7	10	7
Камерная	363	55	40	55	40
Сенажная башня	364	10	8	-	-
Установка вентиляционная для досушивания сена	365	120	90	120	90
Хлопкозаготовительный пункт с сушильно-очистительным цехом	366	380	290	405	250
Картофелесортировальный пункт	367	5	4	-	-
Кирпичный завод на 1-1,5 млн. кирпича в год	368	20	17	6	4
3 млн. кирпича в год	369	30	25	8	6
Тёплая стоянка для тракторов	370	5	3	2	-
Пункт технического обслуживания машин и оборудования на фермах	371	10	7	5	4
Материально-технический склад	372	3	2	1	-
Мастерская пункта технического обслуживания в бригаде на 10-20 тракторов	373	15	12	5	4
30-40 тракторов	374	20	18	10	8
Гараж с профилакторием на 10 автомашин	375	20	18	10	8
25 автомашин	376	30	25	15	12
60 автомашин	377	45	40	20	16
Картофелесортировальный пункт 30 т/час на оборудовании ГДР	378	80	70	50	40
Центральная ремонтная мастерская на 25 тракторов	379	45	40	25	20
50-100 тракторов	380	60	50	30	25

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Центральная ремонтная мастерская на 150-200 тракторов	381	90	80	45	40
Пожарное депо на 1-2 автомашины	382	4	3	4	3
Котельная с котлами КВ-300М или Д721	383	5	4	5	4
Котельная с двумя котлами «Универсал-6» для отопления и горячего водоснабжения	384	15	10	15	10
Котельная с двумя котлами «Универсал-6» для пароснабжения	385	7	5	7	5
Котельная с 4 котлами «Универсал-6» для отопления и горячего водоснабжения	386	28	20	28	20
Котельная с 4 котлами «Универсал-6» для пароснабжения	387	18	13	18	13
Насосные станции для оросительных систем	388	55	50	55	50
То же	389	100	90	100	90
То же	390	200	170	200	170
То же	391	280	210	280	210
То же	392	400	300	400	300
Общественные учреждения и коммунально-бытовые потребители					
Начальная школа на 40 учащихся	500	5	-	2	-
80 учащихся	501	7	-	2	-
160 учащихся	502	11	-	4	-
Общеобразовательная школа с мастерской на 190 учащихся	503	14	7	20	10
320 учащихся	504	20	10	40	20
То же с электроплитой на 480-540 учащихся	505	40	20	42	20
То же с электроплитой на 480-540 учащихся	506	25	12	50	25
То же с электроплитой	507	45	23	50	25
Спальный корпус школы на 50 мест	508	5	-	8	-
80 мест	509	8	-	15	-
Столовая школы-интерната	510	9	4	5	-
Мастерские при сельской школе	511	7	5	2	-
Детские ясли сад на 25 мест	512	4	-	3	-
50 мест	513	9	5	6	-
90 мест	514	12	6	8	4

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Детские ясли сад с электроплитой на 50 мест	515	18	5	12	4
90 мест	516	23	7	14	4
140 мест	517	30	9	20	6
Административное здание (контора колхоза совхоза) на 15-25 рабочих мест	518	15	10	8	-
35-50 рабочих мест	519	25	18	10	-
70 рабочих мест	520	35	25	15	-
Сельский совет с отделением связи	521	7	3	3	-
Сельский радиотрансляционный узел с аппаратурой 1,25 кВт	522	6	3	6	3
2,5 кВт	523	8	4	8	4
Приёмный телевизионный пункт «Экран» с ретранслятором РЦТА	524	5	3	5	3
Клуб со зрительным залом на 150-200 мест	525	3	1,5	10	6
300-400 мест	526	6	3	18	10
Дом культуры со зрительным залом на 150-200 мест	527	5	3	14	8
300-400 мест	528	10	6	32	20
400-600 мест	529	10	6	50	30
Бригадный дом	530	2	-	5	-
То же, с залом на 100 мест	531	4	-	7	-
Дом животновода на 12-18 мест	532	3	-	5	-
Сельская поликлиника на 150 посещений в смену	533	15	8	30	20
Сельская участковая больница на 50 коек	534	50	35	50	35
Сельская амбулатория на 3 врачебных должности	535	10	3	10	3
Фельдшерско-акушерский пункт	536	4	-	4	-
Столовая с на 25 мест	537	5	3	2	-
35-50 мест	538	9	4	3	-
75-100 мест	539	12	6	4	-
Столовая с электронагревательным оборудованием на 35 мест	540	20	10	10	4
50 мест	541	35	15	15	5
75 мест	542	35	15	15	5
100 мест	543	58	30	35	15

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Столовая с электронагревательным оборудованием и с электроплитой на 35 мест	544	35	15	15	5
50 мест	545	50	20	20	10
75 мест	546	55	25	22	10
100 мест	547	70	35	45	20
Общежитие на 24 места	548	4	-	12	4
Торговый центр для посёлков с населением на 2 тыс. жителей (столовая, магазин, гостиница, комбинат бытового обслуживания)	549	40	30	25	15
Магазин на 2 рабочих места, смешанный ассортимент	550	2	-	4	-
на 4 места, продовольственный	551	10	5	10	5
промтоварный	552	6	-	6	-
Смешанный ассортимент на 6-10 мест	553	4	-	4	-
продовольственный	554	10	5	10	5
промтоварный	555	3	-	3	-
Комбинат бытового обслуживания на 6 рабочих мест	556	3	2	1	-
10 рабочих мест	557	5	3	2	-
25 рабочих мест	558	15	10	5	-
Баня на 5 мест	559	3	2	3	-
10 мест	560	7	2	7	2
20 мест	561	8	5	8	5
Прачечная производительностью 0,125 т белья/смену	562	10	6	10	6
0,25 т белья/смену	563	13	8	13	8
0,5 т белья/смену	564	20	13	20	13
1,0 т белья/смену	565	25	15	25	15
Сельский жилой дом (кВАртира) с плитой на газе, жидком или твёрдом топливе	601	0,3	0,15	1,0	0,4
То же	602	0,5	0,24	1,5	0,6
То же	603	0,7	0,32	2,0	0,75
То же	604	0,9	0,4	2,5	0,9
То же	605	1,1	0,47	3,0	1,05
То же	606	1,3	0,52	3,5	1,17
То же	607	1,5	0,6	4,0	1,32
То же	608	2,0	0,72	5,0	1,45
Жилой дом с электроплитой	609	3,5	1,15	6,0	1,5

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум	
		Рд, кВт	Qд, кВАр	Рв, кВт	Qв, кВАр
Жилой дом с электроплитой и электроводонагревателем	610	4,5	1,5	7,5	1,87
То же	612	1,1	1,84	2,5	1,6
То же	613	1,3	0,92	3,0	1,75
То же	614	1,5	1,0	3,5	1,9
То же	615	1,7	1,07	4,0	2,05
То же	616	1,9	1,12	4,5	2,17
То же	617	2,1	1,2	5,0	2,32
То же	618	2,6	1,32	6,0	2,45
Жилой дом с электроплитой и кондиционером	619	4,1	1,75	7,0	2,5
Жилой дом с электроплитой, водонагревателем и кондиционером	620	5,1	2,1	8,5	2,87
Наружное освещение с лампами накаливания	651	0	0	Рм	0
Наружное освещение с люминесцентными лампами	652	0	0	Рм	0,5·Рм

Таблица Б2 – Надбавки активной мощности в кВт для суммирования
нагрузок в сетях 0,38 кВ

Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР
0,2	+0,2	26	+16,4	66	+42,5	142	+102	222	+168
0,3	+0,2	27	+18,7	67	+45,9	144	+103	224	+169
0,4	+0,3	28	+17,7	68	+46,6	146	+105	226	+171
0,5	+0,3	29	+18,4	69	+47,3	148	+106	228	+172
0,6	+0,4	30	+19	70	+48	150	+108	230	+174
0,8	+0,5	31	+19,7	72	+49,4	152	+110	232	+176
1	+0,6	32	+20,4	74	+50,2	154	+111	234	+177
1,5	+0,9	33	+21,2	76	+52,2	156	+113	236	+179
2	+1,2	34	+22	78	53,6	158	+114	238	+180
2,5	+1,5	35	+22,8	80	+55	160	+116	240	+182
3	+1,8	36	+23,5	82	+56,4	162	+117	242	+184
3,5	+2,1	37	+24,2	84	+57,8	164	+119	244	+185
4	+2,4	38	+25	86	+59,2	166	+120	246	+187
4,5	+2,7	39	+25,8	88	+60,6	168	+122	248	+188
5	+3	40	+26,5	90	+62	170	+123	250	+190
5,5	+3,3	41	+27,2	92	+63,4	172	+124	252	+192
6	+3,6	42	+28	94	+64,8	174	+126	254	+193
6,5	+3,9	43	+28,8	96	+66,2	176	+127	256	+195
7	+4,2	44	+29,5	98	+67,6	178	+129	258	+196
7,5	+4,5	45	+30,2	100	+69	180	+130	260	+198
8	+4,8	46	+31	102	+70	182	+132	262	+200
8,5	+5,1	47	+31,8	104	+72	184	+134	264	+201
9	+5,4	48	+32,5	106	+73	186	+136	266	+203
9,5	+5,7	49	+33,2	108	+75	188	+138	268	+204
10	+6	50	+34	110	+76	190	+140	270	+206
11	+6,7	51	+34,7	112	+78	192	+142	272	+208
12	+7,3	52	+35,4	114	+80	194	+144	274	+209
13	+7,9	53	+36,1	116	+81	196	+146	276	+211
14	+8,5	54	+36,8	118	+82	198	+148	278	+212
15	+9,2	55	+37,5	120	+84	200	+150	280	+214
16	+9,8	56	+38,2	122	+86	202	+152	282	+216
17	+10,5	57	+38,9	124	+87	204	+153	284	+217
18	+11,2	58	39,6	126	+89	206	+155	286	+219
19	+11,8	59	40,3	128	+90	208	+156	288	+220
20	+12,5	60	+41	130	+92	210	+158	290	+222
21	+13,1	61	+41,7	132	+94	222	+160	292	+224
22	+13,8	62	+42,4	134	+95	214	+161	294	+225
23	+14,4	63	+43,1	136	+97	216	+163	296	+227
24	+15	64	+43,8	138	+98	218	+164	298	+228
25	+15,7	65	+44,5	140	+100	220	+166	300	+230

где - Р – меньшая из слагаемых нагрузок;
ΔР – добавка к большей слагаемой нагрузке.

Таблица Б3 – Надбавки мощности в кВт для суммирования нагрузок в сетях 10-35 кВ

Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР	Р	ΔР
1	+0,6	41	+29,2	130	+98	460	+365	860	+704
2	+1,2	42	+30	135	+102	470	+374	870	+713
3	+1,88	43	+30,8	140	+106	480	+382	880	+722
4	+2,5	44	+31,6	145	+110	490	+391	890	+731
5	+3,1	45	+32,4	150	+115	500	+400	900	+740
6	+3,7	46	+33,2	155	+119	510	+408	910	+749
7	+4,3	47	+34	160	+123	520	+416	920	+758
8	+5	48	+34,8	165	+127	530	+424	930	+767
9	+5,6	49	+35,6	170	+131	540	+432	940	+776
10	+6,3	50	+36,5	175	+135	550	+440	950	+785
11	+7	52	+38	180	+139	560	+448	960	+794
12	+7,7	54	+39,5	185	+143	570	+456	970	+803
13	+8,4	56	+41	190	+147	580	+465	980	+812
14	+9	58	+42	195	+151	590	+474	990	+821
15	+9,7	60	+44	200	+155	600	+483	1000	+830
16	+10,4	62	+45,6	210	+162	610	+492	1020	+847
17	+11	64	+47,2	220	+170	620	+500	1040	+865
18	+11,6	66	+48,8	230	+178	630	+508	1060	882
19	+12,3	68	+50,4	240	+187	640	+517	1080	+900
20	+13	70	+52	250	+194	650	+525	1100	+918
21	+13,7	72	+53,5	260	+204	660	+534	1120	+935
22	+14,4	74	+55	270	+212	670	+543	1140	+953
23	+15,1	76	+56,5	280	+220	680	+552	1160	+970
24	+15,8	78	+58	290	+228	690	+561	1180	+987
25	+16,5	80	+59,5	300	+235	700	+570	1200	+1005
26	+17,2	82	+61	310	+243	710	+578	1220	+1022
27	+18	84	+62,5	320	+251	720	+586	1240	+1040
28	+18,8	86	+64	330	+259	730	+594	1260	+1057
29	+19,6	88	+65,5	340	+267	740	+602	1280	+1075
30	+20,4	90	+67	350	+275	750	+610	1300	+1093
31	+21,2	92	+68,5	360	+2883	760	+618	1320	+1110
32	+22	94	+70	370	+291	770	+626	1340	+1128
33	+22,8	96	+71,5	380	+299	780	+634	1360	+1146
34	+23,6	98	+73	390	+307	790	+642	1380	+1164
35	+24,4	100	+74,5	400	+315	800	+650	1400	+1182
36	+25,2	105	+78	410	+232	810	+659	1420	+1200
37	+26	110	+82	420	+332	820	+668	1440	+1218
38	26,8	115	+86	430	+340	830	+676	1460	+1235
39	27,6	120	+90	440	+348	840	+686	1480	+1252
40	+28,4	125	+94	450	+357	850	+695	1500	+1270

где - Р – меньшая из слагаемых нагрузок;
ΔР – добавка к большей слагаемой нагрузке.

Таблица Б4 – Экономические интервалы эквивалентной мощности для алюминиевых проводов ВЛ напряжением 0,38 кВ

Интервал мощности, кВА	Марка и сечение основных проводов.	Расчётная нагрузка, кВА	Марка и сечение дополнительного провода.	μ	Превышение приведенных затрат, %
Гололёд 5мм					
0-3,1	А-16+А-16	1	2А-16+А16	2,7	3,7
			3А-16+А16	4,5	3,25
			3А-25+А-25	5,5	11
		2	2А-16+А16	0,02	0,07
			3А-16+А16	0,6	3,15
			3А-25+А-25	1,05	5,45
		3	2А-16+А16	0,02	0,07
			3А-16+А16	0,6	3,15
			3А-25+А-25	1,05	5,45
3,1-5,6	2А-16+А-16	3,5	3А-16+А16	1,7	2,6
			3А-25+А-25	2,4	4,75
			3А-35+А-35	6,1	13,2
			А-16+А-16	0,3	1,35
		4,5	3А-16+А16	0,75	1,4
			3А-25+А-25	1,3	3,2
3,1-5,6	2А-16+А-16	5,5	3А-35+А-35	4,1	11,35
			А-16+А-16	0,85	4,35
			3А-16+А16	0,01	0,02
			3А-25+А-25	0,45	1,35
			3А-35+А-35	2,8	9,05
			А-16+А-16	1,3	9,7
5,6-8	3А-16+А-16	6	3А-25+А-25	1,6	1,1
			3А-35+А35	8,1	8,7
			2А-16+А-16	-0,3	0,75
		7	3А-25+А-25	0,75	0,6
			3А-35+А35	6,3	7,8
			2А-16+А-16	0,9	2,55
		8	3А-25+А-25	0	0
			3А-35+А35	4,95	6,75
			2А-16+А-16	-1,3	4,5
8-20,5	3А-25+А-25	9	3А-35+А-35	12,2	6,25
			3А-50+А-50	17,3	15,1
			3А-16+А-16	-0,95	0,5
		12	3А-35+А-35	7,4	5,0
			3А-50+А-50	10,9	12,9
			3А-16+А-16	-2,5	0,5
		15	3А-35+А-35	4,35	3,35
			3А-50+А-50	6,8	9,65
			3А-16+А-16	-4,4	3,15
		18	3А-35+А-35	1,7	1,55
			3А-50+А-50	4,0	6,3
		21	3А-35+А-35	0	0
			3А-50+А-50	0,55	2,8
9-20,5	3А-25+А-25	21	3А-35+А-35	0	0
			3А-50+А-50	0,55	2,8

20,5-26,4	3A-50+A-35	28	3A-35+A-35	-1,05	0,95
		32	3A-35+A-35	-3,0	3,2
		35	3A-35+A-35	-4,07	4,7
Гололёд 10мм					
0-3,1	2A-16+A-16	3,5	2A-16+A-16	3,25	4,445
			3A-16+A-16	5,0	9,15
			6A-25+A-25	8,5	16,9
		4,5	2A-16+A-16	1,05	2,75
			3A-16+A-16	2,0	7,15
			6A-25+A-25	3,88	14,7
		5,5	2A-16+A-16	0,15	0,5
			3A-16+A-16	0,75	4,05
			6A-25+A-25	2,0	11,1
3,5-5,8	2A-16+A-16	3,5	3A-16+A-16	2,0	3,0
			3A-25+A-25	5,1	9,85
			3A-35+A-35	10,5	23
			A-16+A-16	-0,2	0,9
		4,5	3A-16+A-16	0,95	1,85
			3A-25+A-25	3,4	8,2
			3A-35+A-35	7,75	21
			A-16+A-16	-0,75	4,2
3,5-5,8	2A-16+A-16	5,5	3A-16+A-16	0,2	0,45
			3A-25+A-25	2,2	6,8
			3A-35+A-35	5,75	18,5
			A-16+A-16	-1,2	8,15
5,8-13,5	3A-16+A-16	7	3A-25+A-25	6,3	5,0
			3A-35+A-35	13,6	16,626,0
			3A-50+A-50	17,1-	3,1
			2A-16+A-16	0,85	
		9	3A-25+A-25	3,7	3,7
			3A-35+A-35	9,35	14,3
			3A-50+A-50	12,0	22,9
			2A-16+A-16	-1,75	7,75
		11	3A-25+A-25	1,85	2,15
			3A-35+A-35	6,4	11,6
			3A-50+A-50	8,6	19,3
			2A-16+A-16	-2,5	13,1
		13	3A-25+A-25	0,4	0,5
			3A-35+A-35	4,25	8,75
			3A-50+A-50	6,05	15,4
			2A-16+A-16	-3,2	19,2
13,5-25,4	3A-25+A-25	14	3A-35+A-35	9,8	7,6
			3A-50+A-50	10,8	13,7
			3A-16+A-16	-0,3	0,4
		16	3A-35+A-35	7,35	6,35
			3A-50+A-50	2	11,6
			3A-16+A-16	-1,45	2,25
		188	3A-35+A-35	5,35	5,05
			3A-50+A-50	6,1	9,25
			3A-16+A-16	-2,5	4,25

		20	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	3,65 4,25 -3,5	3,7 6,9 6,3		
		22	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	2,1 2,6 -4,35	2,3 4,4 8,25		
		24	3A-35+A-35 3A-50+A-50 3A-16+A-16	0,9 1,15 -5,25	1,0 2,0 10		
		Свыше 25,4	3A-50+A-50	26	3A-35+A-35 3A-25+A-25	-0,3 -0,1	0 0,5
				29	3A-35+A-35 3A-25+A-25	-0,1 -0,3	0,9 2,0
				32	3A-35+A-35 3A-25+A-25	-3,7 -4,5	3,15 7,25
				35	3A-35+A-35 3A-25+A-25	-5,8 -8,0	5,7 11,5
		Гололёд 15мм					
		0-6,6	3A-25+A-25	1	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	13,7 21,7 31	10,6 22,5 34,1
2	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35			6,35 10,4 15,3	9,7 21,3 33,1		
3	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35			3,7 6,45 9,75	8,25 19,2 30,7		
4	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35			2,2 4,25 6,7	6,35 16,4 27,5		
5	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35			1,15 2,8 4,75	4,0 13 23,55		
6	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35			0,35 1,7 3,35	1,4 9,25 19,15		
6-11,8	2A-25+A-25			7	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35 A-25+A-25	4,3 8,5 11,9 -0,3	6,65 16,05 12,65 1,45
				8	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35 A-25+A-25	3,15 6,85 9,88 -0,9	5,45 14,45 23,7 4,6
				9	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35 A-25+A-25	2,2 5,45 88,1 -1,45	4,15 12,7 21,5 8,1

		10	2А-25+А-25 3А-25+А-25 3А-35+А-35 А-25+А-25	13,5 4,2 6,65 -1,95	2,8 10,65 19,2 11,8
		11	2А-25+А-25 3А-25+А-25 3А-35+А-35 А-25+А-25	0,6 3,25 5,4 -2,4	1,6 8,85 16,8 15,65
11,8-25,1	3А-25+А-25	12	3А-35+А-35 3А-50+А-50 2А-25+А-25	13,1 15,4 -0,1	7,0 14,5 0,2
		14	3А-35+А-35 3А-50+А-50 2А-25+А-25	10 11,9 -1,3	6,1 12,8 3,45
11,88-25,1	3А-25+А-25	16	3А-35+А-35 3А-50+А-50 2А-25+А-25	7,6 9,25 -2,4	5,1 11 7,05
		18	3А-35+А-35 3А-50+А-50 2А-25+А-25	5,5 7,0 -3,35	4,05 9,0 10,8
		20	3А-35+А-35 3А-50+А-50 2А-25+А-25	3,7 5,05 -4,25	2,95 7,0 14,7
		22	3А-35+А-35 3А-50+А-50 2А-25+А-25	2,1 3,3 -5,1	1,75 4,85 18,85
		24	3А-35+А-35 3А-50+А-50 2А-25+А-25	0,7 1,8 -6,0	0,6 2,75 23
25,1-28,4	3А-35+А-35	25,5	3А-50+А-50 3А-25+А-25	3,4 0,7	2,25 0,7
		26	3А-50+А-50 3А-25+А-25	1,65 -0,6	1,15 0,55
		28	3А-50+А-50 3А-25+А-25	0,2 -1,8	0,15 1,7
Свыше 28,4	3А-50+А-50	30	3А-35+А-35	-1,0	0,8
		32	3А-35+А-35	-2,3	1,8
		34	3А-35+А-35	-3,4	2,75
		36	3А-35+А-35	-4,65	3,75
Гололёд 20мм					
0-4,4	А-25+А-25	1	2А-25+А-25 3А-25+А-25 3А-35+А-35	6,45 1,6 23	4,15 16,3 21,3
		2	2А-25+А-25 3А-25+А-25 3А-35+А-35	2,7 8,9 11,1	3,5 15,5 20,2
		3	2А-25+А-25 3А-25+А-25 3А-35+А-35	1,25 5,4 7,3	2,4 13,65 18,4

		4	2A-25+A-25 3A-25+A-25 3A-35+A-35	0,35 3,45 4,6	0,9 11,3 15,85
4,4-13,0	2A-25+A-25	5	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	9,45 11,25 15,4 -0,35	9,7 14,05 22 0,95
		7	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	5,65 6,95 9,85 -1,4	7,85 11,75 19,2 5,65
4,4-13,0	2A-25+A-25	9	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	3,2 4,2 6,5 -2,25	5,55 8,885 15,65 11,5
		11	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	1,45 2,25 4,1 -3,05	2,9 5,5 11,6 18,25
		13	3A-25+A-25 3A-35+A-35 3A-50+A-50 A-25+A-25	0 0,7 2,25 -3,85	0 1,85 7,15 25,6
13,0-17,7	3A-25+A-25	14	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	2,8 6,75 -0,65	1,5 6,45 1,5
		15	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	1,9 5,6 -1,25	1,1 5,7 3,2
		16	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	1,2 4,65 -1,8	0,7 5,0 4,8
		17	3A-35+A-35 3A-50+A-50 2A-25+A-25	0,55 3,75 -2,4	0,35 4,2 6,75
17,7-26,4	3A-35+A-35	18	3A-50+A-50 3A-25+A-25	6,8 -0,2	3,5 0,1
		20	3A-50+A-50 3A-25+A-25	4,95 -1,35	2,7 1,0
		22	3A-50+A-50 3A-25+A-25	3,2 -2,45	1,9 1,95
		24	3A-50+A-50 3A-25+A-25	1,7 -3,5	1,05 2,9
		26	3A-50+A-50 3A-25+A-25	0,4 -4,5	0,25 4,1
Свыше 26,4	3A-50+A-50	28	3A-35+A-35	-1,05	0,75
		30	3A-35+A-35	-2,5	1,8
		32	3A-35+A-35	-3,85	2,58

Таблица Б5 - Удельные потери напряжения, выраженные в тысячных долях процента на 1 ВА·м,
в проводах ВЛ напряжением 0,38 кВ

Коэф. мощ- ности	Марка провода и исполнение линии																
	А-16, Ап-16			А-25, Ап-25, Ан-25			А-35, Ап-35, Ан-35			А-50, Ан-50			А-70	А-95	АпС-16	АпС-25	АпС-35
	3ф+0	2ф+0	1ф+0	3ф+0	2ф+0	1ф+0	3ф+0	2ф+0	1ф+0	3ф+0	2ф+0	1ф+0	3ф+0	3ф+0	3ф+0	3ф+0	3ф+0
1	1,273	2,848	7,595	0,807	1,805	4,814	0,588	1,317	3,512	0,407	0,911	2,430	0,290	0,218	1,246	0,814	0,546
0,96	1,192	2,891	7,709	0,843	1,886	5,030	0,631	1,412	3,765	0,454	1,017	2,717	0,346	0,276	1,264	0,782	0,590
0,93	1,276	2,855	7,613	0,840	1,880	5,013	0,639	1,418	3,782	0,462	0,034	2,756	0,359	0,291	1,254	0,847	0,596
0,92	1,269	2,840	7,573	0,838	1,875	5,000	0,634	1,418	3,780	0,463	0,037	2,765	0,362	0,295	1,241	0,843	0,597
0,9	1,255	2,808	7,487	0,833	1,863	4,968	0,632	1,415	3,772	0,465	0,041	2,776	0,367	0,302	1,227	0,837	0,597
0,85	1,214	2,717	7,244	0,815	1,822	4,860	0,624	1,396	3,724	0,465	0,041	2,777	0,374	0,313	1,187	0,819	0,592
0,83	1,196	2,677	7,139	0,806	1,803	4,809	0,620	1,386	3,697	0,464	0,039	2,770	0,376	0,316	1,169	0,810	0,588
0,78	1,150	2,573	6,861	0,782	1,750	4,667	0,606	1,356	3,617	0,459	0,028	2,741	0,378	0,321	1,122	0,785	0,577
0,75	1,121	2,508	6,687	0,767	1,716	4,575	0,597	1,335	3,561	0,455	0,018	2,716	0,378	0,323	1,094	0,770	0,570
0,7	1,070	2,395	6,386	0,739	1,654	4,411	0,580	1,297	3,459	0,447	0,000	2,665	0,376	0,325	1,045	0,742	0,555
В фонарном проводе																	
	3,797			2,407			1,756			1,215			-	-	3,716	2,428	1,628

Таблица Б6 - Характеристики трёхфазных двухобмоточных трансформаторов

Тип	Номиналь ная мощность кВА	Напряжение обмоток, кВ		Потери, кВт		Напряжен ие к.з. %	Ток х.х. %
		В. Н.	Н.Н.	х.х.	к.з.		
Масляные без РНН							
ТМ-25	25	6-10	0,23; 0,4	0,125	0,60	4,5	3,20
ТМ-40	40	6-10	0,23; 0,4	0,180	0,88	4,5	3,00
ТМ-63	63	6-10	0,23; 0,4	0,265	1,28	4,5	2,80
ТМ-100	100	6-10	0,23; 0,4	0,365	1,97	4,5	2,60
ТМ-160	160	6-10	0,23; 0,4	0,540	2,65	4,5	2,40
ТМ-250	250	6-10	0,23; 0,4	1,050	3,70	4,5	2,30
ТМ-400	400	6-10	0,23;0,4	1,450	5,50	4,5	2,10
ТМ-630	630	6-10	0,23; 0,4	2,270	7,60	5,5	2,00
ТМ-1000	1000	6-10	0,4	3,800	12,70	5,5	3,00
ТМ-100	100	35	0,23; 0,4	0,465	1,97	6,5	4,16
ТМ-160	160	35	0,23; 0,4	0,660	2,65	6,5	2,40
ТМ-250	250	35	0,23; 0,4	0,960	3,70	6,5	2,50
ТМ-400	400	35	0,23; 0,4	1,350	5,50	6,5	2,10
ТМ-630	630	35	0,23; 0,4	2,000	7,60	6,5	2,00

Таблица Б7 - Коэффициенты экранирования вертикальных заземлителей

Число труб (уголков)	Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине	$k_{э,в}$	Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине	$k_{э,в}$	Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине	$k_{э,в}$
4	1	0,66...0,72	2	0,76...0,80	3	0,84...0,86
6	1	0,58...0,65	2	0,71...0,75	3	0,78...0,82
10	1	0,52...0,58	2	0,66...0,71	3	0,74...0,78
20	1	0,44...0,50	2	0,61...0,66	3	0,68...0,73
40	1	0,38...0,44	2	0,55...0,61	3	0,64...0,69
60	1	0,36...0,42	2	0,52...0,58	3	0,62...0,67

Таблица Б8 - Коэффициенты экранирования соединительной полосы, $k_{э,г}$

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число труб					
	4	8	10	20	30	40
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28
3	0,70	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37

ПРИЛОЖЕНИЕ С

В приложении приводится пример автоматизированного расчета электроснабжения объектов сельскохозяйственного производства с помощью разработанного программного обеспечения «Электроснабжение 2.2».

С1 Выбор объектов проектирования и сбор данных

Изучение электрических нагрузок агропромышленных объектов - сложная и трудоемкая задача. Для наиболее распространенных в сельском хозяйстве электрических приемников характеристики нагрузки определены институтом «Сельэнергопроект» на основе многолетних экспериментальных исследований.

Результаты обследования нагрузок сельскохозяйственных объектов, к которым требуется обязательная прокладка линий электроснабжения, приводятся в справочных таблицах для каждой ТП.

В качестве примера расчета системы электроснабжения с помощью программы «Электроснабжение 2.2» была выбрана разветвленная высоковольтная сеть, отходящая от шин напряжением 10 кВ распределительной ТП-35/10 кВ, предназначенная для передачи электрической энергии потребительским трансформаторным подстанциям напряжением 10/0,4 кВ, которая задаётся в виде конфигурации, представленной в электронном окне на рисунке С1.

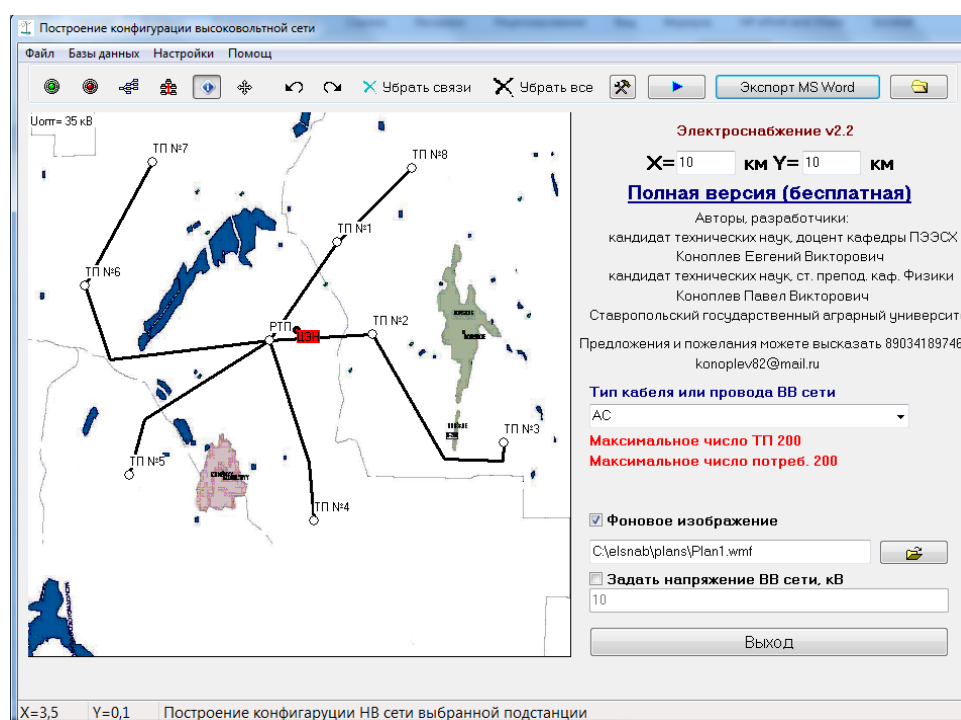


Рисунок С1 – Конфигурация сети и расположения потребительских ТП

На рисунке С2 в поле электронного окна изображен план сельскохозяйственных потребителей, подключаемых к шинам 0,38 кВ трансформаторной подстанции ТП-1.

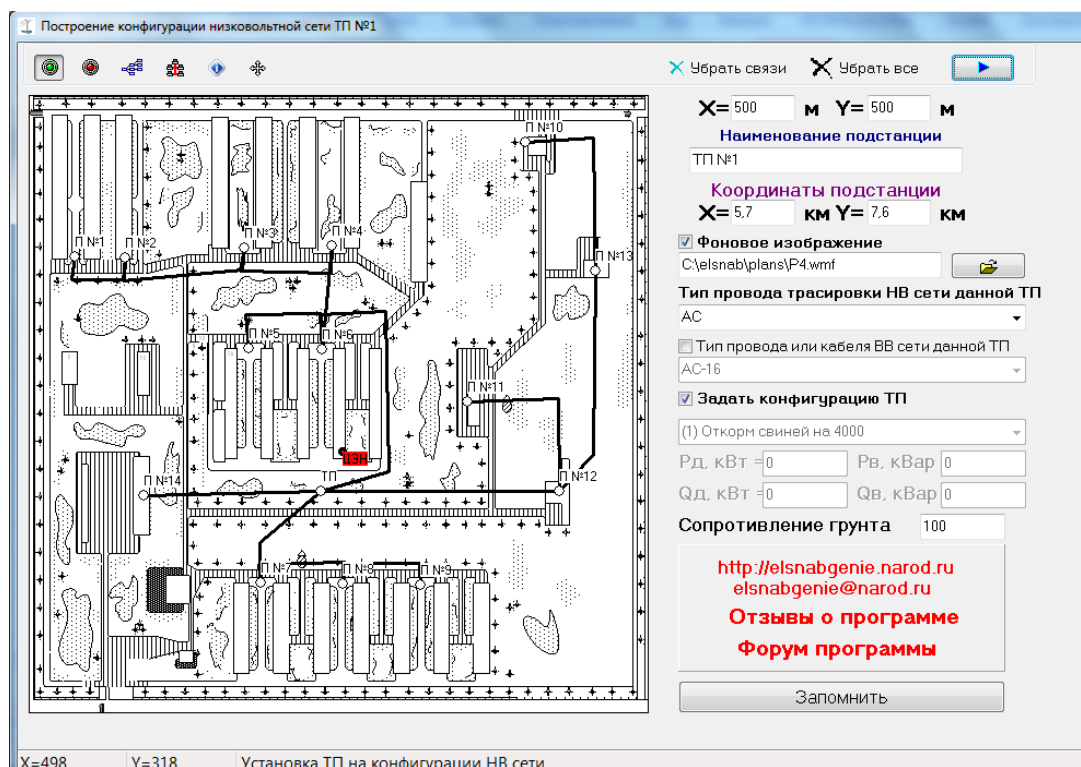


Рисунок С2 - Конфигурация расположения потребителей низковольтной сети ТП-1

В таблице С1 на примере подключаемой нагрузки к ТП-1 дается полная информация о дневных и вечерних максимумах мощностей различных потребителей электроэнергии сельскохозяйственного производства.

Таблица С1 - Потребители трансформаторной подстанции (ТП-1)

№ п.п.	Наименование	шифр	Дневной максимум			Вечерний максимум		
			Р _д , кВт	Q _д , кВАр	S _д , кВА	Р _в , кВт	Q _в , кВАр	S _в , кВА
ТП №1								
П №1 (22)	Производство молока 200 коров	22	35	30	46,097	25	20	32,015
П №2 (22)	Производство молока 200 коров	22	35	30	46,097	25	20	32,015
П №3 (119)	Телятник с родильным отделением на 230 телят	119	6	4	7,211	10	6	11,661
П №4 (141)	Свинарник- маточник на 100 маток с навозоуборочным	141	5	4	6,403	5	4	6,403

	транспортером							
П №5 (147)	Кормоцех для свинофермы на 200 маток и 2000 голов откорма или на 3000 голов откорма	147	37	33	49,578	15	10	18,027
П №6 (75)	Кумысная ферма на 50 кобылиц	75	20	10	22,36	25	12	27,73
П №7 (22)	Производство молока 200 коров	22	35	30	46,097	25	20	32,015
П №8 (23)	Производство молока 400 коров	23	105	90	138,29 3	105	90	138,29 3
П №9 (23)	Производство молока 400 коров	23	105	90	138,29 3	105	90	138,29 3
П №10 (376)	Гараж с профилакторием на 25 автомашин	376	30	25	39,051	15	12	19,209
П №11 (327)	Склад концентрированных кормов с дробилкой ДКУ-1	327	15	13	19,849	1	0	1
П №12 (376)	Гараж с профилакторием на 25 автомашин	376	30	25	39,051	15	12	19,209
П №13 (341)	Столярный цех	341	15	10	18,027	1	0	1
П №14 (339)	Кузница	339	5	0	5	1	0	1

С2 Определение центра электрических нагрузок низковольтной сети

При выборе площадки для строительства подстанции необходимо руководствоваться рядом требований, одно из которых - расположение подстанции в центре электрических нагрузок. Центр нагрузок можно определить тем же способом, которым находят центр тяжести фигур, используя аналогию между массами и электрическими нагрузками населенных пунктов и других потребителей в зоне электроснабжения от проектируемой подстанции.

Начало координат и координатные оси выбирают произвольно. Если центр нагрузок находится в пункте, не удовлетворяющем требованиям НТПС, то площадку для строительства подстанции намечают в ближайшей от центра нагрузок местности.

Если рекомендуемое в задании месторасположение трансформаторной подстанции имеет координаты, которые удалены от центра электрических нагрузок, то трансформаторную подстанцию

необходимо перенести в вершину квадрата, который располагается ближе всего к ЦЭН.

В таблице С2 даны результаты расчетов, полученных с помощью программы «Электроснабжение 2.2», координат центров электрических нагрузок всех потребителей электроэнергии подключенных к ТП-1 для конфигурации низковольтной сети изображенной на рисунке С2, а в таблице С3 указаны координаты расположения на местности ТП-1.

Таблица С2 - Координаты потребителей низковольтной сети

Код потребителя	Координата X, м	Координата Y, м
ТП №1		
П №1 (22)	37	369
П №2 (22)	78	369
П №3 (119)	174	377
П №4 (141)	244	378
П №5 (147)	177	295
П №6 (75)	236	295
П №7 (22)	187	106
П №8 (23)	253	105
П №9 (23)	316	104
П №10 (376)	400	462
П №11 (327)	354	252
П №12 (376)	428	180
П №13 (341)	457	358
П №14 (339)	93	176

Таблица С3 - Координаты центра электрических нагрузок для установки ТП-1

Номер потребительской ТП	Координата X, м	Координата Y, м
ТП-1	253,52	211,733

На рисунке С3 представлен план объектов электроснабжения с нанесением центра электрических нагрузок и конфигурации сети напряжением 0,38 кВ.

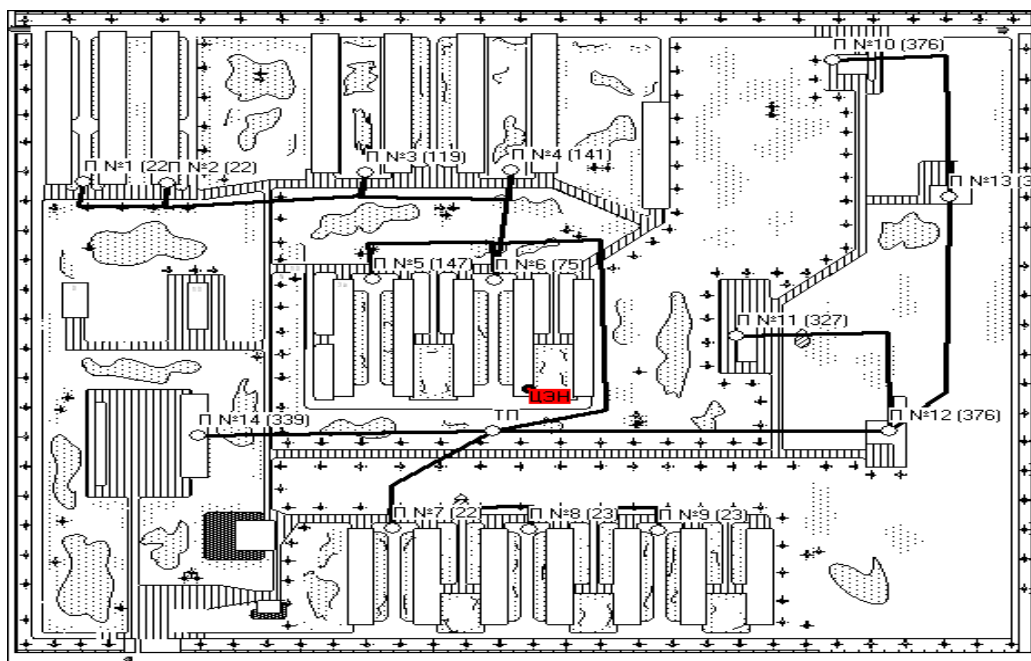


Рисунок С3 - Центр электрических нагрузок ТП-1

Для остальных потребительских трансформаторных подстанций центры электрических нагрузок определяются аналогичным образом.

С3 Определение электрических нагрузок сети 0,38 кВ

В таблице С4 для ТП-1 приводятся результаты расчета значений мощности электрических нагрузок по участкам низковольтной сети.

Таблица С4 - Расчёт нагрузок сети 0,38 кВ

Участок сети	Рд, кВт	Qд, кВАр	Сд, кВА	Рв, кВт	Qв, кВАр	Св, кВА
ТП №1						
П №13 (341) - П №10 (376)	30	25	39,051	15	12	19,209
П №12 (376) - П №13 (341)	39,2	31	49,976	15,6	12	19,681
П №2 (22) - П №1 (22)	35	30	46,097	25	20	32,015
П №3 (119) - П №2 (22)	57,8	49	75,774	40,7	32,5	52,083
П №4 (141) - П №3 (119)	61,4	51,4	80,074	46,7	36,1	59,026
П №6 (75) - П №4 (141)	64,4	53,8	83,915	49,7	38,5	62,867
П №6 (75) - П №5 (147)	37	33	49,578	15	10	18,027
ТП - П №6 (75)	101,1	81	129,546	74,6	51,8	90,82
П №12 (376) - П №11 (327)	15	13	19,849	1	0	1

ТП - П №12 (376)	67,4	54,6	86,74	25,4	19,3	31,9
П №8 (23) - П №9 (23)	105	90	138,293	105	90	138,293
П №7 (22) - П №8 (23)	178	152	234,068	178	152	234,068
ТП - П №7 (22)	200,8	171	263,745	193,7	164,5	254,125
ТП - П №14 (339)	5	0	5	1	0	1

Суммирование нагрузок ведётся методом надбавок или с помощью коэффициента одновременности. Результаты расчётов для всех потребительских подстанций напряжением 10/0,4 кВ заносятся в таблицу С5.

Таблица С5 - Значения нагрузок на шинах низкого напряжения трансформаторных подстанций

Номер ТП	Рд, кВт	Qд, кВАр	Сд, кВА	Рв, кВт	Qв, кВАр	Св, кВА
ТП-1	374,3	306,6	483,843	294,699	306,6	425,265
ТП-2	120	105	159,452	65	105	123,49
ТП-3	150	150	212,132	105	150	183,098
ТП-4	6	5	7,81	9	5	10,295
ТП-5	280	120	304,63	230	120	259,422
ТП-6	30	15	33,541	30	15	33,541
ТП-7	100	90	134,536	10	90	90,553
ТП-8	20	10	22,36	20	10	22,36

С4 Нахождение места расположения РТП

Распределительные трансформаторные подстанции следует устанавливать в местах, которые максимально приближены к центрам суммарной мощности потребительских подстанций. Координаты центра электрических нагрузок высоковольтной сети определяются по той же методике, как и для сети 0,38 кВ.

Таблица С6 - Координаты потребителей низковольтной сети

ТП	Координата X, км	Координата Y, км
ТП-1	5,7	7,6
ТП-2	6,3	5,9
ТП-3	8,8	3,9
ТП-4	5,3	2,5
ТП-5	1,9	3,3
ТП-6	1	6,8
ТП-7	2,3	9,1
ТП-8	7,1	9

Для РТП центр электрических нагрузок высоковольтной сети по результатам расчета находится в координатах: $X = 4,97$ км, $Y = 5,98$ км.

С5 Суммирование нагрузок в сети высокого напряжения

На рисунке С4 отображена конфигурация высоковольтной сети и указаны места расположения трансформаторных подстанций, а в таблице С7 приведены результаты расчетов по суммированию нагрузок в линиях высокого напряжения.

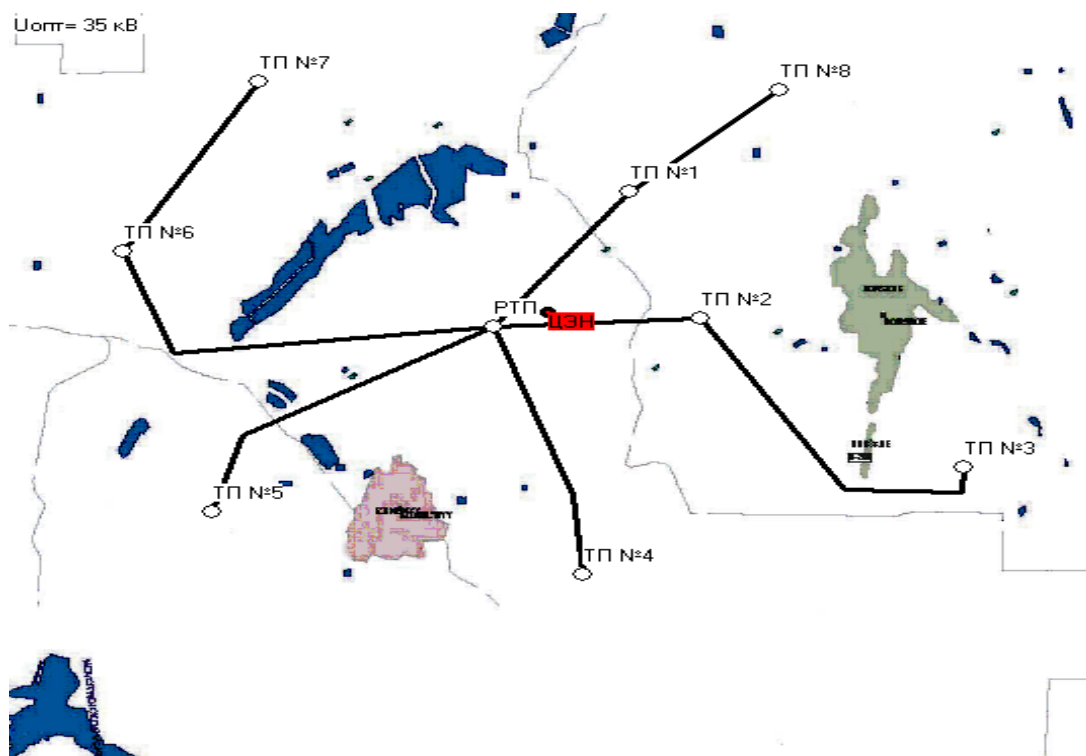


Рисунок С4 - Конфигурация расположения ТП на плане высоковольтной сети

Таблица С7 - Результаты суммирования нагрузок в сети высокого напряжения

Номер участка	$P_{д,}$ кВт	$Q_{д,}$ кВАр	$S_{д,}$ кВА	$P_{в,}$ кВт	$Q_{в,}$ кВАр	$S_{в,}$ кВА
РТП – ТП-4	6	5	7,81	9	5	10,295
РТП – ТП-5	280	120	304,63	230	120	259,422
ТП-6 – ТП-7	100	90	134,536	10	90	90,553
РТП – ТП-6	120,4	99,7	156,32	36,3	99,7	106,102
ТП-1 – ТП-8	20	10	22,36	20	10	22,36
РТП – ТП-1	387,3	312,9	497,903	307,699	312,9	438,845
ТП-2 – ТП-3	150	150	212,132	105	150	183,098
РТП – ТП-2	240	228	331,034	153,8	228	275,024

В результате расчетов установлено, что эквивалентная длина сетей равна $L_{\text{эк}} = 3,70$ км, а необходимое значение напряжения высоковольтной сети на шинах РТП равно $U_{\text{опт}} = 19,53$ кВ. Для проектируемой системы электроснабжения рекомендуется на входе РТП использовать стандартное напряжение 35 кВ.

С6 Необходимое количество и значения мощностей трансформаторов на подстанциях

Мощность и число трансформаторов понижающих подстанций выбирают по расчетной мощности на шинах низкого напряжения с учетом перегрузочной способности трансформаторов и требований по обеспечению необходимой степени надежности электроснабжения потребителей. На подстанциях устанавливают один или два трансформатора.

На РТП 35...110/6...20 кВ устанавливают два трансформатора в следующих случаях. Когда расстояние до ближайшей соседней подстанции больше 45 км. Если из-за преград на местности, например, наличие водоемов, полигонов, лесистой и гористой местности невозможно зарезервировать хотя бы одну из линий 10(6) кВ от соседней подстанции. На основании расчетной мощности требуется установить трансформатор более 6300 кВА. Когда число отходящих линий 10(6) кВ более пяти. Если невозможно заменить поврежденный трансформатор в течение суток с момента повреждения. Если от РТП питаются потребители первой категории и их резервирование от других подстанций по линиям 10(6) кВ невозможно. Если при резервировании потребителей первой категории от соседних подстанций невозможно обеспечить нормированное отклонение напряжения в послеаварийном режиме.

Во всех других случаях на РТП устанавливается один трансформатор.

На двух трансформаторных РТП рекомендуется устанавливать трансформаторы одинаковой мощности, причем мощность каждого из них должна составлять 70 % мощности подстанции на конец расчетного периода. Установленную мощность одно трансформаторных подстанций 35/10 и 10/0,4 кВ берут из РУМ 7-75, где приведены интервалы нагрузок для выбора мощности трансформаторов.

Как правило, на РТП рекомендуется устанавливать трансформаторы типа ТМН с автоматическим регулированием напряжения под нагрузкой (РПН), так как при действующих нормах отклонений напряжения ± 5 % для сельских потребителей установка трансформаторов без РПН предопределяет в большинстве случаев необходимость применения

других, более дорогостоящих средств автоматического регулирования напряжения.

На потребительских подстанциях ТП 10(6)/0,4 кВ устанавливают трансформаторы типа ТМ с переключением без возбуждения (ПБВ), с ручным переключением ответвлений обмотки высшего напряжения при отключенном трансформаторе и пределами регулирования $2\pm 2,5$ %. Необходимость установки на ТП в отдельных случаях трансформатора типа ТМН с РПН должна быть обоснована технико-экономическим расчетом.

При проектировании РТП ее мощность определяют, исходя из заранее заданной зоны электроснабжения потребителей от проектируемой подстанции. Поэтому вопросы определения радиуса распределительной сети 10(6) кВ и числа РТП в задание на проектирование не входят.

В небольших и средних сельских населенных пунктах с преобладающей коммунально-бытовой нагрузкой устанавливают одну или две ТП 10(6)/0,4 кВ с трансформаторами мощностью до 63 и реже до 100 кВА.

Для потребителей II и III категории в зависимости от величины расчетной нагрузки могут применяться трансформаторные подстанции с одним или двумя трансформаторами. Для питания электрической энергией потребителей I категории необходимо применять трансформаторные подстанции с двумя трансформаторами или одно трансформаторные подстанции с резервированием дизельными электростанциями. С учетом перспективы развития (согласно заданию) выбирается коэффициент роста нагрузок трансформаторной подстанции.

Таблица С8 - Технические данные трансформатора

№ ТП	Тип	Номинальная мощность, кВА	Сочетание напряжений, кВ		Потери, кВт		Напряжение к.з. %	Ток х.х., %
			В.Н.	Н.Н.	х.х	к.з.		
ТП-1	ТМ-400	400	35	0,4	1,35	5,5	6,5	2,1
ТП-2	ТМ-160	160	35	0,4	0,66	2,65	6,5	2,4
ТП-3	ТМ-160	160	35	0,4	0,66	2,65	6,5	2,4
ТП-4	ТМ-100	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16
ТП-5	ТМ-250	250	35	0,4	0,96	3,7	6,5	2,5
ТП-6	ТМ-100	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16
ТП-7	ТМ-100	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16
ТП-8	ТМ-100	100	35	0,4	0,465	1,97	6,5	4,16

Результаты расчетов связанные с выбором типа трансформаторов, устанавливаемых на подстанциях, и их технические характеристики представлены в таблице С8. В таблице С9 даны коэффициенты системных перегрузок.

Таблица С9 - Коэффициент системных перегрузок ТП

Трансформаторная подстанция	$K_{сп}$
ТП-1	1,2
ТП-2	0,99
ТП-3	1,32
ТП-4	0,07
ТП-5	1,21
ТП-6	0,33
ТП-7	1,34
ТП-8	0,22

С7 Выбор типа подстанции

Для электроснабжения сельских потребителей, рассчитанных на напряжении 0,38/0,22 кВ, непосредственно возле центров потребления электроэнергии сооружают трансформаторные пункты или устанавливают комплектные трансформаторные подстанции на 35 ...10/0,38(0,22) кВ. Обычно мощности трансформаторных подстанций не очень значительны и очень часто их размещают на деревянных мачтовых конструкциях. Комплектные трансформаторные подстанции устанавливают на специальных железобетонных опорах. Трансформаторные пункты при использовании дерева монтируют на АП-образных опорах. Они имеют невысокую стоимость, и их сооружают в короткий срок, причем для их сооружения используют местные строительные материалы.

Комплектные подстанции полностью изготавливают на заводах, а на месте установки их только монтируют на соответствующих железобетонных опорах или фундаментах. Эксплуатация трансформаторных пунктов и комплектных подстанций очень проста, что обусловило их широкое применение в практике и, особенно в сельской электроэнергетике. КТП могут применяться на окраинах городов и в качестве цеховых пунктов электроснабжения на заводах и фабриках. На подстанциях имеется вся необходимая аппаратура для присоединения к высоковольтным линиям 35...10 кВ (разъединитель, вентильные разрядники, предохранители), а также силовой трансформатор мощностью от 25 до 630 кВА и распределительное устройство сети 0,38/0,22 кВ, смонтированное в герметизированном

металлическом ящике. На распределительных устройствах подстанций крепят необходимое количество изоляторов для отходящих низковольтных воздушных линий 0,38/0,22 кВ.

С8 Расчёт сечения проводов сети высокого напряжения

Расчёт сечения проводов сети высокого напряжения производится по экономической плотности тока и выполняется для всех магистральных и отходящих участков. Результат заноситься в таблицу С10.

Таблица С10 - Расчёт сечения проводов в сети высокого напряжения

Участок сети	S_p , кВА	P_p , кВт	I_p , А	T_m , ч	$j_{эк.}$, А/мм ²	$F_{эк.}$, мм ²	Марка провода
РТП – ТП-4	7,81	6	0,128	1300	1,3	0,098	АС-16
РТП – ТП-5	304,63	280	5,025	3400	1,1	4,568	АС-16
ТП-6 – ТП-7	134,536	100	2,219	2800	1,3	1,706	АС-16
РТП – ТП-6	156,32	120,4	2,578	3200	1,1	2,343	АС-16
ТП-1 – ТП-8	22,36	20	0,368	1700	1,3	0,283	АС-16
РТП – ТП-1	497,903	387,3	8,213	3400	1,1	7,466	АС-16
ТП-2 – ТП-3	212,132	150	3,499	3200	1,1	3,18	АС-16
РТП – ТП-2	331,034	240	5,46	3200	1,1	4,963	АС-16

С9 Потери напряжения в высоковольтной сети и трансформаторах

Потери в высоковольтных линиях электропередачи определяются для проводов марки АС-16 и сводятся в таблицу С11.

В качестве примера отдельно даются расчетные величины для ТП-1:
 $U_a = 0,01 \%$, $U_p = 6,49 \%$, $\cos \varphi = 0,77$, $\sin(\varphi) = 0,63$, $\Delta U = 4,99 \%$.

Таблица С11 - Потери напряжения в сети высокого напряжения

Участок сети	Марка провода	P , кВт	r_0 , Ом/км	Q , кВАр	x_0 , Ом/км	L , км	ΔU , В	ΔU , %
РТП – ТП-4	АС-16	6	1,8	5	0,43	3,444	1,274	0,003
РТП – ТП-5	АС-16	280	1,8	120	0,43	3,81	60,481	0,172
ТП-6 – ТП-7	АС-16	100	1,8	90	0,43	2,641	16,502	0,047
РТП – ТП-6	АС-16	120,4	1,8	99,7	0,43	4,307	31,944	0,091
ТП-1 – ТП-8	АС-16	20	1,8	10	0,43	1,979	2,278	0,006
РТП – ТП-1	АС-16	387,3	1,8	312,9	0,43	2,22	52,752	0,15
ТП-2 – ТП-3	АС-16	150	1,8	150	0,43	4,008	38,305	0,109
РТП – ТП-2	АС-16	240	1,8	228	0,43	1,902	28,803	0,082

С10 Потери мощности и электроэнергии в сети высокого напряжения

Правильный выбор электрооборудования, выявление рациональных режимов его работы, выбор самого экономичного способа повышения коэффициента мощности дают возможность снизить потери мощности и энергии в сети и тем самым определить наиболее экономичный режим в процессе эксплуатации. Результаты расчета потерь мощности и энергии сети высокого напряжения по участкам приводятся в таблице С12.

Для ТП-1: $\Delta P_{тр} = 9,39$ кВт; $\Delta W_{тр} = 13720,04$ кВт·ч.

Таблица С12 - Определение потерь мощности и энергии в сети высокого напряжения

Участок сети	I, А	r_0 , Ом/км	L, км	ΔP , кВт	T_m , ч	τ , ч	ΔW , кВт·ч
РТП – ТП-4	0,128	1,8	3,444	0	1300	565,16	0
РТП – ТП-5	5,025	1,8	3,81	0,288	3400	1885,992	543,165
ТП-6 – ТП-7	2,219	1,8	2,641	0,039	2800	1429,772	55,761
РТП – ТП-6	2,578	1,8	4,307	0,085	3200	1726,911	146,787
ТП-1 – ТП-8	0,368	1,8	1,979	0	1700	757,179	0
РТП – ТП-1	8,213	1,8	2,22	0,449	3400	1885,992	846,81
ТП-2 – ТП-3	3,499	1,8	4,008	0,147	3200	1726,911	253,855
РТП – ТП-2	5,46	1,8	1,902	0,17	3200	1726,911	293,574
Итого:			24,311	1,172			2139,947

С11 Определение допустимой потери напряжения в сетях 0,38 кВ

Допустимая потеря напряжения в сети 0,38 кВ определяется для правильного выбора сечения проводов линии 0,38 кВ.

В режиме минимальной нагрузки проверяется отклонение напряжения, у ближайшего потребителя, которое не должно превышать +5 %. В максимальном режиме отклонение напряжения у наиболее удалённого потребителя должно быть не более -5 %. На районной подстанции осуществляется режим встречного регулирования $\delta U^{100} = 5$ %; $\delta U^{25} = 2$ %.

Для ТП-1: $V_{рег} = 3,29$ %, принимается стандартная регулируемая надбавка равная 2,5 %; расчетное значение $\Delta U_{доп} = 2,51$ %, что составляет 9,53 В.

Для остальных ТП расчеты производятся аналогично.

С12 Определение сечений проводов и фактических потерь напряжения, мощности и энергии в сетях 0,38 кВ

Сечения проводов ВЛ-0,38 кВ определяются по экономическим интервалам, или по допустимой потере напряжения по формулам, соответствующим конфигурации сети.

Результаты расчета сечений проводов низковольтной сети сведены в таблицу С13.

Таблица С13 - Определение расчетных сечений и типа проводов

Участок сети	Расчетное сечение провода, мм	Марка провода	Фактическая потеря напряжения, В
ТП-1			
П №13 (341) - П №10 (376)	63,373	АС-70	9,768
П №12 (376) - П №13 (341)	123,971	АС-150	9,627
П №2 (22) - П №1 (22)	29,558	АС-35	8,625
П №3 (119) - П №2 (22)	90,088	АС-95	9,579
П №4 (141) - П №3 (119)	80,618	АС-95	8,851
П №6 (75) - П №4 (141)	58,536	АС-70	8,554
П №6 (75) - П №5 (147)	55,248	АС-70	8,993
ТП - П №6 (75)	749,353	АС-1000	9,072
П №12 (376) - П №11 (327)	22,835	АС-25	8,849
ТП - П №12 (376)	859,242	АС-1000	10,349
П №8 (23) - П №9 (23)	98,968	АС-120	8,052
П №7 (22) - П №8 (23)	160,226	АС-185	7,743
ТП - П №7 (22)	202,557	АС-240	8,197
ТП - П №14 (339)	6,167	АС-16	3,384

Потери мощности и энергии в линиях 0,38 кВ определяются аналогично потерям мощности и энергии в высоковольтных сетях и заносятся в таблицу С14.

Таблица С14 - Потери мощности и энергии в сети 0,38 кВ

Участок сети	S, кВА	P, кВт	I, А	r ₀ , Ом/км	L, м	ΔP, кВт	T _м , ч	τ, ч	ΔW, кВтч
ТП-1									
П №13 (341) - П №10 (376)	39,051	30	59,331	0,412	162,385	0,706	2200	1036,6	731,8
П №12 (376) - П №13 (341)	49,976	39,2	75,93	0,194	188,731	0,633	2200	1036,6	656,1

П №2 (22) - П №1 (22)	46,097	35	70,037	0,83	78,692	0,961	2200	1036,6	996,1
П №3 (119) - П №2 (22)	62,584	57,8	95,086	0,308	132,849	1,109	2800	1429,7	1585,5
П №4 (141) - П №3 (119)	66,834	61,4	101,543	0,308	114,127	1,087	2800	1429,7	1554
П №6 (75) - П №4 (141)	70,546	64,4	107,183	0,412	84,149	1,194	2800	1429,7	1707
П №6 (75) - П №5 (147)	49,578	37	75,325	0,412	117,429	0,823	2200	1036,6	853,1
ТП - П №6 (75)	105,745	101,1	160,662	0,02	267,836	0,414	3200	1726,9	714,9
П №12 (376) - П №11 (327)	19,849	15	30,157	1,14	148,201	0,46	1700	757,1	348,2
ТП - П №12 (376)	86,74	67,4	131,787	0,02	192,239	0,2	2800	1429,7	285,9
П №8 (23) - П №9 (23)	106,066	105	161,15	0,246	96,14	1,842	3200	1726,9	3180,9
П №7 (22) - П №8 (23)	178,011	178	270,459	0,157	102,505	3,531	3200	1726,9	6097,6
ТП - П №7 (22)	201,895	200,8	306,747	0,12	97,109	3,289	3200	1726,9	5679,7
ТП - П №14 (339)	5	5	7,596	1,8	142,9	0,044	1300	565,1	24,8
Итого:					1925,29	16,29			24415,6

С13 Конструктивные параметры воздушных линий электропередачи

При выполнении проекта, воздушной линии следует руководствоваться Правилами устройства электроустановок, Нормами технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения, дизельных электростанций и Строительными нормами и правилами. При проектировании должны быть учтены следующие основные требования: надежность электроснабжения; надлежащее качество электроэнергии, передаваемой потребителям; механическая прочность всех элементов линий; безопасность для людей и животных; удобство эксплуатации; минимум затрат при сооружении и эксплуатации.

С14 Расчёт токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания необходим для выбора аппаратуры и проверки элементов электроустановок, например, шин, изоляторов, кабелей и т.д. на электродинамическую и термическую устойчивость, проектирования и наладки релейной защиты, выбора средств и схем грозозащиты, выбора и расчета токоограничивающих и заземляющих устройств.

Схема замещения высоковольтной сети для расчетов токов короткого замыкания и схема замещения низковольтной сети ТП-1 построенные с помощью программы «Электроснабжения 2.2» приведены на рисунках С5 и С6. Числовые значения, полученные на основании расчетных схем замещения, даны в таблицах С15 и С16.

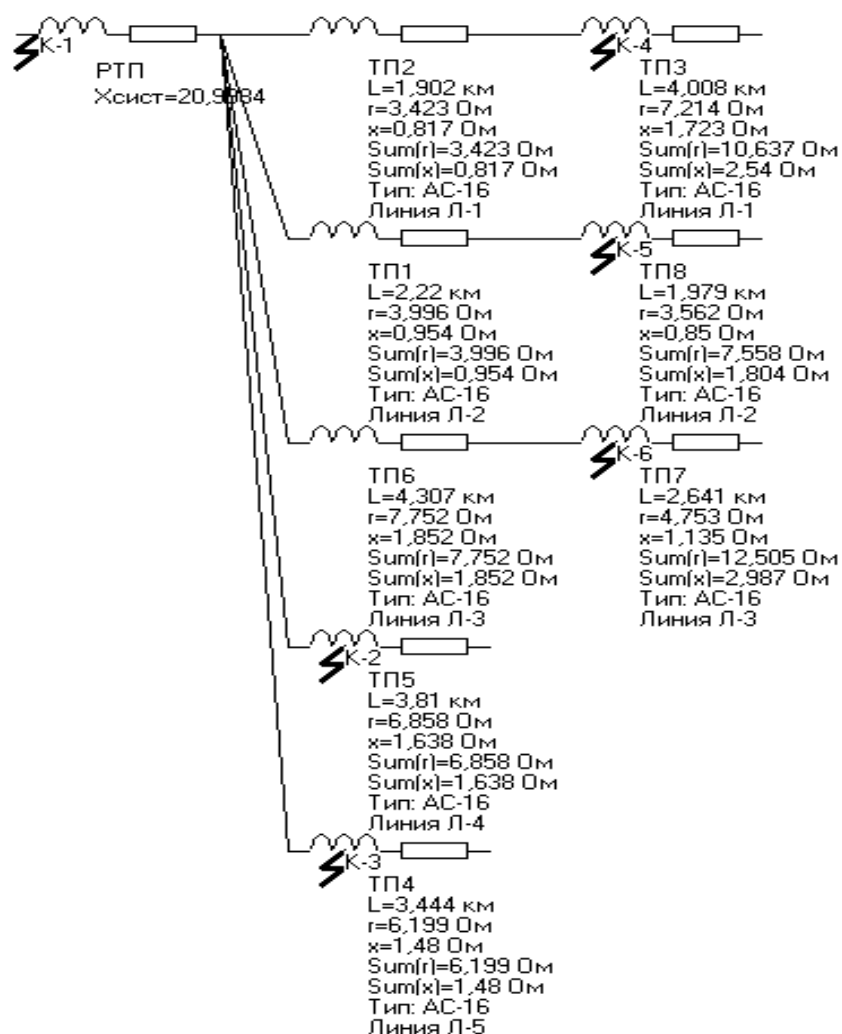


Рисунок С5 - Схема замещения высоковольтной сети для расчетов токов короткого замыкания

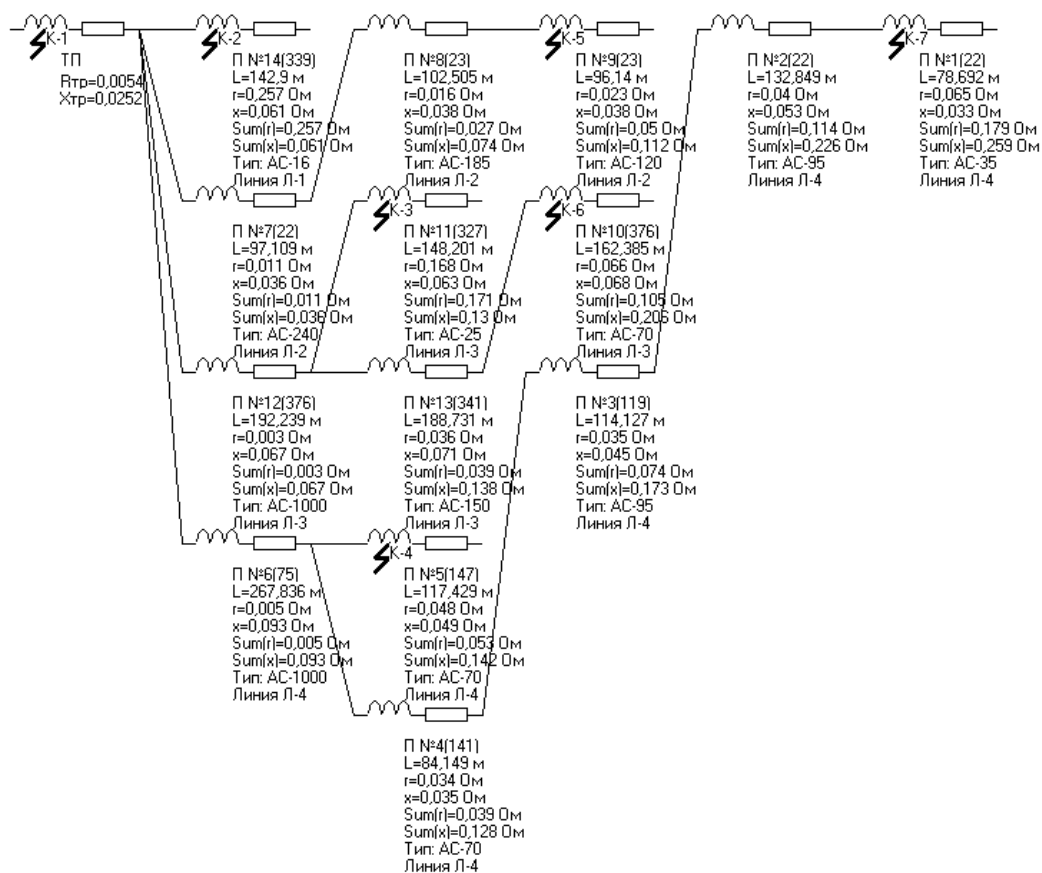


Рисунок С6 - Схема замещения низковольтной сети ТП-1 для расчетов токов короткого замыкания

Таблица С15 - Результаты расчётов токов короткого замыкания высоковольтной сети

Точка к.з.	r , Ом	x , Ом	Z , ом	Z_{Σ} , Ом	T_a	$K_{уд}$	$I^{(3)}$	$I^{(2)}$	$I^{(1)}$	$i_{уд}$
К-1	0	20,9984	20,9984	-	0	2	1,0104	0,875	-	2,8578
К-2	6,858	1,638	23,6524	-	0,0007	1	0,897	0,7768	-	1,2685
К-3	6,199	1,48	23,3175	-	0,0007	1	0,9099	0,7879	-	1,2867
К-4	10,637	2,54	25,8302	-	0,0007	1	0,8214	0,7113	-	1,1616
К-5	7,558	1,804	24,0223	-	0,0007	1	0,8832	0,7648	-	1,249
К-6	12,505	2,987	27,0494	-	0,0007	1	0,7844	0,6793	-	1,1093

Таблица С16 - Результаты расчётов токов короткого замыкания низковольтной сети трансформаторной подстанции

Точка к.з.	$r, \text{Ом}$	$x, \text{Ом}$	$Z, \text{ом}$	$Z_{\text{п}}, \text{Ом}$	T_a	$K_{\text{уд}}$	$I^{(3)}$	$I^{(2)}$	$I^{(1)}$	$i_{\text{уд}}$
ТП-1										
К-1	0,00547	0,02528	0,0258	0	0,0147	1,5064	8,9287	7,7324	0	19,0214
К-2	0,257	0,061	0,2766	0,264	0,0007	1	0,8328	0,7212	1,2309	1,1777
К-3	0,171	0,13	0,1958	0,214	0,0024	1,0155	1,1765	1,0188	1,4519	1,6896
К-4	0,053	0,142	0,092	0,151	0,0085	1,3083	2,5039	2,1684	1,8859	4,6327
К-5	0,05	0,112	0,07	0,122	0,0071	1,2445	3,2908	2,8499	2,1844	5,7917
К-6	0,105	0,206	0,1182	0,231	0,0062	1,1993	1,9489	1,6877	1,3701	3,3054
К-7	0,179	0,259	0,0917	0,314	0,0046	1,1137	2,5121	2,1755	1,0644	3,9565

Для остальных ТП низковольтной сети расчеты производятся аналогичным образом.

С15 Выбор и проверка аппаратуры высокого напряжения ячеек питающих линий

Согласно ПУЭ электрические аппараты выбирают по роду установки, номинальному току и напряжению, проверяют на динамическую и термическую устойчивость. Ячейка питающей линии представляет собой комплектное распределительное устройство наружной или внутренней установки. КРУН (комплектные распределительные устройства наружной установки) комплектуется двумя разъединителями с короткозамыкателями (QS) для создания видимого разрыва цепи при проведении профилактических и ремонтных работ обслуживающим или оперативным персоналом, выключателем нагрузки (QF) и комплектом трансформаторов тока (ТА), которые служат для питания приборов релейной защиты и приборов учёта электрической энергии. Однолинейная упрощённая схема КРУН представлена на рисунке С7.

В таблице С17 даны сравнительные характеристики: исходных данных в местах установки, с параметрами выбираемых выключателей, разъединителей и трансформаторов тока.

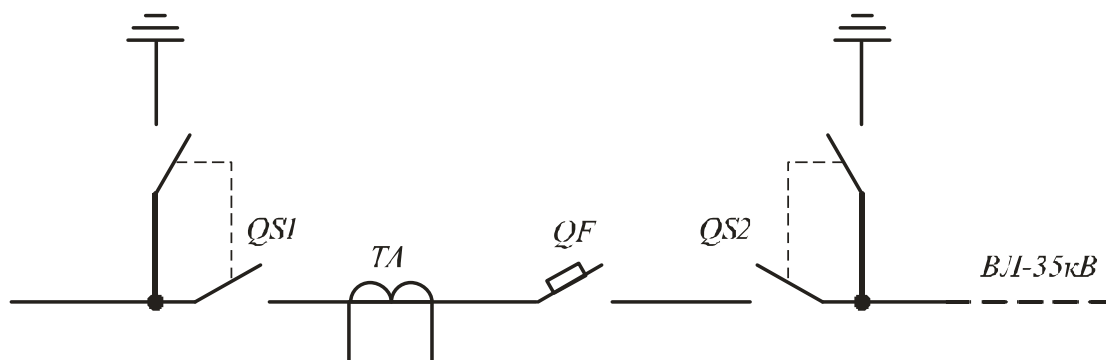


Рисунок С7 - Однолинейная упрощённая схема КРУН

Таблица С17 - Сравнение исходных данных места установки, с параметрами выключателя, разъединителя, трансформатора тока

Исходные данные в местах установки	Параметры выключателя	Параметры разъединителя	Параметры трансформатора тока
	Тип ВП-35	Тип РНД(З)-35/1000	Тип ТПОЛ-35
$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	35 кВ	35 кВ	35 кВ
$I_{ном} = 21,403 \text{ А}$	0,4 кА	1000 А	400 А
$I_{K1}^{(3)} = 1,01 \text{ кА}$	5 кА	-	-
$i_{y\partial K1} = 2,857 \text{ кА}$	16 кА	64 кА	100 кА
$[I_{K1}^{(3)}]^2 \cdot t_k$	6,3 кА	25 кА	1,6 кА

Как видно из таблицы С17, параметры всех выбранных аппаратов удовлетворяют предъявляемым требованиям.

С16 Компенсация реактивной мощности

Для повышения пропускной способности линий и снижения сечения проводов сетей, проложенных к потребителям, имеющим большую реактивную мощность (25 кВАр и более) устанавливается поперечная емкостная компенсация. Информация по компенсации сети низкого напряжения приводится в таблице С18.

Таблица С18 - Компенсация реактивной мощности сети 0,38 кВ

Участок сети	Рд, кВт	Qд, кВАр до компенсации	Qд, кВАр после компенсации	Sд, кВА	Рв, кВт	Qв, кВАр до компенсации	Qв, кВАр после компенсации	Sв, кВА	Компенсатор тип/мощность
ТП-1									
П №13 (341) - П №10 (376)	30	25	25	39,051	15	12	12	19,209	-
П №12 (376) - П №13 (341)	39,2	31	31	49,976	15,6	12	12	19,681	-
П №2 (22) - П №1 (22)	35	30	30	46,097	25	20	20	32,015	-
П №3 (119) - П №2 (22)	57,8	49	24	62,584	40,7	32,5	7,5	41,385	УКН-0,4-25/25
П №4 (141) - П №3 (119)	61,4	51,4	26,399	66,834	46,7	36,1	11,1	48,001	-
П №6 (75) - П №4 (141)	64,4	53,8	28,799	70,546	49,7	38,5	13,5	51,5	-
П №6 (75) - П №5 (147)	37	33	33	49,578	15	10	10	18,027	-
ТП - П №6 (75)	101,1	81	31	105,745	74,6	51,8	1,8	74,621	УКН-0,4-25/25
П №12 (376) - П №11 (327)	15	13	13	19,849	1	0	0	1	-
ТП - П №12 (376)	67,4	54,6	54,6	86,74	25,4	19,3	19,3	31,9	-
П №8 (23) - П №9 (23)	105	90	15	106,066	105	90	15	106,066	УКН6-0,4-75Уз/75
П №7 (22) - П №8 (23)	178	152	2	178,011	178	152	2	178,011	УКН6-0,4-75Уз/75
ТП - П №7 (22)	200,8	171	21	201,895	193,7	164,5	14,5	194,241	-
ТП - П №14 (339)	5	0	0	5	1	0	0	1	-

Для остальных трансформаторных подстанций выбор установок для компенсации реактивной мощности производится аналогично.

С17 Расчёт сети по потере напряжения при пуске электродвигателя

Когда в сети работают короткозамкнутые асинхронные электродвигатели большой мощности, то после того, как сеть рассчитана по допустимым отклонениям напряжения, её проверяют на кратковременные колебания напряжения при пуске электродвигателей. Известно, что пусковой ток асинхронного короткозамкнутого электродвигателя в 4...7 раз больше его номинального значения. Вследствие этого потеря напряжения в сети при пуске может в несколько раз превышать потерю напряжения на двигателе.

Однако в большинстве случаев электродвигатели запускают не слишком часто (несколько раз в час), продолжительность разбега двигателя невелика – до 10 с.

При пуске электродвигателей допускаются значительные понижения напряжения. Требуется только чтобы пусковой момент двигателя, был достаточен для преодоления момента сопротивления и, следовательно, электродвигатель смог быстро запуститься.

Расчет возможности пуска электродвигателя с использованием программы «Электроснабжение 2.2».

Потребитель П №5 (147 - Кормоцех для свинофермы на 200 маток и 2000 голов откорма) трансформаторной подстанции ТП 1 имеет привод с электродвигателем 4А132М2У3.

Паспортные данные электродвигателя

$$\begin{array}{lll} P_{\text{ном}}=11 \text{ кВт}, & \cos\varphi_{\text{ном}}=0,9, & \text{КПД}=0,88, \\ \lambda_{\text{max}}=2,8, & \lambda_{\text{min}}=1,5, & \lambda_{\text{пуск}}=1,7, \\ \lambda_{\text{кр}}=1,7, & R_{\text{к.п}}=0,068, & X_{\text{к.п}}=0,12, \\ S_{\text{к}}=19, & k_{\text{I}}=7,5, & \lambda_{\text{тр}}=1,2. \end{array}$$

Допустимая потеря напряжения при пуске двигателя

$$\delta U_{\text{доп.д.}} = -(1 - 0,923)100 = -7,645 \%$$

$$r_{\text{д}} = 0,052 \text{ Ом},$$

$$x_{\text{д}} = 0,141 \text{ Ом}.$$

Пусковой коэффициент реактивной мощности

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{пуск}} = 1,764 \Rightarrow \cos \varphi_{\text{пуск}} = 0,493$$

Мощность асинхронного двигателя при пуске

$$P_{\text{д.пуск}} = (40,673 \cdot 0,852) / 0,792 = 43,803 \text{ кВт}.$$

Потери напряжения в трансформаторе при пуске асинхронного электродвигателя

$$\Delta U_{\text{трансф}} = (43,803 \cdot 12,901) / 389,182 = 1,452 \, \%.$$

Потери напряжения в линии 0,38 кВ при пуске двигателя

$$\Delta U_{\text{Л0,38пуск}} = ((43803,2 \cdot (0,052 + 0,25)) / (144400)) \cdot 100\% = 9,209 \, \%.$$

Отклонение напряжения на зажимах электродвигателя до пуска

$$\Delta U_{\text{д.д.пуск.}} = 2,366 \, \%.$$

Фактическое отклонение напряжения на зажимах асинхронного электродвигателя при пуске составит

$$\delta U_{\text{д.пус.ф.}} = -13,027 \, \%.$$

Пуск двигателя произойдет успешно, так как фактическое отклонение напряжения на зажимах асинхронного двигателя меньше допустимой потери напряжения.

С18 Выбор устройств от перенапряжений

Защита подстанций напряжением 10...35 кВ выбирается в зависимости от их мощности. Если мощность подстанции менее 630 кВА, на каждой ее системе шин устанавливается комплект вентильных разрядников, расположенных как можно ближе к трансформаторам и присоединенных к заземляющему контуру ТП кратчайшим путем. Кроме того, на расстоянии 150...200 м от подстанции на всех отходящих воздушных линиях монтируют комплекты трубчатых разрядников РТ-1 или заменяющих их защитных искровых промежутков ПЗ-1 (при токах короткого замыкания, меньших нижнего предела, гасящегося трубчатыми разрядниками). Сопротивление заземления этих разрядников РТ-1 или промежутков ПЗ-1 должно быть не более 10 Ом.

С19 Расчёт уставок релейной защиты

Релейной защитой называется устройство, реагирующее на возникновение аварий или на появление ненормальных режимов работы в сети. Защитное устройство представляет собой электрическую схему, состоящую из одного или нескольких реле -

специальных электрических или неэлектрических приборов, срабатывающих при возникновении аварийного или аномального режима. Релейная защита автоматически определяет аварийный участок и дает команду на отключение соответствующего выключателя и одновременно подает сигнал обслуживающему персоналу.

Согласно ПУЭ на отходящих линиях высокого напряжения устанавливают максимальную токовую защиту и токовую отсечку, т.е. защиту I и III ступеней.

Далее приводится расчет параметров элементов защиты, отходящих от ТП линий электроснабжения.

Линия Л-1.

Расчетный ток линии

$$I_p = 8,213 \text{ А.}$$

Ток срабатывания максимальной токовой защиты

$$I_{с.з}^{III} = 10,841/0.85 = 12,754 \text{ А.}$$

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.}^{III} = 12,754/80 = 0,159 \text{ А.}$$

Точка короткого замыкания К-4 (на рисунке С6).

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания на конечных потребителях

$$K_q = 711,3/12,754 = 55,769.$$

Токовая отсечка рассчитывается по максимальному значению тока короткого замыкания в конце защищаемой линии

$$I_{с.з}^I = 985,68/0,85 = 1159,623 \text{ А,}$$

$$I_{с.р.}^I = 1159,623/80 = 14,495 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности определяется через минимальный ток короткого замыкания в месте установки

защиты. Коэффициент чувствительности для токовой отсечки должен быть не менее 1,2.

$$K_u = 3500/1159,623 = 3,018 > 1,2 .$$

Для остальных линий расчет производится аналогичным образом.

С20 Выбор и проверка высоковольтной и низковольтной аппаратуры на подстанции

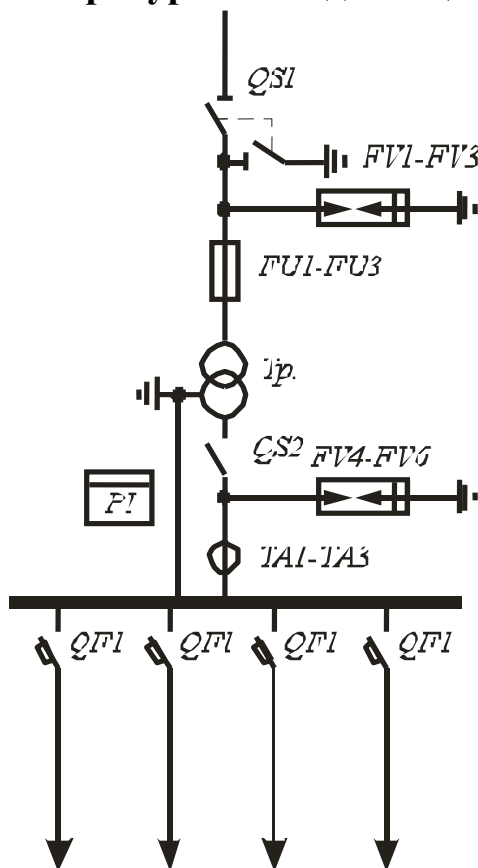


Рисунок С8 - Однолинейная принципиальная схема ТП

Разъединитель QS1 выбирается по тем же условиям, что и разъединитель питающей линии.

Для трансформаторной подстанции ТП-1 приводятся следующие данные разъединителя:

- тип РНД(3)-35/1000;
- номинальный ток 1000 А;
- номинальное напряжение 35 кВ;
- амплитуда сквозного тока 64 кА;
- ток термической стойкости 25 кА.

Для защиты трансформатора с высокой стороны устанавливаются предохранители FU1 - FU3. Ток плавкой вставки предохранителей выбирается по условию

$$I_{пл.вс} = 12,348 \text{ А.}$$

Принимается предохранители типа 16 с током плавкой вставки 16 А.

Шины 0,4 кВ подключаются к трансформатору через рубильник QS2 марки P2315 с номинальным током 600 А.

Трансформаторы тока ТА1-ТА3 серии ТК20 служат для питания счётчика активной энергии СА4-И672.

Выбор автоматических выключателей на отходящих линиях производится исходя из следующих условий:

$$1. I_{т.р.} \geq K_{с.з} \times I_{\max}, K_{с.з} = 1;$$

$$2. I_{пред} \geq i_{уд.\max};$$

$$3. \frac{I_{\kappa\min}^{(2)}}{I_{эм}} \geq 1,25;$$

$$4. \frac{I_{\kappa\min}^{(1)}}{I_{эм}} \geq 1,25.$$

Линия Л-4.

Максимальный ток - 70,037 А, ударный ток - 3,956 кА, двухфазный ток короткого замыкания - 2175,499 А, однофазный ток короткого замыкания - 1064,4 А. В качестве коммутирующего и защитного устройства выбирается автоматический выключатель серии АЕ2056 с током теплового расцепителя 80 А, током электромагнитного расцепителя 960 А и током динамической стойкости 15 кА.

Требования, предъявляемые к автоматическим выключателям

$$1. 80 \text{ А} > 70,037 \text{ А};$$

$$2. 15 \text{ кА} > 3,956 \text{ кА};$$

$$3. 2175,499/960 = 2,266;$$

$$4. 1064,4/960 = 1,108$$

Выбранный автоматический выключатель не удовлетворяет четвертому условию. Исходя из этого дополнительно устанавливается защитная приставка ЗТ-0,4 с током уставки от однофазного КЗ - 240 А. Определяется коэффициент чувствительности - 4,44.

Остальные расчеты производятся аналогичным образом.

С21 Расчёт контура заземления подстанций

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль трансформатора, должно быть не более 4 Ом при номинальном напряжении 380 В. Величина сопротивления обеспечивается с учётом заземлителей нулевого провода ВЛ-0,38 кВ для двух отходящих линий. При этом сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали трансформатора, т.е. на ТП и сопротивление повторного заземлителя не должны быть более 30 Ом. Сопротивление заземлителей нулевого рабочего провода каждой ВЛ-0,38 кВ должно быть не более 10 Ом.

Расчет контура заземления трансформаторной подстанции ТП-1

Сопротивление одного электрода из угловой стали, погруженного вертикально с вершиной на поверхности земли

$$R_c = 18,3 \cdot 6,7 = 122,616 \text{ Ом.}$$

Предварительное число стержней одиночного повторного заземления нулевого рабочего провода

$$n_{од} = 122,616 / 30 = 4,087.$$

Число стержней на ТП без учета взаимного экранирования

$$n_{т.п} = 31.$$

Результирующее сопротивление стержневых заземлителей на ТП

$$R'_c = 122,616 / 18,6 = 6,592 \text{ Ом.}$$

Сопротивление соединительной полосы

$$R'_n = 0,655 \cdot 4,902 = 3,215 \text{ Ом.}$$

Расчетное сопротивление заземляющего устройства одиночного повторного заземлителя на ВЛ-0,38 кВ

$$R_{od} = 394,292/125,832 = 3,133 \text{ Ом.}$$

Сопротивление заземлителей нулевого рабочего провода

$$R_{з.в.л} = 3,133/2 = 1,566 \text{ Ом.}$$

Сопротивление нейтрали трансформатора ТП

$$R_z = 2,454/3,916 = 0,626 \text{ Ом.}$$

Для остальных ТП расчет контуров заземления производится аналогичным образом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов С.Н. Проектирование систем электрификации: учебное пособие для выполнения курсового проекта. - Ставрополь: АГРУС, 2015. - 92 с.
2. Баутин В.М., Борисов Ю.С., Буклагин Д.С. и др. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства: Учебное пособие.- М.: Информагротех, 1999.- 536 с.
3. Гурницкий В.Н. Проектирование систем электрификации (часть I): справочное пособие. - Ставрополь: «ВАНГ», 2000.- 300 с.
4. Жилинский Ю.М., Кумин В.Д. Электрическое освещение и облучение. М.: Колос, 1982.- 272 с.
5. Каганов И.Л. Курсовое и дипломное проектирование.- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Агропромиздат, 1990.- 351 с.
6. Коваленко В.В., Ивашина А.В., Нагорный А.В. и др. Электроснабжение сельского хозяйства: методическое пособие.- 2-е изд., перераб. и доп.- Ставрополь, АГРУС, 2004.- 100 с.
7. Кононенко В.В. Мишкович В.И., Муханов В.В. др. Электротехника и электроника: Учебное пособие.- 2 - е изд., Ростов н/Д: Феникс, 2005.- 752 с.
8. Кудрявцев И.Ф., Калинин Л.А., Карасенко В.А. и др. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок.- М.: Агропромиздат, 1988.- 480 с.
9. Лещинская Т.Б., Наумов И.В. Электроснабжение сельского хозяйства: учебник.- М.: БИБКОВ, ТРАНСЛОГ, 2015.- 656 с.
10. Мартыненко И.И., Тищенко Л.П. Курсовое и дипломное проектирование по комплексной электрификации и автоматизации.- М.: Колос, 1978.- 223 с.
11. Москаленко В.В. Электрический привод.-3-е изд., стер. М.: ИЦ «Академия», 2005.- 368 с.
12. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: Учебное пособие. - 2-е изд., испр. и доп.- СПб.: Изд. «Лань», 2013.- 224 с.
13. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В. Методика подготовки выпускной квалификационной работы бакалавра: учебное пособие.- Ставрополь, АГРУС, 2015.- 92 с.
14. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / Под ред. Будзко.- 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Колос, 1982.- 319 с.
15. Свидетельство № 2015615783. Система автоматизированного проектирования электроснабжения сельскохозяйственных и промышленных объектов / Е.В. Коноплев, Г.В. Никитенко, П.В. Коноплев, А.В. Бобрышев, С.Н. Антонов (RU); правообладатель

- ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ. № 2015611316; заявл. 05.03.2015, опубл. 25.05.2015.
16. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983.- 616 с.
 17. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.- 2-е, изд.- М.: Колос, 1984. - 288 с.
 18. Харкута К.С., Яницкий С.В., Э.В. Ляш Практикум по электроснабжению сельского хозяйства.- М.: Агропромиздат, 1992.- 223 с.
 19. Юндин М.А., Королев А.М. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства: Учебное пособие.- 2.-е изд., испр. и доп.- СПб.: Издательство «Лань», 2011.- 320 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
<i>РАЗДЕЛ 1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОГОТОВКИ</i>	
<i>БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ.....</i>	<i>5</i>
1 МЕТОДИКА НАПИСАНИЯ ВЫПУСКНОЙ	
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА.....	5
1.1 Выбор темы бакалаврской работы	5
1.2 Тематика дипломного проектирования по профилю «Электрооборудование и электротехнологии для сельского хозяйства».....	8
1.3 Рекомендуемые темы выпускных бакалаврских работ по профилю «Электроснабжение».....	11
1.4 Организация сбора данных для выполнения бакалаврской работы.....	13
1.5 Структура выпускной бакалаврской работы.....	15
1.6 Примеры содержания бакалаврских работ.....	19
<i>РАЗДЕЛ 2 ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.....</i>	<i>24</i>
2 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	
ДЛЯ НАГРУЗОЧНЫХ МАШИН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ	
ПРЕДПРИЯТИЙ.....	24
2.1 Краткая производственно - хозяйственная характеристика проектируемого объекта.....	24
2.2 Выбор типа электрического привода.....	24
2.3 Выбор электрических двигателей.....	26
2.4 Выбор электродвигателей по характеру нагрузки.....	29
2.5 Приводные характеристики рабочих машин.....	40
2.6 Выбор аппаратуры коммутации, защиты и управления напряжением до 1 кВ для электропривода.....	42
3 МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЫБОРА	
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ	
ПРЕДПРИЯТИЙ И ОБЪЕКТОВ.....	61
3.1 Электропривод водоснабжающих установок.....	61
3.1.1 Общие вопросы водоснабжения.....	61
3.1.2 Водоподъемные устройства.....	62
3.1.3 Расчет мощности электродвигателя насоса.....	63
3.2 Электропривод вентиляционных установок	
3.2.1 Назначение вентиляционных установок.....	70
3.2.2 Технология поддержания микроклимата в животноводческих помещениях.....	71

3.2.3 Расчет мощности электродвигателя вентиляционных установок.....	73
3.2.4 Расчет отопления помещений для содержания животных и птицы.....	81
3.3 Электропривод сельскохозяйственных машин.....	85
3.3.1 Электропривод кормоприготовительных машин.....	85
3.3.2 Электропривод транспортеров для перемещения грузов.....	87
3.3.3 Электропривод навозоуборочных транспортеров.....	90
3.3.4 Электропривод доильных установок	95
3.3.5 Электропривод сепараторов молока.....	96
3.3.6 Электропривод машин для сушки зерна.....	97
3.3.7 Электропривод металлообрабатывающих станков.....	100
3.3.8 Электропривод деревообрабатывающих станков.....	102
3.3.9 Электропривод крановых механизмов.....	105
4 ЭЛЕКТРОНАГРЕВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	110
4.1 Электрический подогрев воды.....	110
4.2 Электрокалориферные установки.....	114
4.3 Расчет и выбор электрокалорифера.....	117
4.4 Электрообогреваемые полы.....	119
4.5 Методика расчета электрообогреваемых полов.....	123
5 ОСВЕЩЕНИЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	126
5.1 Системы освещения.....	126
5.2 Источники света.....	127
5.3 Светильники, рекомендуемые для применения в сельском хозяйстве.....	133
5.4 Светотехнический расчет методом коэффициента использования светового потока.....	136
6. УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ И ИНФРАКРАСНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	147
6.1 Ультрафиолетовое облучение в сельскохозяйственном производстве.....	147
6.2 Инфракрасное излучение в сельском хозяйстве.....	151
7 ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ.....	155
7.1 Расчет внутренних электрических сетей.....	155
7.2 Нагрузки сельских электрических сетей.....	160
8 СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	165

РАЗДЕЛ 3 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....170

9 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ.....170

9.1 Принципы построения схем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.....170

9.2 Электрические нагрузки на вводах потребителей.....171

9.3 Определение нагрузок в сетях 0,38 кВ.....173

9.4 Расчет нагрузок в сетях 10...35 кВ и на шинах ТП 10/0,4 кВ.....179

9.5 Выбор количества трансформаторов для сельскохозяйственных подстанций.....183

9.6 Выбор места для установки трансформаторной подстанции.....185

9.7 Типы комплектных трансформаторных подстанций для сельского хозяйства.....188

10 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.....193

10.1 Методы расчета токов короткого замыкания.....193

10.2 Расчет токов короткого замыкания методом относительных единиц.....194

10.3 Расчет токов короткого замыкания методом именованных величин.....201

11 ПОТЕРИ И ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....205

11.1 Общие сведения.....205

11.2 Потери напряжения в электрических сетях.....206

11.3 Расчет допустимых потерь напряжения.....208

12. РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДОВ.....211

12.1 Определение площади сечения проводов в высоковольтных линиях электропередачи.....211

12.2 Метод экономических интервалов для расчета площади сечения проводов воздушных линий 0,38 кВ.....215

13 ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....219

13.1 Потери мощности и электроэнергии в линиях электропередачи.....219

13.2 Потери мощности и энергии в трансформаторах.....223

14 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....226

15 РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ.....232

16 СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ 2.2».....239

ПРИЛОЖЕНИЕ А	241
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	252
ПРИЛОЖЕНИЕ С	
Литература	272