

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ТАШКЕНТСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО  
ХОЗЯЙСТВА»**



**кафедра «ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ»**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ**

***Электронное учебное пособие***

**Для студентов направления бакалавриатуры  
5430501-« Энергообеспечение сельского и водного хозяйства»**

**Ташкент-2023**

Электронное учебное пособие обсуждена и утверждена на заседании Методического совета Национальный исследовательский университета “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства” г.Ташкента №2 «26» октября 2023 года.

Электронное учебное пособие включают основные теоретические положения по проектированию комплексной электрификации сельского хозяйства. Рассмотрены принципы проектирования, особенности проектирования электротехнической части и вопросы проектирования электрификации различных сельскохозяйственных объектах.

**Автор:** **М. Ибрагимов** – доцент кафедры «Электротехнологии и эксплуатация электрооборудования», к.т.н.

**Рецензенты:** **У. Холикназаров** – доцент кафедры «Механизация сельского хозяйства» ТашГАУ, PhD

**А. Денмухаммадиев** – доцент кафедры, «Электротехника и мехатроника» ТИИИМСХ НИУ, к.т.н.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Организация проектирования комплексной электрификации сельскохозяйственных предприятий.	8
Электротехническая часть проекта	15
Проектирование внутренних электрических сетей	21
Выбор пускозащитных аппаратов	32
Подсчет электрических нагрузок и выбор трансформатора.	41
Компенсация реактивной мощности проектах	47
Методика проектирования системной электрификации хозяйства-макета	61
Использование возобновляемых источники энергии в проектах	67
Экономия электроэнергии в электроприводах	83
ПКЭ в процессах хранения и переработки	89
ПКЭ в животноводстве и птицеводстве	104
Список использованной литературы	118

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие агропромышленного комплекса невозможно без соответственного технического и приборного оснащения, разработанного и произведенного с учетом передовых достижений научно-технического прогресса.

Обоснованный выбор машин для комплектования технологических линий при проектировании и последующая грамотная эксплуатация, являются важными факторами надежного и бесперебойного снабжения населения продовольствием, а перерабатывающей промышленности – сырьем.

Эти положения учтены при разработке в настоящем учебном пособии

«Проектирование комплексной электрификации», в которой используется системный подход к повышению производительности труда, энерго-, электросбережению, эффективному использованию электрической энергии, грамотной эксплуатации электрооборудования, в первую очередь электродвигателей, выбору новейших методов электротехнологии, интенсификации производственных процессов на основе их электрификации и автоматизации.

Учебное пособие нацелено на развитие творческого мышления и самостоятельности при выборе новейших методов и средств технологий у инженеров-электриков сельскохозяйственного производства и призвано способствовать успешной реализации новых методов интенсификации производства и повышению производительности труда.

При комплексной электрификации необходимо обеспечить гармоничное сочетание прогрессивных технологий, системы электрифицированных машин, рациональной организации труда, позволяющее осуществить высокоэффективное производство сельскохозяйственной продукции. При этом предполагается использовать электротехнические средства не только для обеспечения рабочих операций, но и для улучшения условий труда.

Организация производства называется *поточной*, если все рабочие операции по производству конечного продукта выполняются системой машин без применения ручного труда. Такая организация создает условия для автоматизации как отдельных операций, так и всей технологии в целом.

Следует различать понятия «объекты электрификации» и «средства электрификации»

*Объекты электрификации* – это поточные линии, сельскохозяйственного предприятия, оросительные системы, коммунально-бытовые, торговые и обслуживающие предприятия, населенные пункты и территориальные районы, где имеются рабочие операции, технологические процессы.

*Средства электрификации* – устройства, оборудование, приборы и аппараты, предназначенные для снабжения, преобразования или использования электрической

энергии при выполнении рабочих операций. Чем крупнее объект, тем больший набор средств потребуется для решения задачи комплексной электрификации.

На эффективность применения электротехнических средств оказывают влияние специфические условия сельскохозяйственного производства, которые необходимо учитывать при разработке проектов электрификации.

Так, проектирование системы электрификации без учета ряда требований, например, бесперебойности электроснабжения ряда сельхозобъектов, точности поддержания параметров микроклимата при автоматическом управлении и др., может привести к снижению выхода продукции.

Сельскохозяйственное производство характеризуется целым набором факторов окружающей среды, в котором работают машины и средства электрификации. В частности, резкие колебания температуры, повышенная влажность воздуха, содержание агрессивных и взвешенных в воздухе примесей, отрицательно влияют на электрооборудование. Таким образом, при проектировании необходимо выбирать оборудование, исполнение которого соответствует условиям окружающей среды. Нарушение этого требования влечет значительный ущерб из-за сокращения сроков службы технических средств и недопроизводства.

Распределенность нагрузки по хозяйству или району вызывает необходимость строительства протяженных сетей и увеличения числа трансформаторных подстанций, что снижает эффективность использования. Поэтому при разработке проектов любого объекта сельского хозяйства необходимо стремиться к концентрации электрических нагрузок.

Сезонность работ в сельхозпроизводстве резко уменьшает коэффициент использования оборудования и снижает эффективность электрификации. Так, число часов использования электродвигателей на ряде объектов не превышает 1000 за год, а на зерноочистительных пунктах составляет не более 100...250 час/год.

Таким образом, учитывая сезонность работ при выборе технических средств электромеханизации производственных процессов, следует рассматривать варианты, нацеленные на повышение коэффициента использования оборудования. Например, сочетание зерноочистительного пункта с комбикормовым заводом или кормоцехом позволяет использовать транспортные механизмы в течение всего года.

При проектировании следует учитывать особенности сельскохозяйственных машин, обладающих значительными моментами инерции и диапазонами частот вращения, влияющими на их производительность и построение схем автоматического управления

Так как характерной особенностью многих объектов сельской электрификации является соизмеримая мощность источника электроснабжения и отдельных токоприемников, то для наиболее мощных и часто включаемых электродвигателей необходимо предусмотреть средства облегчения их запуска.

В настоящее время создание техники для сельского хозяйства осуществляется на основе постоянно совершенствуемой системы машин, которая является технической основой комплексной механизации и электрификации сельскохозяйственного производства.

Постоянное совершенствование технических средств и технологий отрасли – необходимое условие непрерывного увеличения производительности труда. Развитие материально-технической базы позволяет перейти от применения отдельных машин к комплексным поточным линиям с автоматизированным управлением и существенно снизить затраты труда на производство единицы продукции.

Развитие системы машин для молочного животноводства идет по пути создания типоразмерных рядов поточных линий для доения, переработки кормов, их хранения и раздачи, уборки и переработки навоза, обеспечения оптимального микроклимата, максимальной унификации всех животноводческих ферм и комплексов, дальнейшей автоматизации процесса доения с учетом эффективного построения системы «человек–машина–животное».

В животноводстве система машин развивается по пути ускоренного создания и применения автоматизированных поточных линий, которые определяют внедрение все более совершенных технологий содержания животных.

Во всех отраслях животноводства важной задачей является изыскание оптимальных способов автоматизации управления технологическими процессами, создание ферм-автоматов для откорма свиней и молодняка крупного рогатого скота, выращивания бройлеров и производства яиц.

Повышение производительности труда в значительной степени зависит от уровня автоматизации процессов и отдельных установок, как стационарных, так и мобильных. Для них предложены технические решения, которые позволяют работать независимо от человеческого внимания. В частности, это дает возможность раздвинуть границы скоростей на полевых работах. Установка на агрегаты автоматов позволяет увеличить мощность машин и точность их действия. Быстродействие и точность работы мощных и скоростных машин обеспечиваются при программном управлении. Массовое применение автоматов создает предпосылки к дальнейшему совершенствованию техники и технологии. При этом сокращается разрыв между потребностью в рабочей силе и ее использованием, открываются новые перспективы по улучшению качества выполнения операций и получаемой продукции.

Таким образом, автоматизация как одна из форм технического прогресса в значительной мере определяет техническое развитие средств механизации и в стационарных, и в мобильных процессах. Это повышает требования и расширяет круг обязанностей инженера-электрика.

Промышленность выпускает системы автоматизированного управления (САУ) зерноочистительными агрегатами и зерноочистительно-сушильными пунктами, а также

целый набор элементов для комплектации систем автоматизации других стационарных установок.

На уборочных комбайнах успешно применяются автоматические устройства для направления движения рабочих органов вдоль рядков. Внедряются в производство системы контроля и сигнализации вращения валов высевающих аппаратов, заглабления сошников и дистанционной связи между сеяльщиком и трактористом. Совершенствуются фотоэлектронные системы автоматического контроля работы посевных агрегатов, позволяющие повысить производительность труда при выполнении операции более чем в два раза. Ведутся опытно-конструкторские работы по созданию систем автоматического вождения сельскохозяйственных тракторных агрегатов.

В конструкцию наиболее сложных сельскохозяйственных машин вводятся электронные блоки для автоматического регулирования рабочего процесса, обеспечивающие максимальную производительность в различных условиях при эксплуатации. Развиваются поточные методы проведения работ на уборке зерновых, сахарной свёклы, на заготовке кормов, способствующие интенсификации производства в целом.

Автоматизация процессов предполагает разработку и освоение производства автоматических устройств для обеспечения индивидуального нормирования выдачи кормов, диспетчерского управления производственными процессами на комплексах, определения привесов животных на откорме, контроля качества процессов послеуборочной обработки зерна или выполнения механизированных работ в полеводстве, управления машинотракторными агрегатами при индивидуальном и групповом вождении.

В настоящее время созданы и используются стандартизованные модули для автоматизации отдельных операций и процессов или управления целыми объектами в полеводстве и животноводстве, составляющие основу для единой автоматизированной системы управления сельским хозяйством.

Разработаны единые научно-методические основы для автоматизированных систем управления (АСУ), действующих в сельском хозяйстве и в других звеньях АПК.

Дальнейшее развитие материально-технической базы сельского хозяйства невозможно без надежной, развивающейся опережающими темпами, электроэнергетической базы.

# **1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.**

## **1.1. Общие требования к проекту электрификации сельскохозяйственного объекта**

Проект современного сельскохозяйственного объекта представляет собой документ, который содержит архитектурные, инженерные, социально-экономические решения и соответствует ряду общих требований [2-7].

Прогрессивная технология, базирующаяся на современной системе машин и механизмов. При проработке проектных решений необходимо стремиться к увеличению коэффициентов загрузки и сменности этих машин, рациональному их размещению, повышению уровня механизации и автоматизации рабочих операций.

Рациональное использование сырья, материалов, энергии. При этом необходимо определить наличие местных источников энергетического сырья, которые не представляют промышленной ценности, но могут эффективно использоваться в конкретных условиях. В ряде случаев целесообразно проработать варианты по использованию возобновляемых источников энергии.

Привязка к существующим коммуникациям: водо- и энергоснабжения, канализации, очистным сооружениям, транспортным магистралям и др.

Рациональное использование земли, ее рекультивация, охрана окружающей среды. Согласно существующему законодательству, под вновь проектируемые объекты должна отводиться малопродуктивная земля.

Система организации и управления производством. На сложных объектах следует предусматривать автоматизированные системы управления производством (АСУП) с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК) и ЭВМ. Подобные системы целесообразно применять на крупных животноводческих комплексах.

Широкое использование типовых и повторно применяемых решений. Это не только сокращает сроки проектирования, но и повышает надежность объекта, для которого решения проверены уже в хозяйственных условиях.

Перспектива развития объекта на 7...10 лет, с учетом времени, затраченного на проектирование, строительства и освоение объекта.

Экономичность принятых решений достигается путем проработки различных вариантов основных идей.

Решение вопросов жилищного строительства, культурно-бытового обслуживания населения. Проектирование таких объектов обычно проводится при комплексном развитии хозяйства или создании нового комплекса по производству сельскохозяйственной продукции.

Высокий уровень организации строительства, выполнение сроков освоения капитальных вложений и мощностей. Электротехническая часть проекта должна отвечать требованиям правил устройства электроустановок (ПУЭ), правил техники безопасности и технической эксплуатации, а также предусматривать высокий уровень



электромонтажных работ, который оценивается коэффициентом индустриализации:

$$K = \frac{A + B}{B + B} \geq 0,45, \quad (1.1)$$

где  $A$  – стоимость электроконструкций заводского исполнения (щиты, пульта и др.);  $B$  – стоимость электрооборудования, подлежащего монтажу;  $B$  – стоимость электромонтажных работ.

Проектирование осуществляют на основе проектного задания, в котором учитываются технические возможности, экономическая целесообразность и хозяйственная необходимость строительства в данном месте и в намеченные сроки.

## 1.2. Состав рабочего проекта

Рабочий проект включает в себя следующие разделы и рабочие чертежи.

**1. Пояснительная записка** содержит краткую характеристику важнейших технических решений, сведения об использованных изобретениях, а также основные ссылки на соответствующие нормы и правила; в ней указаны сроки и очередность строительства. Здесь же приводятся основные мероприятия по охране окружающей среды: очистке сточных вод, атмосферы, восстановлению земель.

**2. Техничко-экономический раздел** включает материал по экономическому обоснованию проектируемого объекта, анализу капитальных вложений; приводятся данные о технологии и ее соответствии мировым стандартам; основные показатели, характеризующие объект (занимаемая площадь, уровень механизации и автоматизации, производительность труда).

**3. Генеральный план, транспорт и рекультивация земель** включают описательную часть и чертежи по соответствующим разделам.

*Генеральный план.* В этом разделе приводят основную характеристику архитектурно-планировочных решений, размеры площадок строительства, ориентацию их на местности по направлению господствующих ветров. В разделе дают перечень основных мероприятий по гражданской обороне, как правило, со ссылкой на соответствующий проект. В состав раздела входят чертежи: генплан, ситуационный план с коммуникациями, план объекта и сводный план инженерных сетей.

*Транспорт.* В разделе приводят характеристику грузопотоков, объем перевозок и радиус (плечо) перевозок, а также характеристику транспортных средств. Для крупных объектов составляют схему грузопотока и схему перевозки обслуживающего персонала. Для отдельных объектов приводят лишь ссылку на генплан и транспортные коммуникации, отраженные в нем.

*Рекультивация земель.* Здесь обосновывают рациональное использование земли и уточняют объемы работ по снятию и использованию плодородного слоя, мелиорации или другим мероприятиям по восстановлению земель и компенсации продуктивной

площади, занимаемой проектируемым объектом. К разделу прилагают чертежи земельных участков (застраиваемого и вновь вводимых).

**4. Технология производства, обеспечение энергоресурсами и защита окружающей среды.** *Технологии производства.* Приводят характеристику производства продукции, схему (технологию) производства, характеристику и обоснование технологических и технических решений, режим работы предприятия, условия окружающей среды, данные об исходном и конечном продукте. Здесь же обосновывают выбор основного технологического и вспомогательного оборудования, приводят требования к освещенности, шуму, вибрации, а также к очисткесточных вод и выбросам в атмосферу, расчет численности обслуживающего персонала и распределение его по сменам (бригадам), состав рабочих групп. К разделу прикладывают чертежи: технологическую схему, планы с размещением и компоновкой оборудования, схемы трубопроводов.

*Автоматизация технологических процессов.* Приводят перечень операций и процессов, подлежащих автоматизации, дают обоснование принятых решений по контролю, регулированию сигнализации и автоматизации технологических процессов, требования к приборам, регуляторам по точности и законурегулирования.

При двухстадийном проектировании могут быть сформулированы требования к приборам, датчикам, оборудованию, которые не производятся промышленностью, но необходимы для решения задач данного производства, то есть задания заводам изготовителям на разработку технических средств.

К описанию прикладывают необходимые для монтажа и эксплуатации чертежи, схемы автоматического управления, контроля, регулирования (структурные, функциональные, принципиальные и др.).

*Электроснабжение и электрооборудование.* Здесь приводят перечень машин и механизмов и их характеристики по потреблению электрической энергии. На основании расчетов определяют нагрузки на вводе потребителей и выбирают мощность источников электроснабжения. При этом определяют число, месторасположение и мощность каждой трансформаторной подстанции, протяженность, сечение проводов, жил воздушных и кабельных линий, способ монтажа и прокладки. В зависимости от категории потребителей разрабатывают мероприятия по повышению надежности электроснабжения.

В этом же разделе приводят обоснования по выбору источников освещения, типов светильников, выбору пускозащитной аппаратуры, щитов, пультов, а также характеристики внутренних проводок и способы их прокладки. В ряде случаев приводят расчет и обоснование типа электропривода, если машина или механизм поставляется некомплектно, или решают вопрос о переводе каких-либо механизмов на электропривод. Одновременно могут быть решены задачи по обоснованию электротехнологии. В соответствии с ПТБ и ПТЭ приводят рекомендации по

устройству молниезащиты и эксплуатации электроустановок.

К разделу прикладывают заказные спецификации на оборудование и материалы, а также чертежи: планы и разрезы с размещением технологического, электротехнического оборудования, щитов и пультов, с трассами проводок, схемами управления и защиты токоприемников, расчетно-монтажные таблицы.

*Энергетические установки.* В разделе приводят обоснования и расчеты по обеспечению проектируемого объекта сжатым воздухом, кислородом, газом, разрабатывают чертежи для прокладки магистралей и составляют заказные спецификации.

*Тепловые сети.* Раздел содержит расчеты необходимого количества теплоты, решения по выбору источника теплоснабжения и сооружению тепловых сетей, их изоляции, защиты от коррозии и т. д. Здесь намечают трассы наружных и внутренних сетей и составляют заказные спецификации.

*Охрана водоемов, почвы и атмосферы.* С учетом санитарных норм и сведений гидрометеослужбы проводят расчеты количества выбросов, по которым выбирают типы и размеры очистных сооружений. Разрабатывают чертежи защитных сооружений или используют типовые проекты для выбранного объекта.

**5. Организация труда и системы управления предприятием.** *Рекомендации по организации труда, технике безопасности,* в том числе и электробезопасности, приводят в соответствии с технологией и режимом работы.

*Система управления.* В разделе приводят общие сведения по структуре управления, расчет необходимых средств для обеспечения системы, расчет численности и состава аппарата управления. Составляют заказные спецификации и чертежи: общие схемы управления, схемы информационных потоков и схемы размещения и расположения системы управления и управляющих сетей.

*Связь и сигнализация.* В пояснительной записке приводят обоснования принимаемых решений по организации связи и сигнализации, составляют заказные спецификации.

**6. Строительная часть.** *Архитектурно-строительная часть.* В этом разделе приводят обоснование архитектурно-планировочных решений и разрабатывают строительные чертежи.

*Отопление и вентиляция.* В разделе решают вопросы по созданию микроклимата, например, оптимальных температурно-влажностных режимов для обслуживающего персонала, содержания животных, выращивания растений и т. п. В соответствии с нормами, указанными в СНиП (строительные нормы и правила), проводят обоснования и расчеты по отоплению и вентиляции, определяют количество потребной теплоты, выбирают необходимое оборудование. Разрабатывают чертежи для прокладки наружных и внутренних отопительных и вентиляционных сетей, составляют заказные спецификации.

*Водоснабжение и канализация.* Приводят обоснования и расчеты по определению потребностей предприятия в водопотреблении и по отводу отходов, выбирают оборудование, рассчитывают коммуникационные сети. К разделу составляют заказные спецификации и необходимые чертежи.

**7. Организация строительства.** В разделе определяют объемы строительных и монтажных работ, очередность их проведения, обосновывают временные коммуникации и площадки для хранения материалов и оборудования, составляют графики проведения работ и строительно-организационный план.

**8. Организация подготовки и освоения проектных мощностей.** Раздел содержит рекомендации по очередности ввода объектов или их частей и по их освоению.

**9. Сметно-финансовый расчет.** На основании объемов работ, определенных в предыдущих разделах проекта, и ценников составляют сметы и сводки затрат. При этом составляют как общую смету на строительство, так сметы по объектам и видам работ. Сметы – это документы, по которым финансируется строительство.

**10. Жилищное и гражданское строительство.** Этот раздел включает обоснование необходимости, объемов и сроков строительства, а также определяет выбор типовых проектов, по которым должно осуществляться данное строительство.

**11. Паспорт рабочего проекта составляется по установленной форме.**

### **1.3. Исходные материалы для проектирования**

Разработку проекта ведут на основании задания на проектирование, которое составляет заказчик – руководитель хозяйства, района, области или министерства. Исходными материалами для разработки проекта служат директивные и нормативные материалы, результаты обследования объекта проектирования, типовые проекты и решения.

В качестве нормативных материалов при проектировании комплексной электрификации следует принимать: строительные нормы и правила, строительные нормы, нормы технологического проектирования, правила устройства электроустановок, правила техники безопасности и технической эксплуатации электроустановок, руководящие материалы, издаваемые ведущими проектными организациями, технические условия.

Важным этапом разработки проектов является технико-экономическое обоснование (ТЭО), в котором подтверждается техническая возможность и экономическая целесообразность проектирования и строительства (реконструкции) данного объекта хозяйства в указанные сроки.

При обследовании хозяйства необходимо детально ознакомиться с основными направлениями деятельности, достигнутыми показателями, выяснить состояние

существующих зданий и сооружений, их габаритные размеры, состав машинно-тракторного парка, состав средств электромеханизации в животноводстве и их техническое состояние, перспективы развития на 5...7 лет. При этом нужно собрать следующие материалы:

- планы расположения животноводческих ферм, схемы коммуникаций (транспорт, водоснабжение, канализация, электроснабжение и др.);
- природно-климатические характеристики района;
- данные о поголовье скота, способе содержания и кормления, наличии кормовой базы, технологии первичной обработки продукции животноводства;
- данные о численности рабочего персонала, в том числе, в животноводстве.

Поиск оптимальных вариантов принимаемых решений базируется на экономическом сравнении близких по техническим возможностям предложений. Для оценки эффективности варианта существует целый ряд показателей: удельные и суммарные капитальные вложения, производительность труда, себестоимость продукции, наименьшие эксплуатационные затраты и т.п.

Согласно существующей методике выбора технических средств и оценки новых машин, за оптимальный вариант принимается тот, у которого приведённые затраты наименьшие. При этом оказывается, что уровень электромеханизации процессов (по удельным капитальным вложениям) меньше, чем при поиске оптимума по трудовым затратам или себестоимости. Из этого следует, что оптимальным вариантом комплексной электрификации следует считать тот, у которого

$$P_3 = E_n \cdot K + \mathcal{E} \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

где  $P_3$  – приведённые затраты;  $E_n$  – коэффициент нормативной окупаемости капитальных вложений;  $K$  – суммарные капитальные затраты;  $\mathcal{E}$  – годовые эксплуатационные затраты.

Для выбора оптимального решения необходимо провести технико-экономическое сравнение не менее трех вариантов, равнозначных по своим техническим возможностям.

#### **1.4. Типовые проекты. Порядок согласования и утверждения проектов**

Одним из обязательных условий проектирования является требование по использованию типовых решений или проектов. Типовым называется проект, который многократно использовался при строительстве, выдержал экспертизу и утвержден в качестве типового.

Сущность проектирования на основе типовых решений (проектов) заключается в привязке данного проекта к конкретным условиям. В понятие «привязки» входят: архитектурно-строительные решения в соответствии с природно-климатическими условиями, увязка проекта с транспортными магистралями, с системой

электроснабжения, водоснабжения, канализации, мерами по защите окружающей среды, гражданской обороне и т. п.

Использование типовых решений в значительной мере удешевляет стадию проектирования, сокращает сроки монтажа и наладки и повышает эффективность производства.

Проектные организации по просьбе руководителя на основании вариантной проработки предлагают оптимальный для данных условий вариант. Далее идут согласования со всеми организациями, чьи интересы затрагивает данное строительство, с местными органами самоуправления, финансирующими организациями и т. п.

Следует различать обязательные службы, согласование с которыми не зависит от рода проекта, и вспомогательные, согласование с которыми проводится только в том случае, если вновь строящийся объект как-то затрагивает их интересы.

К обязательным службам относятся пожарная инспекция, санэпидемстанция, инспекция водоохраны, районные органы, контролирующие использование земли.

## **2. Электротехническая часть проекта**

### **2.1. Структура электротехнической части проекта**

Комплексное применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве связано с использованием многочисленных технических средств, выбор которых определяется перечнем электрифицируемых технологических процессов и уровнем их автоматизации.

Проектирование систем электрификации базируется на технико-экономическом сравнении различных вариантов. Проектировщикам приходится рассматривать возможность применения тех или иных технических средств при электрификации технологических процессов, не выделяя их в самостоятельные группы. Однако методически целесообразно представлять электротехническую часть проектов как совокупность самостоятельных разделов по обособлению и выбору технических средств, объединенных общностью технологического назначения.

В соответствии с этим электротехническая часть проекта обычно представлена характерными разделами: электромеханизация (электропривод), электронагрев и электротехнологии, электроосвещение, аппаратура защиты, электроснабжение, автоматическое управление, включая автоматизированные системы управления производством (АСУТП), молниезащита и заземление. Число разделов может изменяться в зависимости от объекта проектирования.

Согласованный проект подлежит утверждению. При этом следует иметь в виду, что чем выше стоимость проекта, тем более высокая инстанция его утверждает. Проекты, выполненные на основе типовых, требуют утверждения в инстанции на порядок ниже, чем индивидуальные.

Индивидуальное проектирование может содержать элементы научного поиска и отработки технологических, энергетических или социально-организационных решений.

Общая схема развития комплексной электрификации может быть представлена следующим образом:

директивные указания – творческий поиск их реализации (проработка технико-экономического обоснования);

разработка проекта (утверждение и согласование его), строительство объекта (освоение объекта), достижение заданных показателей.

### **2.2. Состав и объем электротехнической части проекта.**

#### **Маркировка оборудования и условные обозначения.**

В качестве исходных данных к разработке электротехнической части используют строительные и технологические решения, полученные предварительно или установленные заданием на проектирование, данные по возможным присоединениям к

сетям электроснабжения, разрешения на присоединения трансформаторной и т.д. Только после решения этих вопросов, а также разработок объемно-планировочного решения необходимо приступать к электрической части.

В состав электрической части проекта входят:

- 1) выбор и обоснование силового электрооборудования для электропривода рабочих машин, агрегатов и поточных линий;
- 2) выбор и обоснование электрооборудования для тепловых процессов, облучения животных и птицы;
- 3) выбор средств и автоматизации производственных процессов;
- 4) выбор и обоснование систем искусственного освещения;
- 5) разработка вопросов внутрипроизводственного электроснабжения, а также мероприятий по молнии защите и защите людей и животных от поражения электрическим током.

В качестве графического материала электротехническая часть представляется чертежами, включающим: схему электроснабжения предприятия, которая нанесена на генплан сооружения; схему внутрихозяйственных электрических сетей напряжение до 1000В; схемы автоматики и защиты, освещения производственных помещений и др.

#### **Маркировка цепей.**

Маркировка участков цепей служит для их обозначения и может также отражать их функциональное назначение в электрической схеме. Согласно ГОСТ 2.709 – 72 все участки электрических цепей, разделенные контактами аппаратов, обмотками реле, приборов, машин, резисторами и другими элементами, должны иметь разную маркировку. При необходимости допускаются участкам цепей, проходящим через разъёмные контактные соединения присваивать разную маркировку.

Для возможности различия участков цепей относящихся, например, к разным агрегатам, допускается к маркировке цепей добавлять последовательные числа и другие принятые для агрегатов обозначения, отделяя их дефисом. Например, на рис.1. Перед всей маркировкой цепей управления стоит цифра 75, указывающая на принадлежность этих цепей к электрическому двигателю М75.

Для маркировки участков цепей принципиальных электрических схем применяют арабские цифры и прописные буквы латинского алфавита, одинаковым размером шрифта. Последовательность маркировки должна быть от ввода источника к потребителю, а разветвляющиеся участки цепи маркируют сверху вниз в направлении слева на право.

Необходимо придерживаться правила:

- 1) Силовые цепи переменного тока – маркировать буквами, обозначающими фазы и последовательными числами.

Фазы переменного тока маркируют:

А, В, С – цепи 3-х фазного тока;



А, В; В,С; С,А – цепи 2-х фазного тока.

2) силовые цепи постоянного тока маркируют:

- нечетными числами – участки цепей положительной полярности;
- четными числами – участки цепей отрицательной полярности.

Входные и выходные участки маркируют с указанием полярности «+» и «-»

3) Цепи управления, защиты, сигнализации, измерения – маркируют последовательными числами.

На принципиальных электрических схемах маркировка, как правило, проставляется:

- при горизонтальном расположении цепей – над участком проводника;
- при вертикальном – справа.

Чтение схем и эксплуатация электрических установок значительно упрощается, если при разработке схем производить маркировку цепей по функциональному признаку в зависимости от их назначения

Рекомендуемая группа чисел

Наименование цепей	Группа чисел	
	основная	резервная
Цепи управления, регулирования, измерения	1...399	1000...1399, 2001...2399 и т.д.
Цепи сигнализации	400...799	1400...1799, 2400...2799 и т.д.
Цепи питания	800...999	1800...1999, 2800...2999 и т.д.

### 2.3. Виды электрических схем и правила их выполнения.

В проектах автоматизации технологических процессов наиболее распространены следующие типы схем в зависимости от основного назначения:

структурные;

функциональные;

принципиальные;

схемы соединений (монтажные);

схемы подключений (схемы внешних соединений).

В зависимости от видов элементов и связей, применяемых в схемах, принципиальные схемы подразделяются на: электрические, пневматические, гидравлические, комбинированные.

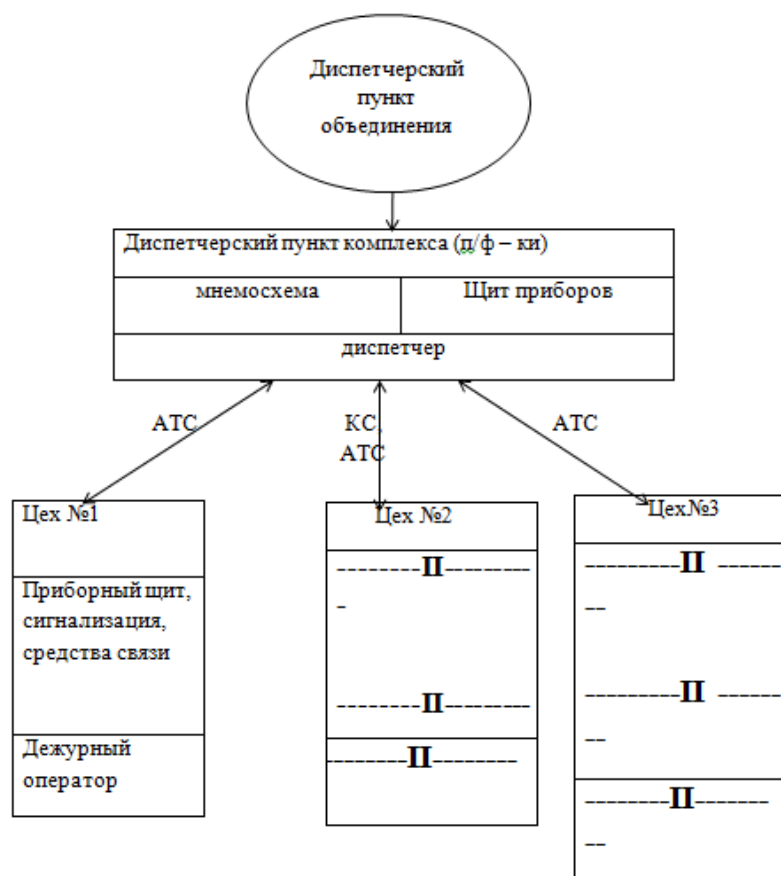
1. Структурные схемы управления определяют основные функциональные части системы управления, их назначения и взаимосвязь, в том числе системы контроля и управления технологическими процессами данного объекта и устанавливают взаимные связи между щитами автоматизации и пунктами управления, а также показывают технологическую сущность автоматического управления объектом.

Структурные схемы в виде прямоугольников и окружностей изображают основные подразделения автоматизируемого объекта (цехи, участки, агрегаты, поточные машины и т.п.) с указанием их наименования, местные щиты и пульты управления и контроля, центральные диспетчерские пункты управления и контроля, вычислительные комплексы и линии связи между отдельными элементами системы управления с указанием (стрелкой) направления передачи информации или воздействия.

Здесь применяют обозначения:

К – контроль; С – сигнализация; ДУ – дистанционное управление; ДС – диспетчерская связь; АТС – автоматическая телефонная связь; ТУ, ТИ, ТС – соответственно телеуправление, измерение, сигнализация и т.п.

Структурные схемы разрабатывают на стадии «Технический проект» при двухстадийном проектировании и являются основой для проектирования систем и схем автоматизации данного объекта. Для простых объектов структурную схему не разрабатывают, но в пояснительной записке необходимо дать соответствующее пояснение структуры управления.



## **Рис.1. Структурная схема управления на животноводческом комплексе**

2.Функциональные схемы автоматизации являются техническим документом, разъясняющим определенные процессы, протекающие в системе, определяющим структуру и уровень автоматизации ТП (технологических процессов) (оснащение приборами и средствами автоматизации, организации пунктов контроля, защиты и управления, оснащение средствами сбора, обработки и передачи информации и т.д.).

На функциональной схеме могут быть изображены автоматическая схема в целом, управляющие устройства системы или отдельные функциональные блоки.

Функциональные схемы автоматизации связаны непосредственно с технологией производства и технологическим оборудованием и, как правило, показываются на схеме размещения технологического оборудования (технологической схеме).

Технологическое оборудование на функциональных схемах должно соответствовать своей действительной конфигурации, но упрощенно, без масштаба. На функциональных схемах также изображают трубопроводы (вода, пар, воздух, азот и т.д.).

Согласно ОСТ 36 – 27 – 77 применяют три группы обозначений:

- окружностью обозначают первичные измерительные преобразователи (датчики) и приборы;

- квадратом – исполнительные механизмы;

- в виде двух треугольников, сложенных вершинами – регулирующие органы.

При построении на функциональной схеме обозначение приборов и устройств в верхнюю часть условного графического изображения (круга или квадрата) вписывают обозначения регулируемой или контролируемой величины, в нижнюю часть – обозначение функционального признака.

Некоторые буквенные обозначения измеряемых и регулируемых величин:

Температура –  $t$ ;

Давление, вакуум, разряжение –  $P$ ;

Расход и количество –  $G$ ;

Уровень –  $H$ ;

Влажность –  $m$ ;

Положение –  $S$ ;

Количество тепла –  $Q$ ;

Линейная скорость –  $V$ .

Буквенные обозначения функциональных признаков измерительных, регулирующих и преобразующих приборов:

Показывающий –  $П$ ;

Самопишущий –  $С$ ;

Сигнализирующий –  $Сг$ ;

Измеряющий –  $Им$ .

### **Фрагменты функциональных схем автоматического регулирования.**

а) регулирование расхода; б) регулирование давления.

1 – прибор (регулирующий); 2 – пневматическая передача сигнала; 3 – поршневой исполнительный механизм; 4 – шиббер регулирующей; 5 – заслонка регулирующая; 6 – гидравлическая передача.

3. Принципиальные электрические схемы автоматизации (маркировка) – является проектным документом, определяющим полный состав электрических элементов и связей между ними, а также дающим детальное представление о принципах работы схемы. Эти схемы являются основанием для разработки других чертежей и документов проекта, а также при наладке и эксплуатации автоматических систем.

Эти схемы разрабатывают в соответствии с техническим заданием и на основании принятых и запроектированных схемах решениях.

Буквенно-цифровая маркировка в принципиальных электрических схемах Госты и на обозначения и надписи были приведены в предыдущих лекциях.

### **3. Проектирование внутренних электрических сетей**

#### **3.1. Характеристика и выбор проводов и кабелей.**

##### **Виды и конструктивные особенности электропроводок.**

Электропроводки разделяются на открытые, прикладываемые по поверхности стен, потолков, ферм и других конструкций, и скрытые выполняемые в конструктивных элементах (в стенах, полах, перекрытиях) зданий и сооружений, под слоем штукатурки.

При открытой проводке провода подвергаются непосредственному воздействию окружающей среды и, как правило, не имеют дополнительной защиты, кроме той, которая предусмотрена конструкцией провода.

Скрытые проводки меньше подвержены воздействию окружающей среды и механическим повреждениям.

Открытую проводку можно выполнять незащищёнными изолированными и голыми проводами, защищёнными изолированными, проводами в изоляционных трубках с тонкой металлической оболочкой, кабелем, изолированными проводами в стальных трубках и т.д.

Скрытую проводку прикладывают специальными изолированными проводами непосредственно под штукатуркой, а также изолированными проводами в изоляционных трубках в основном в полу или по чердачному перекрытию.

Электропроводка должна соответствовать условиям окружающей среды, условиям техники безопасности и пожарной безопасности. Она может прикладываться по несгораемым, трудно сгораемым и сгораемым поверхностям.

Несгораемые – кирпич, бетон, асбест и др.

Трудносгораемые – пропитанные специальным составом дерево, а также защищённое от огня штукатуркой или облицовкой из не сгораемых материалов.

Для открытой прокладки по несгораемым стенам, перегородкам или перекрытиям используют провода с влагостойкой изоляцией, не разрушающейся под действием известковых или других химических активных растворов, применяемых при кладке и штукатурке стен и перекрытий.

В производственных помещениях колхозов и совхозов могут применяться открытые эл. проводки на крюках, якорях и полуякорях с изоляторами проводами АПР или АПРВ, которые используют в основном для освещения.

Из-за высокой стоимости, открытой эл. проводки защищёнными проводами или кабелем с резиновой изоляцией в общей оболочке марки ВРГ, АВРГ, НРГ, АНРГ и другими её применяют только в случае, если недопустимы скрытая проводка плоскими и проводами (НПВ, АПН, АППР) или не подходят другие виды открытых проводок (в сырых помещениях и с химически активной средой).

Применение эл. проводок в стальных трубах для осветительных сетей строго ограничено. Кроме того, они дороги и дефицитны. Поэтому их применения должно быть технически и экономически обосновано.

Электропроводка в трубах применяется главным образом для подводов к эл. двигателям, при условии, когда другая защита проводов или применение кабелей недопустимы.

В последние годы широко применяются пластмассовые трубы.

Для открытой прокладки силовых и осветительных проводок в жилых и производственных помещениях (животноводство, птицеводство) можно использовать установочный провод марки АППР с алюминиевыми жилами, изолированными специальной резиной, не распространяющей горение.

В производственных помещениях с\х предприятий применяют открытые тросовые эл. проводки. Их можно подвесить на любой высоте, просты в монтаже, а несущий трос можно даже использовать как нулевой провод в системах с заземлённой нейтрально. Для тросовых эл. проводок в зависимости от условий среды применяют провода марки АПРВ, АПВ, АПР; кабели марок АНРГ, АВРГ и специальные тросовые провода АВТ и АВТС. Последние выпускается с 3-мя и 4-мя жилами сечением от 4 до 35 мм<sup>2</sup>, со своим несущим тросом. Провода и кабели крепятся к тросу непосредственно скобками (АПРВ, АПВ, АНРГ, АВРГ); при помощи пластмассовых (АПР) или стальных подвесок (АНРГ, АВРГ), и на изоляторах и рамках (АПР) и на собственном несущем тросе. (трос Ø 3...8мм).

Иногда применяют струнную эл. проводку. В этом случае провода или кабели крепят к натянутой проволоке-струне, которую протягивают в плотную по кирпичным или бетонным основаниям. Струнные эл. проводки прокладывают в сухих, сырых и влажных помещениях. Для струн используют стальную проволоку Ø 2..4 мм.

Для эл. проводок применяют кабели и провода с резиновой или пластмассовой изоляцией сечением до 16мм<sup>2</sup>.

В клубах, школах, больницах и др. зданиях широко распространены скрытые эл. проводки. Для этих цепей используют провода марок АППВС, АПН и АПВ.

Если возможны механические повреждения, то применяют скрытую проводку в пластмассовых или металлических трубах.

В чердачных помещениях можно применять эл. проводку, открытую в стальных трубах, скрытую в стенах и перекрытиях из негорючих материалов, а также открытую эл. проводку на высоте не менее 2,5 м незащищённым изолированным проводом на рамках или изоляторах, а в чердачных помещениях производственных зданий – только на изоляторах. При высоте менее 2,5 м они должны быть защищены от прикосновения и механических повреждений. Кабели и защищённые изолированные провода можно прокладывать на высоте не менее 2,5м. Переносные эл. проводки выполняют гибкими шланговыми кабелями или проводами.

Вид эл. проводки, способ прокладки и марки проводов должны выбираться в зависимости от характера помещения условия окружающей среды и степени сгораемости монтируемых конструкции.

Считается наиболее целесообразными следующие виды эл. проводов:

- тросовая эл. проводка с самонесущими проводами АВТ, АВТС;

А также проводами АПВ с использованием в качестве несущего троса стального каната или проволоки  $\varnothing$  до 8мм. Она может быть рекомендована для большинства зданий и сооружений, и особенно для зданий с железобетонным перекрытием.

- Электропроводка с использованием провода марки АППР, имеющего изоляцию, не распространяющего горение. Этот провод можно прокладывать непосредственно по сгораемым основаниям без прокладки асбестовой полоски. Он устойчив к агрессивным средам животноводческих и птицеводческих помещений, поэтому рекомендуется для беструбной проводки.

- Силовые внутренние эл. проводки целесообразно выполнять кабелями марок АНРГ, АВРГ, АВВ, АВП на скобах, в каналах, а также проводом марки АПВ в пластмассовых или стальных трубах. Кабели АНРТ и АВРТ допускается подвешивать на тросах на скобах (особенно магистральные участки) – эл. проводку в стальных трубах проводить только тогда, когда по условиям окружающей среды иной способ выполнения недопустим или явно нецелесообразен.

### **3.2. Кабели и провода**

Для присоединения передвижных электрифицированных с\х машин и механизмов (кран-балки), зерноочистительные машины переносной электрифицированный инструмент применяют кабели с алюминиевыми и медными жилами, с резиновой изоляцией в резиновой оболочке в зависимости от условий окружающей среды, механических воздействий и др.

В с\х сейчас рекомендуется использовать кабель гибкий переносной марки КРПТН-СХ вместо КРПТ он в 1,5 раза более устойчив, имеет гибкие медные жилы, оболочка не распространяет горение и устойчива к воздействию окружающей среды. Кабель 5-ую жилу – для дистанционного управления пускорегулирующей аппаратурой (магнитные пускатели, контакторы, для присоединения датчиков).

#### **Кабели переносные**

1) АКРПТ – с алюминиевыми жилами, с резиновой изоляцией, с резиновой оболочкой (1...4жил; S =16...45);

2) КРПТ – с медной жилой, с резиновой изоляцией, с резиновой оболочкой (1; 2...4; S=0,75...120);

3) КРПТН – с медной жилой, с резиновой изоляцией, с резиновой маслбензостойкой оболочкой, не распространяющей горение.

Некоторые марки проводов и кабелей,  
применяемых в с\х производстве.

№	Провода и кабели марок	Применение	Число жил	Сечение мм <sup>2</sup>
1	2	3	4	5
1	АПР – провод с алюминиевой жилой с резиновой изоляцией в пропитанной оплётке, одножильный	Для внутренних эл сетей. Прокладка на роликах, изоляторах в сухих и сырых помещениях	1	2,5...240
2	ПР – провод с медной жилой с резиновой изоляцией в пропитанной оплётке, одножильный	-----П-----	1	0,75...240
3	АПВ – провод с алюминиевой жилой полихлорвиниловой оболочкой	Для прокладки в трубах, пустотных каналах негорючих строительных конструкций.	1	2,5...120
4	АПН – провод с алюминиевой жилой, с найритовой резиновой изоляцией, без оплётки	Для прокладки в сухих помещениях.	1 2	2,5...6 2,5...4
5	АППВ – провод с алюминиевыми жилами, с ПВХ изоляцией, плоский с разделительным основанием.	Для неподвижной открытой прокладки	2,3	2,5...6
6	АППВС - провод с алюминиевыми жилами с полихлорвинилов, изоляцией плоский, без разделительного основания.	Для неподвижной скрытой прокладки, под штукатуркой	2,3	2,5...6
7	АПРТО – провод с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией.	Для прокладки в металлических	1 2,3 4,7 10,14,4,7	2,5...240



8		трубах.	2 3 4	2,5...12 0 2,5 4...10
	АРТ – провод с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией с несущим стальным тросом	Для прокладки внутри помещений.		2,5...4 4...6 4...3,5
9			2 3 4	
	АВТ - провод с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией с полихлор изоляцией.	Для прокладки внутри помещений.		2,5...4 4...6 4...3,5
10			1 2,3	
	АВРГ – Кабель с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией в полихлорвинил оболочке.	Для прокладки внутри зданий каналах, туннелях отсутствие мех. воздействий и при наличии агрессивных сред.	1 2,3	2,5...4 4...6 4...3,5 4...240 4...185
11				
	АНРГ – кабель с алюминиевыми жилами с резиновой негорючей оболочкой.	Для прокладки внутри зданий каналах, туннелях отсутствие мех. воздействий и при наличии агрессивных сред.	2 3 4 5 6 7	4...245 4...185 4...16 2,5...6 4...16 4...50
12				
	АВВ – Кабели силовые облегчённые с алюминиевыми жилами с полихлорвинилов изоляция в полихлорвинил оболочке.	Прокладки внутри зданий в каналах туннелях, в земле.	2 3 4 5 6 7	6...50 16...50 16...50 16...50 2,5...6 4...16 4...50
13				
	АВП – Кабели силовые облегчённые с алюминиевыми жилами с полихлорвинилов изоляция в полихлорвинил оболочке.	Прокладки внутри зданий в каналах туннелях, в земле.	2 3,4	6...50 16...50 16...50
14				
	АВБВ – Кабель с алюминиевыми жилами с полихлор изоляцией в		1,2,4 3	2,5...50 2,5...12 0
15				

	полихлорвинилы оболочке 2-ля стальными  АППР – провод с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией не распротр. горение	Для открытой прокладки в эл. сетях во взрывоопас. установках и помещениях с хим. активной средой  Для прокладки внутри		2,5...10 2,5
--	---	---	--	-----------------

Марки проводов и кабелей, способы их прокладки в зависимости от характеристики помещений и огнестойкости поверхностей приведены в специальных таблицах.

### 3.3. Выбор сечения кабелей и проводов

#### 3.3.1. Выбор по условию нагревания.

В зависимости от степени опасности возникновения пожара или взрыва, а также с учетом условий Т.Б. по предотвращению возможности поражения током человека электрические сети разделяются на две группы:

1) Сети, которые необходимо защитить от перегрузок и токов короткого замыкания.

2) Сети, которые необходимо защитить только от токов К.З. защита от перегрузок для них не предусмотрена.

К первой группе относятся:

а) сети всех видов во взрывоопасных помещениях и взрывоопасных наружных установках независимо от условий технологического процесса или режима работы сети;

б) осветительные сети в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях и т.д., включая сети для бытовых и переносных эл. приёмников, а также в пожароопасных производственных помещениях.

в) сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными незащищёнными изолированными проводниками с горючей оболочкой.

г) силовые сети в промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях - в случаях, когда по условиям технологического процесса или режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводов и кабелей.

Все остальные сети относятся ко второй группе, не требуют защиты от перегрузок и защищаются только от К.З.

При этом расчетное значение допустимой нагрузки на провод или кабель выбирается как большая величина из соотношений:

- по условию нагревания длительным расчётным током линии

$$I_{\text{доп. таб.}} \geq \frac{I_{\text{расч}}}{K_n} \quad (3.1)$$

- по условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты

$$I_{\text{доп. Табл.}} \geq \frac{K_3 I_{\text{н.а.(в)}}}{K_n} \quad (3.2)$$

где:  $K_n$  – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей;

$I_{\text{н.а.(в)}}$  – ток срабатывания защитного аппарата (автомата или вставки);

$K_3$  – кратность допустимого длительного тока для провода или кабеля по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата.

$$I_{\text{доп.фактич.}} = K_n I_{\text{доп.табл.}} \quad (3.3)$$

$K_n = K_1, K_2, K_3 \dots$  поправочный коэффициент

$K_1$  – учитывается фактическая температура окружающей среды;

$K_2$  – число проложенных в траншее рабочих кабелей;

$K_3$  – условия кратковременного или повторно – кратковременного режима работы эл. приёмников.

$I_{\text{доп.табл.}}$  – табличное допустимое значение тока при нормальных условиях

если принять  $I_{\text{расч.}} = I_{\text{доп.фактич.}}$

То имеет  $I_{\text{доп.табл.}} = \frac{I_{\text{доп.фактич.}}}{K_n} = \frac{I_{\text{расч.}}}{K_n}$

**Таб.3.1 Соотношение между длительно допустимым током проводника и номинальным током плавких вставок (расцепителей автоматов).**

Проводники	Характеристика помещений	Нормируемое соотношение для аппаратов защиты			
		Плавкие предохранители	Авто. Включатели с обратозависимой от тока характеристикой		Автоматы имеющие только эл. магнитный расцепитель
			Не регул. Расцепит.	Регулируем. расцепитель	
Сети защищаемые от токов К.З.					
Проводники всех типов	Все помещение	$\geq 0,33$	$\geq 1,0$	$\geq 0,66$	$\geq 0,22$
Сети защищаемые от перегрузки					
Открыто проложен. изолир. провода с горючей оболочкой	Производств.н взрывоопасные помещения. Все прочие помещения	$\geq 1,25$	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$	$\geq 1,25$
Защищён. провода, кабели с	Производство жароопасные и взрывоопасные				

резин. и пластмасс. изоляцией провода в трубах	жилые, торговые	$\geq 1,25$	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$	$\geq 1,25$
Кабели с бумажной изоляцией	То же самое	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$	$\geq 0,8$	$\geq 1,0$

Если проводка выполнена при нормальных условиях значения  $K_n=1$ , то имеем:

$$I_{\text{доп.табл.}} \geq I_{\text{расч.}} \quad (3.4)$$

$$I_{\text{доп.табл.}} \geq K_z I_{\text{н.а.(в)}} \quad (3.5)$$

Выбранные защитные аппараты и сечения проводов и кабелей во всех случаях должны удовлетворяют ещё одному условию, а именно защитные аппараты должны надёжно отключать короткое замыкание, происшедшее в наиболее удалённой точке сети. И в двигателе наибольшей мощности.

- При защите эл. проводок на невзрывоопасных зонах:

$$\frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{н.в.}}} \geq 3; \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{ср.эл.м.}}} \geq 1.25 \dots 1.4 \quad (3.6)$$

$$\frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{н.тепл.}}} \geq 3$$

- При защите эл. проводок во взрывоопасных зонах:

$$\frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{н.тепл.}}} \geq 4; \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{ср.эл.м.}}} \geq 1.25 \dots 1.4 \quad (3.7)$$

$$\frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{н.тепл.}}} \geq 6 \quad (3.8)$$

\*1,25 – для автоматов на номинальные токи выше 100 А.

1,4 - для автоматов на номинальные токи до 100 А.

Итак, последовательность расчётов:

1. Определяют расчётные токи линии (длительные или кратковременные);
2. По величине расчётных токов выбираем токовую максимальную защиту (формулы 2,4);
3. Выбираем сечение проводников по величине расчётных токов линии
4. Проверяем надёжность действия аппаратуры защиты при К.З в наиболее удалённой точке сети.

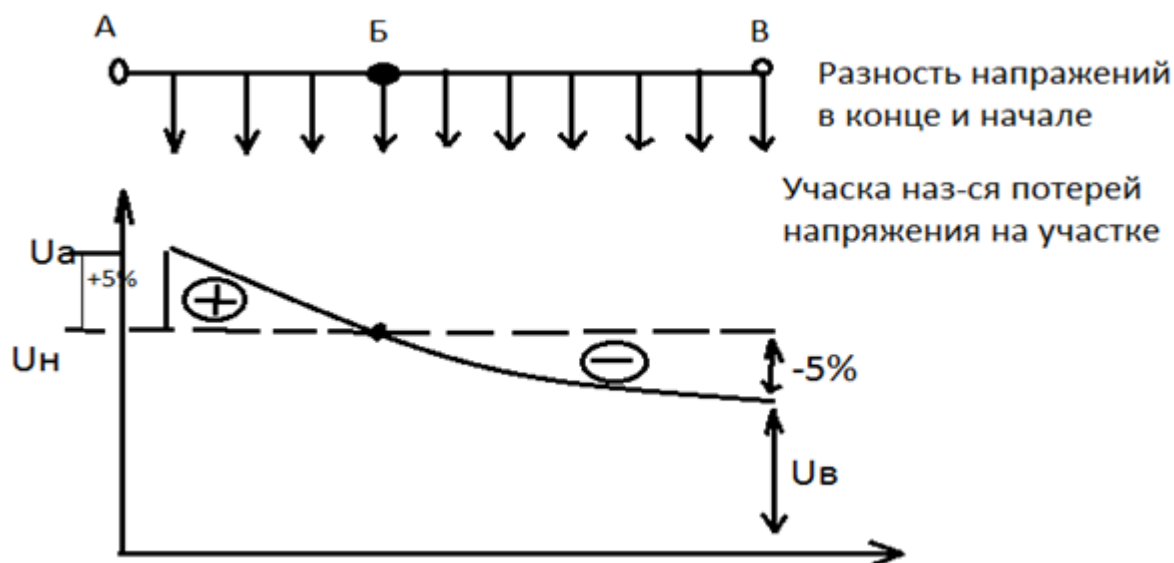
### 3.3.2 Расчёт сети по потере напряжения

Повышения или снижение напряжения на зажимах эл. приемника по сравнению с номинальными приводит к ухудшению его работы. Например, для лампы накаливания повышение напряжения на её зажимах на 10% приводит к сокращению срока её службы в 4 раза.

При снижении напряжения на 10% световой поток лампы уменьшается до 67%.

В силовой сети это отклонения может привести к значительному браку и повышенному износу двигателей.

$(I_{(к.з.)}) / (I_{(н.тепл.)}) \geq 3$  Потеря напряжения – результат прохождения электрического тока через проводники с определённым сопротивлением.



**Рис.3.1 График распределения напряжения вдоль линии.**

Допустимое отклонение напряжения:

Для животноводческих комплексов и птицефабрик до  $\pm 7,5\%$

Для других потребителей в сельской местности  $\pm 5\%$

Для одного участка 
$$S = \frac{Pl}{C \Delta U_{\text{доп}} \%} \quad (3.9)$$

Для сети 
$$S = \frac{\sum Pl}{C \Delta U_{\text{доп}} \%} \quad (3.10)$$

$C = 46$  ( $U = 380/220$ ; 3-х фазная с нулевым проводом)

$C = 7,7$  ( $U = 220$ ; 2-х проводная линия)

### 3.3.3 Выбор сечения по экономической плотности тока

Определяется по формуле  $(J_{\text{э}} = \frac{I}{F_{\text{э}}}) F_{\text{э}} = \frac{I}{J_{\text{э}}} \text{ (A/мм}^2\text{)}$  (3.11)

Экономическая плотность тока приведена в соответствующей таблице в зависимости от значений продолжительности использования максимума нагрузки. Продолжительность использования максимума нагрузки данного участка сети называется такое число часов, в течении которого при неизменной нагрузке равной максимальной для этого участка, потребления электрической энергии, в нем было бы равно действительному годовому потреблению.

Чем равномерней график нагрузки, тем выше продолжительность использования максимума если бы нагрузка была бы неизменной, то продолжительность использования максимума составляла бы 8760 ч в году. Чем выше продолжительность использования максимума, тем меньше экономическая плотность тока.

**Табл. 3.2 Экономическая плотность тока,  $A/mm^2$  (выдержка).**

тип	Продолжительность использования максимума нагрузки, часов		
	1000-3000	3000-5000	Более 5000
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с с алюминиевыми жилами	1,9	1,7	1,6

Есть ещё голые провода и кабели в бумажной изоляции и провода в резиновая изоляция.

Среднее число часов использования максимальной нагрузки

- нагрузочное освещение – 2000 – 3600

- внутрь освещения 1500 – 2500

Промышленные предприятия работающие

в одну смену – 2000 – 3000

В две смене - 3000 – 4500

Выбранные по формуле (7) сечения округляются до ближайшего стандартного значения.

К приведённым в таблице 1 значениям вносится поправка в случаях:

А) При максимуме нагрузке в ночное время экономическая плотность тока должна повышаться на 40% (поправочный коэффициент  $K_y=1,4$ );

Б) Для изолированных проводов сечением  $16mm^2$  и менее экономическая плотность тока также увеличивается на 40% ( $K_y = 1,4$ );

В) Для линии с одинаковым сечением по всей длине и с различными нагрузками на участках,  $J_\alpha$  для начального участка увеличивается по сравнению с табличным в  $K_y$  раз (коэффициент увеличения)

$$K_y = \sqrt{\frac{I L}{I L + I L + \dots + I L}}$$

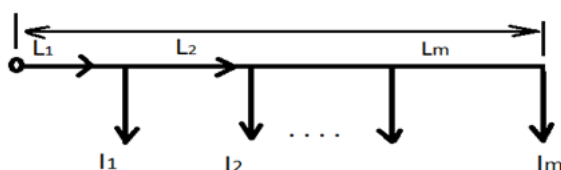


Рис.3.2

Проверке по экономической плотности тока не подлежат:

- А) сети промышленных предприятий и сооружений с напряжений до 1000В при использовании максимума нагрузки предприятия до 4000...5000 ч.
- Б) Все ответвления к эл. приёмникам до 1000В.
- В) Осветительные сети, проверенные по потере напряжения.
- Г) Сети временных сооружений, а также устройств с малым сроком службы (3...5 лет)
- Д) Сборные шины.

## 4. Выбор пускозащитных аппаратов

### 4.1 Характеристики аппаратуры управления и выбор пускозащитной аппаратуры.

Электрические аппараты управления классифицируются по назначению, принципу действия и характеру коммутации цепей.

По назначению:

- 1) Коммутирующие – предназначенные для размыкания электрической цепи без нагрузки (рубильники, переключатели, пакетные выключатели и т.д.);
- 2) Защитные – осуществляющие защиту эл. двигателей и сети от коротких замыканий и перегрузок (автоматы, предохранители, тепловые реле, реле максимального тока ФУЗ, УВТЗ и минимального напряжения);
- 3) Управления – служащие для пуска и остановки двигателей, изменения направления и частоты вращения (пускатели, контакторы, контроллеры, регулировочные и тормозные резисторы, реле управления).

По принципу действия:

- 1) Аппараты ручного управления, которые вступают в работу только в результате непосредственного воздействия обслуживающего персонала (рубильники, выключатели, реостаты);
- 2) Аппараты дистанционного или автоматического управления (контакторы, пускатели, реле управления).

По исполнению аппаратуру управления, как и другое электрооборудование различают по климатическому исполнению категории размещения изделия и по степени защиты от соприкосновения обслуживающего персонала с токоведущими или движущимися частями находящимся внутри корпуса аппарата от попадания в корпус воды и посторонних твёрдых тел.

Аппаратура имеет следующую маркировку по климатическому исполнению:

У – для районов с умеренным климатом;

ХЛ – для районов с холодным климатом;

ТВ – для районов, как с сухим, так и с влажным тропическим климатом;

О – общеклиматическое исполнение.

Категорию размещения электрооборудования обозначают следующими цифрами:

1- Для работы на открытом воздухе;

2- Для работы в открытых помещениях;

3- Для работы в закрытых помещениях без искусственного микроклимата;

4- Для работы в помещениях с искусственным микроклиматом;

5- Для работы с повышенной влажностью.

Степень защиты аппаратуры характеризуется условным знаком IP m цифрами. Первая цифра после IP (0...6) означает степень защиты от соприкосновения персонала с движущимися частями оборудования и от попадания внутрь оболочки воды.



О – защита от воды отсутствует;

1 – защита от капель сконденсировавшейся воды

2 – защиты от капель воды и т.д.

3) По характеру коммутации электрических цепей:

На контактные и бесконтактные. Первые соединяют и разъединяют эл. цепи с видимым разрывом.

Бесконтактная аппаратура имеет преимущества:

Быстродействие (большая скорость переключения), долговечность (меньший износ, т.к. трущихся частей нет), бесшумность и способность к работе во взрывоопасных и загрязнённых средах контактные аппараты обеспечивают видимый разрыв эл. цепи, более устойчивы к перегрузкам и напряжениям, просты в эксплуатации и более дешевле.

Кроме того, появились новые аппараты, построенные на магнитоуправляемых контактах (герконах) – промежуточные реле, контакторы, путевые и конечные выключатели и т.д., которые обладают повышенным сроком службы и быстродействием, просты и способны к работе во взрывоопасной среде и в некоторых случаях надёжнее бесконтактных.

Поэтому контактные и бесконтактные аппараты дополняют друг друга и всегда целесообразно использовать их сочетание.

### **Рубильники и переключатели**

Служат для замыкания и размыкания эл. цепей постоянного тока напряжением до 440В и переменного до 500В.

Рубильники бывают одно, двух и трёхполюсными, их изготавливают с центральной или баковой рукояткой с баковым или центральным приводом. Рубильники выбирают по номинальному току и напряжению, по условиям среды.

Они имеют следующую маркировку: Р, РБ, РПБ,

где Р – рубильник; Б – боковая рукоятка; П – наличие привода (это вторые буквы); третья буква: Б – баковой привод; Ц – центральный привод. Предельный размыкаемый ток для рубильников без дугогасительных камер  $0,3 I_n$ .

Пакетные выключатели и переключатели - предназначены для переключения эл. цепей силой тока от 6 до 400А при  $U=220$  и 380В, в одно и многополюсном исполнении.

Обозначение типы пакетного выключателя: первая буква – пакетный, вторая – переключатель или выключатель (ПП, ПВ), цифра – число полюсов.

Выключатели и переключатели выбирают в соответствии с необходимой схемой переключения по номинальному току и напряжению с учётом условий окружающей среды.

Пакетники - состоят из нескольких пакетов с ножами, мгновенно замыкающими эл. цепь при повороте рукоятки на  $90^\circ$ . Быстродействие обеспечивается благодаря конструкции и наличию пружин.

Барабанные переключатели – выпускаются на токи до 50А, могут переключать от 3 до 18 цепей (БП).

Контроллеры – переключатели кулачкового типа, предназначены для управления тяговыми и крановыми эл. двигателями мощностью до 100кВт переменного тока и 40кВт постоянного (КА).

Универсальные переключатели – используют для редких переключений маломощных цепей.

Кнопочные выключатели – до 500В при токе до 6 А (ПКЕ).

Путевые выключатели – аппарат, на воспринимающий элемент, на который воздействуют сами механизмы при их движениях. (ВПК)

Бывают нажимные, рычажные, с самовозвратом, без самовозврата и т.д. Малогабаритные путевые выключатели называют микровыключателями (МП).

Контакторы и пускатели – наиболее распространённые аппараты в схемах автоматического управления.

Контакторы постоянного и переменного тока предназначены для многократных включений и отключений электрической цепи (до 1200 срабатываний в час) при помощи электромагнита.

Номинальные токи контакторов находятся в пределах 3...2500А

С  $U_n = 660\text{В}$ . Контакторы классифицируются по роду тока и по числу полюсов. (КТ)

К – контактор; Т - переменного тока, П – постоянного тока.

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного включения или автоматического управления.

В пускателе могут быть применены тепловые реле. Номинальные токи пускателей от 2.5 до 150 А. Они обеспечивают управление двигателями мощностью до 75 кВт при  $U = 380\text{В}$ .

Наиболее распространены пускатели типа ПМЕ и ПАЕ. ПАЕ – для двигателей большой мощности; ПМЕ – рассчитаны на токи до 25 А.

ПМЕ - 2 13

2 – величина пускателя может быть РТТ, РТЛ (габарит 1ой величины и т.д.), пускателя.

- Исполнение (для нулевой величины 1,4,7 – открытое с четырьмя замыкающими контактами; 2,5,8 – защищенное с четырьмя замыкающими и двумя размыкающими контактами и т.д.); а для других величин это означает: 1- открытое; 2 – защищенное; 3- пылеводонепроницаемое исполнение.

Характер вращения эл. двигателя, наличие теплового реле и кнопок управления (1- одностороннее вращение без реле; 2 – одностороннее вращение с реле; 3 – реверсивное вращение без реле; 4 – реверсивное вращение с реле; 6 – одностороннее вращения с тепловым реле с встроенным в оболочку кнопками “Пуска” и” Стоп”).

ПАЕ – 412

4 – величина пускателя (3,4,5,6);

1 – положение (1- открытое, 2- защищённое и т.д.);

2 – характер вращения и наличие тепловых реле и кнопок.

### Реле управления

Наряду с контакторами, пускателями в схемах автоматического управления применяют различные реле управления: тока, напряжения, времени и др.

а) Реле времени – пневматические с задержкой до 3 мин; эл. механическая – до 1 мин; двигательные – выдержка несколько часов;

б) Реле с магнитоуправляемыми контактами – герконные реле (герметизированные, магнитоуправляемые контакты) представляют собой катушку, внутри которой имеются герметичное магнитоуправляемые контакты.

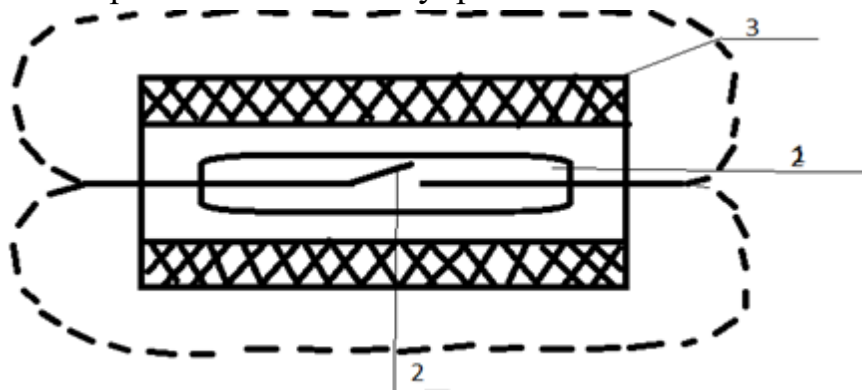


Рис.4.1 При протекании тока через катушку 3, магнитные силовые линии намагничивают контакты 2, помещенные в стеклянный баллон 1.

Герконные реле выпускают на напряжения 12и 24В постоянного тока. исполнение реле отличается по числу обмоток катушки, контактов, номинальному напряжению. (РПГ – промежуточное реле герконное).

### Тиристорные пускатели.

Коммутирующим элементом этих аппаратов является тиристор, представляющий собой управляемый вентиль, пропускающий ток в одном направлении.



Тиристор открывается, когда на его управляющий электрод подается небольшой положительный потенциал (4...8 В) по отношению к катоду. После открывания

тиристора управляющий сигнал не влияет на состояние тиристора, который остаётся открытым до тех пор, пока анодный ток практически не снизится до нуля. В пускателях используются силовые тиристоры серии «Т» с воздушным охлаждением, выбираемые по току и напряжению. Тиристор может выдержать только кратковременные перегрузки по току (порядка миллисекунд). Поэтому допускаемый ток перегрузок вентиля должен быть больше пускового, а максимальное допускаемое напряжение не менее амплитудного значения напряжения, прикладываемого к тиристорам в прямом и обратном направлении.

Например, при номинальных токах пускателя – 16А, используются тиристоры на 160А.

Настоящее время выпускается тиристорные пускатели серии ПТ.

(ПТ – 16 – 380 – У – нереверсивный, ПТ – 16 – 380 – Р – реверсивный).

Тиристорный пускатель состоит из силового блока, основу которого составляют 6 тиристоров, схемы управления, блоков защиты и питания цепей управления.

В случае подачи напряжения и при отсутствии аварийных состояний триод V3 открыт. При нажатии кнопки S1 получает питание катушке реле К, контакты которого замыкают цепь управления тиристорами. Допустим, что после замыкания контактов К положительная полуволна напряжения сети приложена к аноду тиристора V1. Тогда ток управления, открывающий этот тиристор, пройдёт через диод V6, контакт К, резистор R1, управляющий электрод и катод тиристора V1.

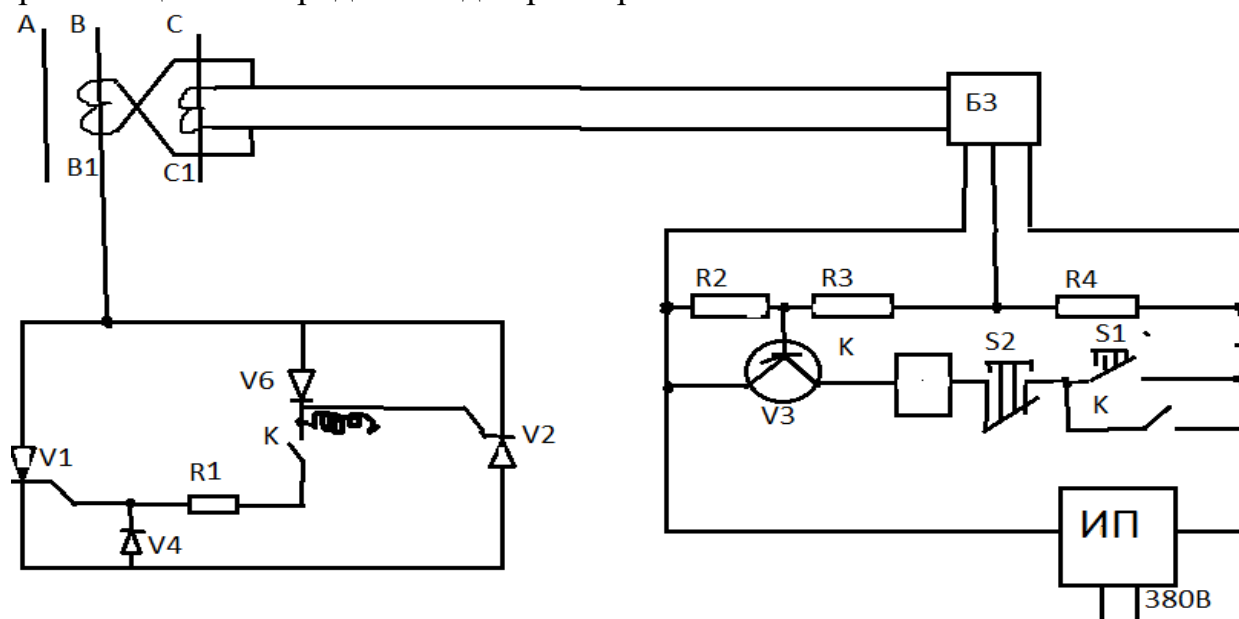


Рис.4.2 С открытием тиристора шунтируется цепь управления.

При переходе тока через ноль V1 закрывается. Следующая полуволна напряжения будет положительной для тиристора V2, ток управления протекает через диод V4, резистор R1, контакт К и управляющий электрод тиристора V2 и т.д. Аналогично идёт процесс для фаз А и С.

Блок токовой защиты БЗ воздействует на схему управления реле К, через свой выход, запирая транзистор V3.

## 4.2 Предохранители и автоматические выключатели.

При эксплуатации электропроводок применяются пробочные (однополюсные резьбовые) и трубчатые предохранители, а также автоматические выключатели.

Для плавких предохранителей и автоматов характерны следующие номинальные параметры:

Номинальное напряжение автомата или предохранителя ( $U_{\text{ном.пр.}}$ ) – напряжение, указанное на (автомате) предохранителя и соответствующее наибольшему номинальному напряжению сетей, в которых разрешается установка данного предохранителя (автомата)

Номинальный ток предохранителя ( $I_{\text{ном. пр.}}$ ) – ток, который указан на предохранителе, равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок предназначенных для данного предохранителя.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя ( $I_{\text{н.вст.}}$ ) – ток, указанный на плавкой вставке, при котором она работает длительно и не расплавляется (Причём  $I_{\text{ном. пр.}} \geq I_{\text{н.вст.}}$ ).

Предельный ток отключения при данном напряжении ( $I_{\text{н.пред.}}$ ) – наибольшее значение тока К.З., при котором гарантируется надёжная работа предохранителя, то есть обеспечивается гашение дуги без повреждения патрона предохранителя.

Номинальный ток ( $I_{\text{н.а.}}$ ) – наибольший ток, на который рассчитаны токоведущие и контактные части автомата, равный наибольшему из номинальных токов расцепителя.

Номинальный ток расцепителя автомата ( $I_{\text{н.эл.м.}}, I_{\text{н.тепл.}}, I_{\text{н.комб.}}$ ) – наибольший ток, на который рассчитан расцепитель автомата для длительной работы, не вызывающий срабатывания расцепителя

Номинальный ток уставки теплового расцепителя ( $I_{\text{н.уст.}}$ ) – ток на который отрегулирован тепловой расцепитель и при котором он не срабатывает  $I_{\text{н.уст.тепл.}} = (0,6 \dots 1) I_{\text{н.тепл.}}$  – для автоматов с наличием регулировки тока уставки;  $I_{\text{н.уст.тепл.}} = I_{\text{н.тепл.}}$  для автоматов без регулировки тока уставки;

Ток срабатывания (уставки) расцепителя  $I_{\text{ср.эл.м.}}, I_{\text{ср.тепл.}}$  – наименьший ток, при котором срабатывает расцепитель автомата;

$I_{\text{ср.эл.м.}} = (7 \dots 15) I_{\text{ср.эл.м.}}$  – для автоматов с электромагнитным или комбинированным расцепителем;

$I_{\text{ср.тепл.}} = (1,25 \dots 1,45) I_{\text{ср.тепл.}}$  – для автоматов с тепловым расцепителем без регулировки тока уставки;

$I_{\text{ср.тепл.}} = (1,25 \dots 1,35) I_{\text{ср.тепл.}}$  – для автоматов с тепловым расцепителем с регулировкой тока уставки;

а) наиболее распространены предохранители типа ПН и НПН, ПР.

НПН – (предохранитель с наполнителем)

ПР – (предохранитель трубчатый)

Например, НПН – 15 может иметь ном. токи плавких вставок на 6,10 и 15 А; ток предохранителя – 15 А; отключающая способность при напряжении 500 В – 2160 А.

Плавкие предохранители – простейшее и чрезвычайно распространённые устройства для защиты эл. установок от больших перегрузок и коротких замыканий.

Плавкие вставки изготавливают из свинца, его сплавов, цинка, алюминия, меди, серебра. Вставка из свинца и его сплавов имеют низкую температуру плавления, а также обладают тепловой инерцией вследствие большой удельной теплоёмкости этих материалов.

Поэтому в кратковременные перегрузки такие плавкие вставки не отключают. Но с другой стороны из-за сравнительно высокого удельного сопротивления этих материалов сечение плавких вставок на большие токи получается большим и при перегорании разбрызгивается значительное количество металла.

Плавкие вставки из меди и серебра имеют намного меньшее сечение, так как обладают хорошей электропроводностью. Температура их плавления значительно выше (предохранители не защищают изоляции эл. двигателя от длительных перегрузок, вызывающих перегрев). Важной характеристикой предохранителя

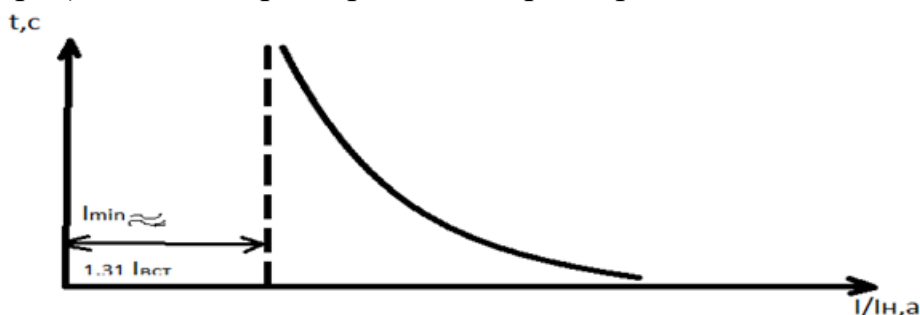


Рис. 4.3 является ампер-секундная характеристика вставки, представляющая собой зависимость времени перегорания вставки от протекающего по ней тока I.

Ампер-секундная характеристика предохранителя.

б) Автоматические выключатели (автоматы)

В с/х производстве наиболее распространены автоматы типа АП 50, АК 63, А 3700, А 3100 и др., которые могут иметь тепловой, электромагнитный расцепитель и комбинированный расцепитель.

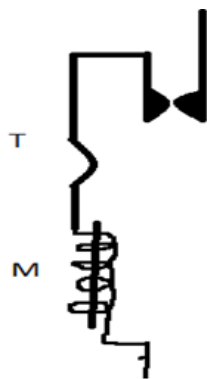


Рис. 4.4 АП – 50 – 3мт;  $I_H = 50$  А; 3-х фазной с комбинированным расцепителем А 37–серия; А 37000 – третья цифра – обозначения по номинальному току выключателя: 1 – 160; 2-250 А; 3-400 А; 4-630 А четвёртая цифра – обозначение по числу полюсов и виду расцепителя максимального тока: 1 – двухполюсные с электромагнитным расцепителем;

2 – трехполюсные с электромагнитным расцепителем и т.д. (до 8).

Применение автоматических выключателей даёт следующие преимущества:

- 1) Устраняется возможность работы двигателя в неполнофазном режиме, так как при перегрузках и К.З. отключаются сразу три фазы (автоматом);
- 2) Во-вторых, значительно снижаются простои эл. оборудования, т.к. на включение сработавшего автомата требуется меньше времени, чем на замену перегоревшего предохранителя;
- 3) Ампер-секундные характеристики защиты от перегрузок автоматов более соответствуют защищаемому эл. оборудованию.

#### 4.4. Выбор предохранителей

а) При защите осветительной сети, (в основном от К.З.) - номинальный ток плавкой вставки предохранителя должен быть больше рабочего тока нагрузки или равен ему:

$$I_{н.в.} \geq I_p \quad (4.1)$$

- Номинальный ток плавкой вставки предохранителя должен быть:  $I_{н.вст.} \leq 0,8 I_{доп.}$

Б) При защите силовых электропроводок

$$I_{н.в.} \geq \frac{I_{пус}}{\alpha} = \frac{I_{пус}}{2,5} \quad (4.2)$$

Для двигателей: с нормальными условиями пуска  $\alpha = 2$ , ( $\tau_{пуска} = 5 - 10$  сек).

Для двигателей с тяжёлыми условиями пуска  $\alpha = 1,6-2$  (частые пуски, длительность пуска от 10 до 40 сек)

Для группы эл. двигателей

$$I_{н.в.} \geq \sum^{n-1} I_p + \frac{I_{пус.нб}}{\alpha} \quad (4.3)$$

#### 4.4 Выбор автоматических выключателей.

При выборе автоматов для защиты силовых и осветительных установок и электропроводок необходимо соблюдение условий:

$$I_{\text{н.тепл.расц}} \geq I_{\text{р}}. \quad (4.4)$$

Или

$$I_{\text{н.эл.м.расц}} \geq I_{\text{р}}. \quad (4.5)$$

Во избежание ложного отключения эл. проводки, необходимо провести ещё проверку правильности выбора автомата по формулам:

$$I_{\text{ср.эл.м.}} \geq K_{\text{м}} I_{\text{макс}} \quad (4.6)$$

$$I_{\text{ср.тепл.}} \geq K_{\text{р}} I_{\text{р}} \quad (4.7)$$

Где:  $I_{\text{макс}} = I_{\text{пуск}}$ . При защите одного двигателя

$I_{\text{макс}} = (\sum_1^{n-1} I_{\text{р}} + I_{\text{пуск нб}})$  при защите группы двигателей.

$$K_{\text{м}} = 1,25 - 15$$

$K_{\text{р}} = 1,25$  - Коэффициенты учитывающие возможность неточности в определении  $I_{\text{макс}}$  и в настройке расцепителей. (Для АП -50  $K_{\text{м}} = K_{\text{р}} = 1,25$ )

$I_{\text{ср.эл.м.}}$  и  $I_{\text{ср.тепл.}}$  – наименьшие токи, при которых срабатывают электромагнитные и тепловые расцепители.

Защита электропроводки от токов перегрузки достигается в том случае, если номинальный ток теплового расцепителя будет меньше длительно допустимого тока защищаемого провода или кабеля, или равен ему

$$I_{\text{н.тепл.}} \leq I_{\text{доп.}} \quad (4.8)$$

При защите силовых эл. проводок только предохранителями или только автоматами с электромагнитными, мгновенно действующими расцепителями для защиты проводов от недопустимого перегрева должны соблюдаться условия:

$$I_{\text{н.вст}} \leq 3 I_{\text{доп.}} \quad (4.9)$$

$$I_{\text{ср.эл.м.}} \leq 4,5 I_{\text{доп.}} \quad (4.10)$$

Аппараты защиты должны обеспечивать отключение аварийного участка при коротком замыкании в любой точке защищаемой линии. Расчётными, как правило, являются концевые участки линий, наиболее удалённые от источников питания. Это объясняется тем, что чем дальше место короткого замыкания от начала линии, тем меньше ток К.З. из-за чего при длинных линиях величина его может оказаться недостаточной для отключения автомата или перегорания плавкой вставки.



## 5. Подсчет электрических нагрузок и выбор трансформатора.

### 5.1 Подсчет электрических нагрузок и выбор трансформатора

#### 5.1.1 Метод коэффициента одновременности.

Нагрузки электрических сетей напряжением 0,38...110кВ определяют согласно рекомендация изложенным в «Руководящих материалах по проектированию электроснабжения сельского хозяйства».

##### Нагрузка на вводах к потребителям.

На вводе в сельский жилой дом удельную перспективную нагрузку (для 7 года) и годовое потребление электроэнергии, полученного при обследовании потребителя.

Если к расчетному периоду намечается газификация населенного пункта, то полученную нагрузку снижают на 20%. Расчетную нагрузку на вводе сельских домов с электроплитками принимают 6кВт, а если еще есть водонагреватели – 7,5кВт.

Нагрузку бытовых кондиционеров учитывают путем увеличения нагрузки на вводе в дом на 1кВт.

При отсутствии сведений об электропотреблении и для вновь электрифицируемых населенных пунктов принимают расчетную нагрузку согласно таблице 1.

Таблица 5.1.

Характеристика населенного пункта	Расчетная нагрузка, кВт	
	С газификацией	Без газификации
1)С преимущественно старыми домами	1,5 1,8	1,8 2,2
2)С новой застройкой	4,0	5,0
3)Благоустроенные квартиры в городах, поселках, при животноводческих комплексах		

Максимальная расчетная нагрузка на вводе в жилой дом участвует в вечернем максимуме полностью, а в дневном – с коэффициентом 0,2 – 0,3 (для домов без эл. плит) и 0,5 (для домов с эл. плитами).

(Коэффициент участия нагрузки)

Для производственных потребителей  $K_g = 1$  и  $K_b = 0,6$ ; для смешанной нагрузки  $K_g = 1$  и  $K_b = 1$ .

Расчетные активные и реактивные нагрузки на вводах в общественные, коммунальные и производственные предприятия и помещения, участвующие в дневном и вечернем максимуме, а также установленная мощность приводятся в методических указаниях и материалах (РУМ), там же приводятся коэффициенты сезона и режимные

суточные графики активных и реактивных нагрузок по сезонам в процентах от максимальной нагрузки.

Как мы знаем, есть дневной  $S_g$  и вечерний  $S_b$  расчетные максимумы нагрузки потребителей.

Для сетей 0,38кВ и ТП 6 – 35/0,4кВ определяются по формулам:

$$S_g = \sum K_0 S_{gi} \quad (5.1)$$

$$S_b = \sum K_0 S_{bi} \quad (5.2)$$

Коэффициент одновременности (отношение совмещенной максимальной нагрузки к сумме максимумов нагрузок отдельных потребителей или их групп).

Расчетную нагрузку на вводах, к потребителям имеющих только электрическое освещение и до 3-х силовых приемников, принимают как сумму их установленных мощностей.

Расчетные нагрузки однородных потребителей, отличающихся по мощности не более чем в 4 раза, суммируют с учетом коэффициента одновременности (формулы 1,2).

Общую нагрузку потребителей несоизмеримой мощности определяем по методу, предложенному Горьковским отделением «Сельэнергопроекта».

Здесь к большей нагрузке добавляем надбавки от меньших.

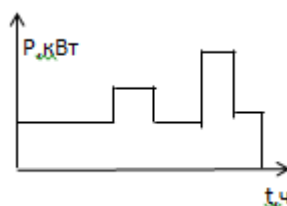
### 5.1.2 Построения графика методом электрических нагрузок.

Этот метод целесообразно использовать, когда мы точно знаем распорядок работы в предприятии.

Составляется смешанный технологический график работы предприятия с указанием наименования операции, типов машин, мощностей электроприемников и т.д.

Мощность потребляемая двигателем

$$P_{\text{потр.}} = \frac{P_n K_3}{\eta}$$



Строим график электрических нагрузок

определяем эквивалентную мощность:

$$P_{\text{экр.}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (5.3)$$

$$S_{\text{пол.}} = \frac{P_{\text{экр.}}}{\cos \varphi} \quad (5.4)$$

При отсутствии суточного или сменного графика работы оборудования расчетную нагрузку определяем по формуле:

$$P_{\text{расч.}} = \sum_1^n \frac{P_{\text{уст.}n} K_3}{\eta} + \sum_i^m \frac{P'_{\text{уст.}m} K_3 t}{0,5\eta} \quad (5.5)$$

Где  $P_{\text{уст.}n}$  – установленная мощность из  $n$  электроприемников участвующих в максимуме нагрузок в течение времени более 0,5 часа и более;

$K_3$  – коэффициент загрузки электроприемников;

$n$  – Количество электроприемников участвующих в максимуме с продолжительностью 0,5 часа и более;

$P'_{\text{уст.}m}$  – установленная мощность каждого из  $m$  электроприемников участвующих в формировании максимальной нагрузки и работающих в период максимума менее 0,5 часа;

$t$  – Длительность работы электроприемника в период получасового максимума нагрузок.

### 5.1.3. Метод эффективного числа электроприемников.

Здесь расчетная мощность определяется из выражения:

$$P_{\text{расч.}} = K_{\text{max}} P_{\text{ср.см.}} \quad (5.6)$$

Где  $K_{\text{max}}$  – коэффициент максимума;

$P_{\text{ср.см.}}$  – средняя нагрузка за максимальную нагруженную смену.

Средняя нагрузка определяется:

$$P_{\text{ср.см.}} = \frac{W_{\text{см}}}{T_{\text{см}}} \quad (5.7)$$

$W_{\text{см}}$  – количество израсходованной электроэнергии (кВт · ч)

$$K_{\text{max}} = f(n_3, K_u)$$

$n_3$  – эффективное число электроприемников;

$K_u$  – коэффициент использования установленной мощности.

$n_3$  – эффективное число электроприемников, это такое число приемников одинаковых по мощности и режиму работы, которые обуславливают то же значение расчетного максимума, что и группа приемников различных по мощности и режиму работы.

$$n_3 = \frac{(\sum P_{\text{уст.}i})^2}{(\sum P_{\text{уст.}i}^2)} \quad (5.8)$$

Формулу (6) можно переписать в виде:

$$P_{\text{расч.}} = K_{\text{max}} K_u \sum P_{\text{уст.}i}$$

Где  $K_u = \frac{P_{\text{ср.см.}}}{\sum P_{\text{уст.}i}}$

Имеются специальные таблицы, где приведены  $K_{\text{max}} = f(n_3, K_u)$ .

Таблица 5.2.

$n_3$	Значение $K_{\text{max}}$ при $K_u$				
	0,1	0,15	0,2	....	0,8

4	3,43	3,11			1,14
5	3,23	2,87			1,12
6	3,04	2,64			1,1

## 5.2 Выбор источника питания.

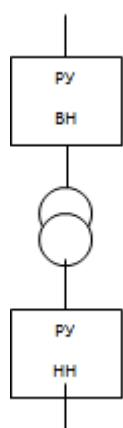
В настоящее время основным источником электроснабжения с/х районов являются сети энергосистем. Непосредственными источниками питания сельских потребителей являются подстанции, которые делятся на районные трансформаторные подстанции (РТП) и потребительские (ТП).

Назначение (РТП) – преобразовать электроэнергию с напряжения 35...220кВ на напряжение 6...35кВ с целью более экономичного ее распределения в районе и передачи по воздушным линиям к потребительским ТП 6...35/0,38кВ.

Назначение (ТП) – преобразовать электроэнергию с напряжения 6...35кВ на напряжение 0,38кВ с целью распределения ее на территории населенного пункта или другого потребителя и передачи воздушными или кабельными линиями к токоприемникам: двигателям, нагревательным и осветительным приборам и т.п.

Любая ТП содержит: распределительные устройства высокого напряжения (РУ В.Н.); один или два трансформатора; распределительные устройства низкого напряжения (РУ Н.Н.).

Кроме них еще на подстанции имеются: устройства управления, сигнализации и блокировки, заземляющие устройства, вспомогательное оборудование и др.



Распределительные устройства – включают шины, выключатели, разъединители, приборы и т.д.

Бывают открытые (ОРУ) и закрытые (ЗРУ), комплектные наружной установки (КРУН).

Сельские трансформаторные подстанции стремятся расположить в центре электрических нагрузок. Рекомендуется при этом, чтобы радиус охвата потребителей не превышал 400м, а сечение проводов воздушных линий: минимальное – 16 мм<sup>2</sup>, максимальное 120мм<sup>2</sup>.

Для определения центра нагрузок на генплан наносятся координатные оси x и y.

Координаты центра тяжести определяются по формулам:

$$X = \frac{\sum_i^n (S_{расч.i} X_i)}{\sum_i^n S_{расч.i}} \quad (5.9)$$

$$Y = \frac{\sum_i^n (S_{\text{расч.}i} y_i)}{\sum_i^n S_{\text{расч.}i}} \quad (5.10)$$

Где  $X_i, y_i$  – координаты центров нагрузки отдельных потребителей;  
 $S_{\text{расч.}i}$  – расчетная мощность на вводе потребителя.

Мощность ТП определяется по формуле:

$$S = \sqrt{(1,06 P)^2 + Q^2}$$

$P$  и  $Q$  – соответственно получасовые максимумы активной и реактивной нагрузок;  
 1,06 – коэффициент, учитывающий потери мощности в сетях (6%).

Мощность трансформаторов (однотрансформаторная подстанция) с естественным масляным охлаждением, для их работы в нормальном режиме рекомендуется выбирать по экономическим интервалам нагрузки с учетом допустимых систематических перегрузок, чтобы выполнялось условие:

$$S_{\text{э.н.}} < S_{\text{расч.}} \leq S_{\text{э.в.}} \quad (5.11)$$

Где  $S_{\text{э.н.}}$  и  $S_{\text{э.в.}}$  – соответственно нижняя и верхняя границы интервалов нагрузки для трансформаторов принятой номинальной мощности;

$S_{\text{расч.}}$  – расчетная нагрузка подстанции.

**Таб.5.3 Интервалы нагрузок для выбора мощности трансформатора с учетом экономических интервалов и допустимых перегрузок.**

Вид нагрузки	Среднесуточная температура воздуха, °С	Интервалы нагрузок при номинальной мощности трансформатора, кВ А				
		63	100	160	250	400
МТФ	- 10- 50	44 – 66				
	+5	47 – 71				

Характер нагрузки оцениваем по соотношению дневного и вечернего максимумов:

если  $\frac{S_g}{S_v} \leq 0,35$ , то нагрузка коммунальная;

если  $\frac{S_g}{S_v} \geq 0,41$  – производственная;

если  $\frac{S_g}{S_v} = 0,36 \dots 1,40$  – смешенная.

Годовое потребление электроэнергии определяют по потребляемой отдельными установками мощностями и годовому числу часов их использования.

Приближенно годовое потребление электроэнергии можно установить по расчетной нагрузке на шинах ТП и годовому числу часов ее использования (кроме сезонных потребителей).

**Таб.5.4 использование расчетного максимума нагрузки**

Расчетная нагрузка, кВ А	Число часов использования при характере нагрузки		
	коммунальная	производственная	смешанная
До 10	1110	1100	1300
10 – 20	.....	.....	.....
20 – 50	.....	.....	.....
Более 500	2100	.....2300	.....3000

## 6. Компенсация реактивной мощности проектах

Работа асинхронных электродвигателей, трансформаторов, дросселей насыщения и других электромагнитных аппаратов и устройств переменного тока сопровождается процессом непрерывного изменения возникающего в них магнитного потока под действием протекающего по цепи переменного тока. При изменении магнитного потока возникает ЭДС самоиндукции, которая препятствует изменению переменного тока, что приводит к его отставанию по фазе от напряжения сети (рис.6.2). Следовательно, самоиндукция является причиной сдвига фаз между током и напряжением, который оценивается коэффициентом мощности или  $\cos\varphi$ .

Мгновенное значение мощности генератора всегда содержит составляющую, которая обусловлена инерцией магнитного потока, то есть противодействием ЭДС самоиндукции, которая называется реактивной мощностью. Реактивная мощность изменяется в течение полупериода переменного тока.

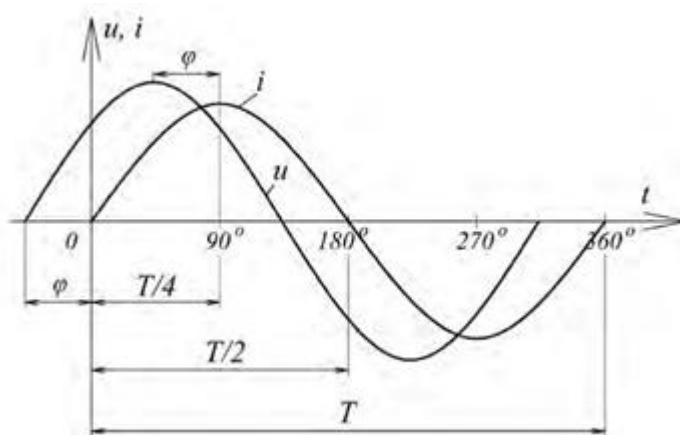


Рис.6.1 Диаграмма сдвига фаз между напряжением и током

В течение первой четверти каждого периода (рис. 6.3), когда ток увеличивается от нуля до наибольшего значения, соответственно растет и магнитный поток. При этом в магнитном поле идет накопление энергии за счет реактивной мощности, поступающей из генератора в цепь потребителя.

В течение второй четверти каждого периода, когда ток и магнитный поток уменьшаются, энергия магнитного поля также уменьшается до нуля, что сопровождается возвращением реактивной мощности из цепи потребителя в генератор под действием встречно направленной ЭДС самоиндукции.

Реактивная мощность, идущая на создание магнитного потока в асинхронных двигателях, трансформаторах и других индукционных аппаратах и электрических устройствах, четыре раза в течение периода меняет свое направление, при этом среднее значение этой мощности за каждый полупериод равно нулю. Характер обмена реактивной мощностью между генератором и цепью потребителя происходит в форме колебательного процесса.

Таким образом, на создание реактивной мощности не требуется расхода активной

мощности в первичном двигателе, который покрывает лишь потери активной мощности в цепи между генератором и потребителем.

Выражение для активной мощности  $P$  можно представить в виде следующего соотношения  $P = S \cdot \cos \varphi$  откуда величина  $\cos \varphi$  определяется:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (6.1)$$

Где  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$  полная мощность, кВА;  $Q$ - реактивная мощность, квар.

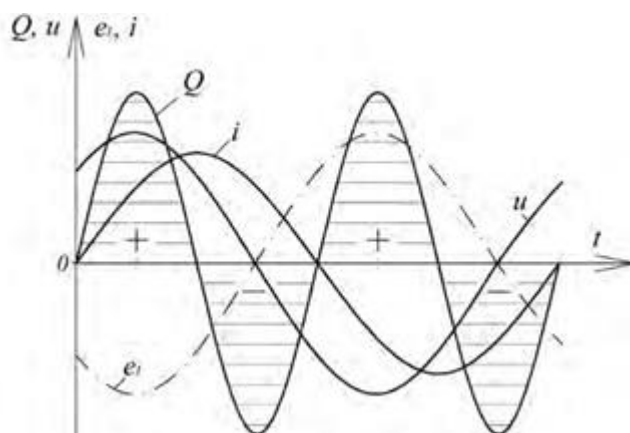


Рис.6.2 Изменение реактивной мощности в цепи с индуктивной нагрузкой

Величина  $\cos \varphi$  показывает, какую часть от полной мощности, вырабатываемой генератором, составляет активная мощность  $P$ . Чем меньше  $\cos \varphi$ , тем меньше активная мощность  $P$  при одной и той же полной мощности  $S$ . Следовательно, по величине  $\cos \varphi$  можно судить о том, какая часть полной мощности  $S$  используется для полезной, например, механической работы.

Как показано в [5], при заданной частоте переменного тока  $f$  потребляемая реактивная мощность  $Q$  увеличивается с ростом магнитного потока и сопротивления пути магнитного потока и уменьшается, если магнитная проницаемость применяемого материала высока. С целью уменьшения сопротивления пути магнитному потоку асинхронные электродвигатели проектируются, по возможности, с минимальным воздушным зазором.

Увеличение объема воздушных зазоров магнитопровода приводит к росту реактивной мощности. Поэтому асинхронные электродвигатели закрытого исполнения и тихоходные, по сравнению с ЭД открытого исполнения и быстроходными одинаковой мощности, потребляют из сети повышенную реактивную мощность  $Q$ .

Основными потребителями реактивной мощности  $Q$  являются асинхронные электродвигатели (до 60 %), трансформаторы (до 20 %), другие индукционные аппараты и воздушные линии (до 20 %).

Асинхронные электродвигатели. Важными энергетическими показателями работы АД являются: коэффициент мощности и потребление реактивной энергии за определенный промежуток времени.



Сдвиг фаз тока и напряжения в цепи асинхронной машины обуславливается наличием в ней реактивной мощности  $Q$ , расходуемой на питание электромагнитных полей двигателя – главного поля, за счет которого происходит передача энергии от статора к ротору, и полей рассеяния обмоток статора и ротора.

Значение  $Q$  определяется изменением запаса электромагнитной энергии, заключенной в этих полях, обусловленных изменением создающего их переменного тока. По реактивной мощности  $Q$ , потребляемой электродвигателем из сети, и его активной мощности  $P$  определяется коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad (6.2)$$

При номинальной нагрузке коэффициент мощности имеет номинальное значение

$$\cos \varphi_H = \frac{P_H}{\sqrt{P_H^2+Q_H^2}} \quad (6.3)$$

Величина номинального коэффициента мощности асинхронных двигателей определяется конструктивными параметрами машины и зависит от номинальной мощности, конструкции ротора, вида применяемого материала, скорости вращения и т.д. С увеличением номинальной мощности электродвигателя активные материалы машины используются лучше, поэтому их объем, приходящийся на 1 кВт, уменьшается. В связи с этим количество энергии, заключенной в электромагнитных полях, и пропорциональная ему реактивная мощность, приходящаяся на 1 кВт, уменьшаются. В результате  $\cos \varphi$  с увеличением мощности электродвигателя растет.

На рис. 6.4 представлены зависимости  $\cos \varphi$  от  $P_n$  для различной частоты вращения  $n$ . Так возрастание  $\cos \varphi$ , заметное при малых номинальных мощностях, по мере роста мощности становится менее интенсивным, а при больших мощностях практически прекращается. Увеличение синхронной скорости двигателей, приводящее к лучшему использованию материалов, а значит к уменьшению реактивной мощности  $Q$ , так же связано с увеличением номинального коэффициента мощности. Разница в значениях  $\cos \varphi_n$  при различных синхронных скоростях тем заметнее, чем меньше номинальная мощность  $P_n$ .

Асинхронные электродвигатели с коротко замкнутым ротором с меньшей величиной приведенного междужелезного пространства и меньшей длиной лобовых соединений на роторе, чем двигатели с фазным ротором, имеют по сравнению с последними больший  $\cos \varphi_n$ . Двигатели с глубокими пазами, имеющие несколько большее рассеяние, обладают меньшим значением коэффициента мощности, чем двигатели с круглыми пазами.

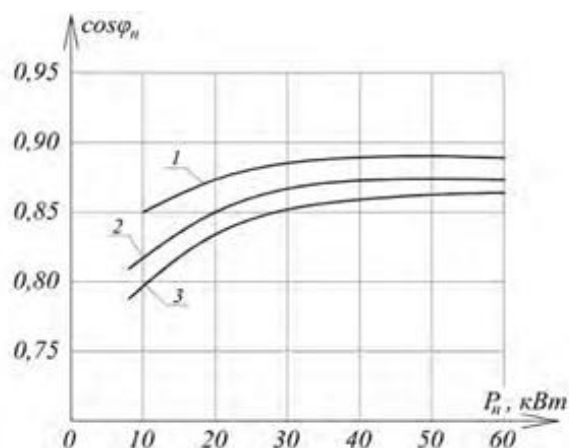


Рис. 6.3 Зависимость  $\cos \varphi_n$  от номинальной мощности и синхронной скорости асинхронного электродвигателя: 1 –  $n=1500$ ; 2 –  $n=1000$ ; 3 –  $n=740$  об/мин

Низковольтные двигатели по причине большей компактности статорной обмотки имеют лучший  $\cos \varphi_n$ , чем высоковольтные.

Коэффициент мощности асинхронного двигателя в сильной степени зависит от его нагрузки. Для оценки влияния нагрузки, а также напряжения на зажимах двигателя на величину  $\cos \varphi_n$  можно представить полную реактивную мощность, потребляемую двигателем, состоящую из двух слагаемых:

- реактивная мощность, связанная с главным полем;
- реактивная мощность, связанная с полями рассеяния.

Реактивная мощность главного поля имеет наибольшее значение при холостом ходе, когда  $E_1$  достигает значения  $U$ . По мере увеличения нагрузки за счет потери напряжения в обмотке статора  $E_1$  уменьшается; одновременно увеличивается  $X$  вследствие имеющего место при этом уменьшения насыщения, связанного с уменьшением магнитного потока. Однако изменения  $E_1$  и  $x$  в пределах значения нагрузок от холостого хода до величины, несколько превосходящей номинальную, не велики, и поэтому реактивная мощность главного поля в этих пределах изменения нагрузки меняется незначительно.

Коэффициент мощности, при холостом ходе вследствие значительной величины реактивной мощности  $Q_{\text{гл}}$  и незначительной активной мощности, обусловленной лишь постоянными потерями, мал. Далее по мере роста нагрузки до некоторого ее значения активная мощность растет быстрее реактивной и  $\cos \varphi$  повышается. При дальнейшем увеличении нагрузки активная мощность растет медленнее реактивной, вследствие чего  $\cos \varphi$  падает. На рис. 6.5 приведены зависимости  $\cos \varphi$  от относительной нагрузки для различных номинальных значений  $\cos \varphi_n$ . На всех кривых виден максимум  $\cos \varphi_n$ , и чем больше он по величине, тем при меньшей нагрузке он имеет место.

При одном и том же моменте нагрузки на валу реактивная мощность, потребляемая асинхронным двигателем, меняется с изменением напряжения. При уменьшении напряжения в случае малых нагрузок полная реактивная мощность падает,

а  $\cos\varphi$  растет. При увеличении напряжения реактивная мощность растет. Так как при снижении напряжения и связанном с ним уменьшением магнитного потока при неизменном моменте нагрузки растет вторичный ток, то одновременно с убыванием реактивной мощности  $Q_{\square}$  главного поля растет реактивная мощность полей рассеяния  $Q_p$ .

На уменьшении подводимого напряжения основан известный метод повышения  $\cos\varphi$  малозагруженных двигателей путем переключения обмоток статора с «треугольника» на «звезду», в результате чего фазовое напряжение снижается в 3 раз.

При малых нагрузках, когда рабочий ток, а вместе с тем мощности полей рассеяния не велики, преобладающее значение в выражении для полной реактивной мощности имеет реактивная мощность главного поля (6.14). В случае значительных нагрузочных моментов преобладающее значение имеет для реактивной мощности полей рассеяния  $Q_p$  (6.13).

В силу влияния насыщения, которое может быть при значительном повышении напряжения, приведенное положение является справедливым лишь для относительно небольших изменений напряжения.

За время разбега расход реактивной энергии больше, чем при номинальной нагрузке в течение того же времени. Это обусловлено тем, что обычно разбег происходит при повышенной величине тока по сравнению с номинальным значением.

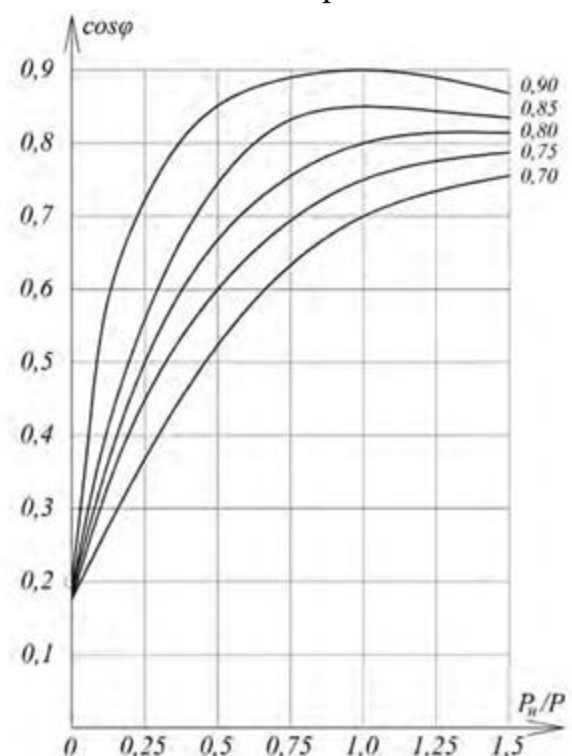


Рис.6.5 Изменение  $\cos\varphi$  асинхронных двигателей в зависимости от нагрузки

В случае двигателя с фазным ротором, пускаемого с помощью реостата, можно получить, что в течение всего времени разбега

$$Q_0 = P_0 \sin \varphi_0 = \text{const.} \quad (6.4)$$

Трансформаторы. Потребляемая трансформаторами реактивная мощность имеет две составляющие: холостого хода или намагничивающую мощность  $Q_0$  и реактивную мощность рассеяния  $Q_p$ .

Первая составляющая пропорциональна квадрату напряжения:

$$Q_\mu \equiv B_M^2 \equiv U^2. \quad (6.5)$$

Вторая составляющая может быть представлена следующим соотношением:

$$Q_p = 3I_2^2 z_k, \quad (6.6)$$

где  $I_2$  – вторичный ток трансформатора, А;  $z_k$  – сопротивление короткого замыкания, Ом.

$$Q_\mu = \frac{i_0 S_H}{100}$$

Где  $Q_\mu$  – реактивная мощность холостого хода трансформатора, квар;  $Q_p$  – прирост реактивной мощности трансформатора при данной нагрузке, квар; прирост реактивной мощности трансформатора при номинальной нагрузке, квар;  $S_H$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;  $i_0$  – величина тока холостого хода, %;

$U_k$  – величина напряжения короткого замыкания, %;  $k_z = \frac{I}{I_H} = \frac{S}{S_H}$  – коэффициент загрузки трансформатора;  $I$  и  $I_H$  – соответственно нагрузочный и номинальный токи трансформатора;  $S$  – мощность трансформатора при данной нагрузке, кВ·А.

Составляющая реактивной мощности холостого хода трансформатора принимается постоянной, не зависящей от его нагрузки.

Потребляемая трансформатором реактивная мощность зависит от коэффициента загрузки трансформатора. Поэтому целесообразно определить коэффициент загрузки трансформатора, который определяется исходя из минимума приведенных активных потерь:

Мгновенное значение коэффициента мощности  $\cos \varphi_m$  обычно определяется фазометром.

На практике часто пользуются величиной средневзвешенного коэффициента мощности  $\cos \varphi$  электроустановки за сутки, неделю, месяц, квартал или год, которая определяется по показателям счетчиков активной и реактивной энергии за соответствующий промежуток времени из соотношений

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{W_p}{W_o}, \quad (6.8)$$

где  $W_p$ , - расход реактивной и активной энергии в течение выбранного времени.

Тогда величина средневзвешенного коэффициента мощности может быть определена, исходя из следующего соотношения

$$\cos\varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\varphi_{\text{ср.взв}}}}. \quad (6.9)$$

Из выражения (7.20) следует, что при передаче одной и той же активной мощности, но при различных значениях  $\cos\varphi$  будут иметь место различные значения тока, причем чем меньше  $\cos\varphi$ , тем больше будет величина тока. Большой ток при передаче одной и той же активной мощности вызывает большую перегрузку трансформатора и линии электропередачи. Неполная загрузка электродвигателя приводит к низкому  $\cos\varphi$ , то есть уменьшению доли использования активного тока и активной мощности и увеличению общего тока (рис. 6.6):

$$I = I_a + I_o, \quad (6.10)$$

Где  $I_o$  и  $I_a$  - соответственно реактивная и активная составляющие тока.

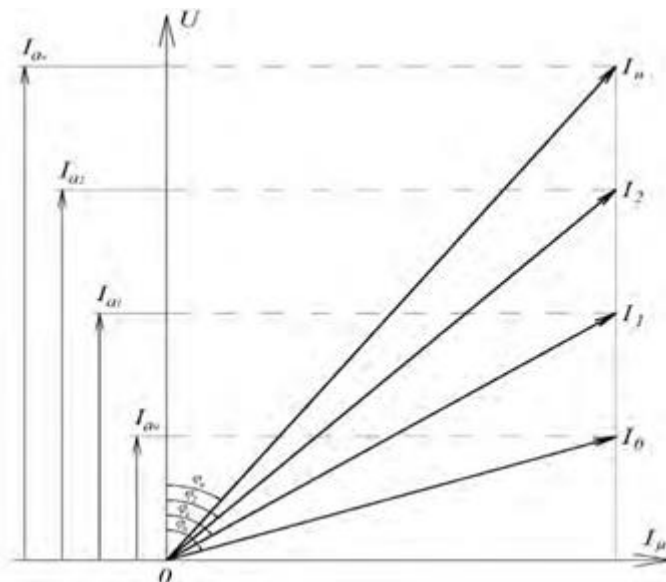


Рис.6.6 Величина активного тока электродвигателя в зависимости от  $\cos\varphi$

Понижение коэффициента мощности косвенно оказывает влияние на КПД первичных двигателей – гидротурбин, дизелей, приводящих в движение генератор.

Мощность приводного двигателя определяется активной составляющей

мощности генератора. При номинальных значениях тока, напряжения и коэффициента мощности, мощность генератора будет равна:

$$P = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi_n \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (6.11)$$

Снижение коэффициента мощности, по сравнению его с номинальным значением, приводит к снижению активной мощности генератора, а следовательно, и к недоиспользованию мощности первичного двигателя. Недогрузка приводного двигателя вызывает его работу с низким КПД.

Например, если генератор мощностью 100 кВт·А работает с  $\cos \varphi_n = 0,8$  то активная составляющая мощности будет равна:

$$P_n = S \cos \varphi_n = 100 \cdot 0,8 = 80 \text{ кВт.}$$

Если этот же генератор работает при  $\cos \varphi = 0,6$ , то активная составляющая мощности составит:

$$P = S \cos \varphi = 100 \cdot 0,6 = 60 \text{ кВт.}$$

Отсюда следует, что с изменением коэффициента мощности первичный двигатель загружается не одинаково, поэтому изменяется его КПД.

Электрические машины и аппараты конструктивно рассчитываются для работы при определенных значениях напряжения и тока. Поэтому их характеризуют не активной мощностью, зависящей от сдвига фаз между напряжением и током, а полной мощностью, представляющей собой произведение действующих значений напряжения и тока, то есть  $S = UI$ .

Низкий  $\cos \varphi$  при передаче одной и той же активной мощности приводит к увеличению полной мощности и удорожанию силовой установки. Например, при активной нагрузке, равной  $P = 100$  кВт и  $\cos \varphi_n = 0,8$ , полная мощность составит:

$$S_n = \frac{P}{\cos \varphi_n} = \frac{100}{0,8} = 125 \text{ кВт·А.}$$

При  $\cos \varphi = 0,4$  и передаче той же активной мощности 100 кВт полная мощность будет равна:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{100}{0,4} = 250 \text{ кВт·А.}$$

Это означает, что при активной мощности 100 кВт и  $\cos \varphi = 0,8$  достаточно установить один трансформатор мощностью 125 кВт·А, в то время как для той же мощности при  $\cos \varphi = 0,4$  потребуется установка двух трансформаторов мощностью по 125 кВт·А каждый или одного трансформатора мощностью 250 кВт·А.

Большая полная мощность вызывает необходимость увеличения размеров пусковой аппаратуры, предохранителей, измерительных приборов, счетчиков, защитных устройств, что также значительно усложняет и удорожает установку в целом.

Низкий  $\cos\phi$  вызывает увеличение потерь энергии в проводах, поэтому высокое значение коэффициента мощности весьма желательно с целью уменьшения потерь при передаче энергии по линиям электропередач.

Мощность потерь в сопротивлении проводов приближенно равна:

$$\Delta P = R_n I^2 = \frac{P^2 \cdot R}{U^2 \cos^2 \phi} \text{ , кВт,} \quad (6.12)$$

где  $P$  – передаваемая мощность, кВт  $R_n$  – сопротивление линии, Ом Из (6.33) следует, что потери мощности обратно пропорциональны квадрату коэффициента мощности приемника энергии.

При данной активной мощности приемника ток в линии тем больше, чем меньше значение  $\cos\phi$  :

$$I = \frac{P}{U \cos\phi} \quad (6.13)$$

Увеличение тока при низком коэффициенте мощности установки связано с необходимостью увеличения сечения проводов и кабелей, что в свою очередь приводит к удорожанию стоимости установки:

$$q = \frac{\rho l \cdot P^2}{\Delta P U^2 \cos^2 \phi} \quad (6.14)$$

где  $q$  – сечение проводов, мм<sup>2</sup>;  $l$  – длина линии, м;  $\rho$  – удельное сопротивление проводов, Ом·мм<sup>2</sup>/м.

При передаче одной и той же активной мощности и при сохранении потерь неизменными сечение изменяется обратно пропорционально квадрату коэффициента мощности. Следовательно, для лучшего использования электрооборудования желательно иметь более высокий коэффициент мощности или меньший сдвиг по фазе тока относительно напряжения. Наилучшее использование оборудования достигается, когда  $\cos\phi$  близок к единице.

## Средства компенсации реактивной мощности.

Для искусственной компенсации реактивной мощности применяются специальные компенсирующие устройства, являющиеся источниками реактивной энергии емкостного характера.

Сущность компенсации реактивной мощности наглядно представлена на рис. 6.7. Рассмотрим схему электрической цепи (рис. 6.7,а). Пусть до компенсации потребитель имел активную мощность  $P$  с током  $I_a$  (отрезок  $OB$ , рис. 6.7,б) и реактивную мощность от индуктивной нагрузки  $Q_L$  с соответствующим током  $I_L$  (отрезок  $BA$ ). Полной мощности  $S_1$  соответствует вектор  $I_n$  (отрезок  $OA$ ). Коэффициент мощности до компенсации  $\cos\phi_1$ . Векторная диаграмма компенсации представлена на рис. 6.7,в. После компенсации, то есть после подключения параллельно нагрузке конденсатора  $C$  мощностью  $Q_K$  (ток  $I_C$ ), суммарная реактивная мощность потребителя будет уже  $Q_L - Q_K$  (ток  $I_L - I_C$ ) и соответственно уменьшится угол сдвига фаз с  $\phi_1$  до  $\phi_2$  и повысится коэффициент мощности с  $\cos\phi_1$  до  $\cos\phi_2$ . Полная потребляемая мощность при той же потребляемой активной мощности  $P$  (ток  $I_a$ ) снизится с  $S_1$  (ток  $I_n$ ) до  $S_2$  (ток  $I_2$ ) (отрезок  $OA'$ ). Следовательно, в результате компенсации можно при том же сечении проводов повысить пропускную способность сети при активной мощности.

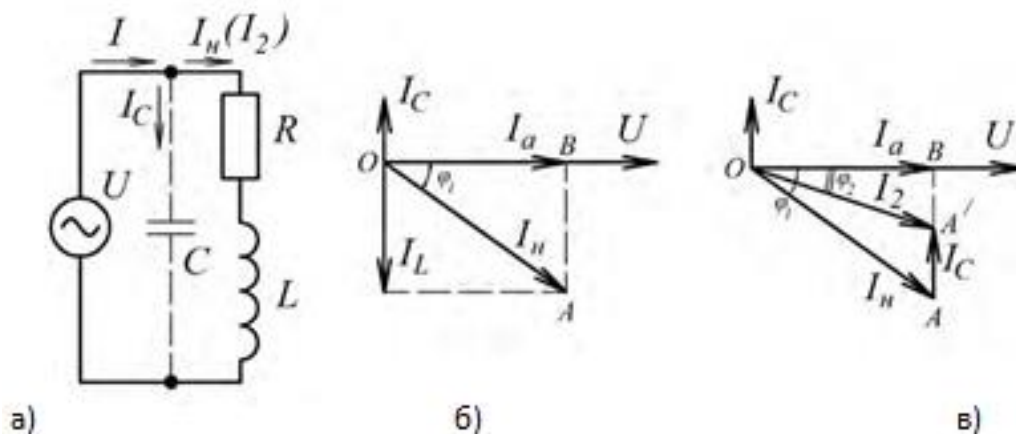


Рис. 6.7 Векторные диаграммы компенсации реактивной мощности

К техническим средствам компенсации реактивной мощности относятся следующие виды компенсирующих устройств: конденсаторные батареи (КБ), синхронные двигатели, вентильные статические источники реактивной мощности (ИРМ).

Среди технических средств компенсации реактивной мощности наибольшее распространение получили конденсаторные батареи – специальные устройства, предназначенные для получения реактивно емкостной мощности. Конденсаторы изготавливают на напряжение 220, 380, 660, 6300 и 10500 В однофазного и трехфазного исполнения для наружной и внутренней установки. КБ разделяют на масляные и совтоловые. При этом, диэлектрическая проницаемость совтола примерно вдвое больше, чем масла. Однако отрицательная допустимая температура составляет  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$



для совтоловых конденсаторов, в то время как масляные могут работать при температуре  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Широкое применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности объясняется их значительными преимуществами по сравнению с другими компенсационными устройствами (КУ): незначительные удельные потери активной мощности до  $0,005\text{ кВт/квар}$ , отсутствие вращающихся частей, простота монтажа и эксплуатации, относительная невысокая стоимость, малая масса, отсутствие шума во время работы, возможность установки около отдельных групп электроприводов и др.

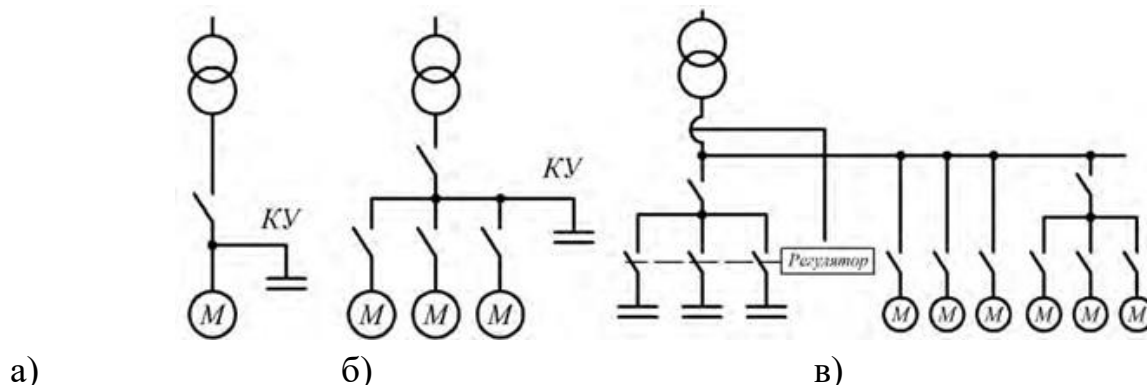
В зависимости от подключения конденсаторной установки возможны следующие виды компенсации:

– индивидуальная или постоянная компенсация, при которой индуктивная реактивная мощность компенсируется непосредственно в месте ее потребления,

что ведет к разгрузке подводящих проводов (рис. 6.8,а). Применяется для отдельных, работающих в продолжительном режиме, потребителей с постоянной или относительно большой мощностью (двигатели, трансформаторы, сварочные аппараты и др.);

– групповая компенсация, в которой аналогично индивидуальной компенсации для нескольких одновременно работающих индуктивных потребителей подключается общий постоянный конденсатор (рис. 6.8,б). Применяется для находящихся вблизи друг от друга электродвигателей;

– централизованная компенсация, при которой определенное число конденсаторов подключается к главному или групповому распределительному шкафу (рис. 6.8,в). Такую компенсацию применяют, обычно, в больших электрических системах с переменной нагрузкой. Управление такой конденсаторной установкой выполняет регулятор-контроллер, который постоянно анализирует потребление реактивной мощности из сети. Такие регуляторы включают и отключают конденсаторы, с помощью которых компенсируется мгновенная реактивная мощность общей нагрузки и, таким образом, уменьшается суммарная мощность, потребляемая от сети.



**Рис. 6.8** Виды компенсации реактивной мощности: индивидуальная (а), групповая (б) и централизованная (в) компенсации

Установка компенсации реактивной мощности состоит из определенного числа конденсаторных ветвей, которые в своем построении и ступенях подбораются исходя из особенностей каждой конкретной электросети и ее потребностей реактивной мощности.

Применение автоматических установок компенсации реактивной мощности позволяет решить ряд проблем:

- снизить загрузку силовых трансформаторов;
- обеспечить питание потребителя электроэнергии по кабелю с меньшим сечением, не допуская перегрева изоляции;
- за счет частичной токовой разгрузки силовых трансформаторов и питающих кабелей подключить дополнительную нагрузку;
- избежать глубокой «просадки» напряжения на линиях электроснабжения удаленных потребителей (водозаборные скважины, стройплощадки, летние дойки и др.);
- максимально использовать мощность автономных дизель-генераторов;
- облегчить пуск и работу электродвигателей;
- исключается генерация реактивной мощности в сеть;
- исключается появление в сети перенапряжения и др.

Установки компенсации изготавливаются из отдельных, расположенных в металлических шкафах, силовых компенсационных модулей, конструкция которых обеспечивает взаимозаменяемость идентичных элементов установки. Сборка и комплектация установок компенсации реактивной мощности производится на предприятии-изготовителе, а на месте их размещения – только монтаж и подключение к потребителю.

Другой вид компенсирующих устройств – синхронные двигатели. Из [5] известно, что при увеличении тока возбуждения выше номинального значения синхронные двигатели (СД) могут вырабатывать реактивную мощность, которую можно использовать для компенсации. Главным отличием СД от асинхронного двигателя является то, что магнитное поле, необходимое для вращения синхронного двигателя, создается, в основном, от отдельного источника постоянного тока – возбудителя. Вследствие этого СД в нормальном режиме ( $\cos\varphi=1$ ) почти не потребляет из сети реактивную мощность, необходимую для создания главного магнитного потока, а в режиме перевозбуждения, то есть при работе с опережающим коэффициентом мощности, может генерировать емкостную мощность в сеть.

Разновидностью СД являются синхронные компенсаторы СК, которые представляют собой синхронный двигатель облегченной конструкции без нагрузки на валу.

В связи с этим компенсаторы, как и служащие для этих же целей батареи

конденсаторов, устанавливаемые на потребительских подстанциях, называют также генераторами реактивной мощности. Однако в период спада потребительских нагрузок (например, ночью) нередко возникает необходимость работы синхронных компенсаторов в недовозбужденном режиме, когда они потребляют из сети индуктивный ток и реактивную мощность, так как в этих случаях напряжение сети стремится возрасти и для поддержания его на нормальном уровне необходимо загрузить сеть индуктивными токами, вызывающими в ней дополнительные падения напряжения. Для этого каждый синхронный компенсатор снабжается автоматическим регулятором возбуждения или напряжения, который регулирует величину его тока возбуждения так, что напряжение на зажимах компенсатора остается постоянным.

Для эффективного использования компенсирующих установок в условиях эксплуатации их оборудуют устройствами автоматического или ручного управления, позволяющими полностью или частично регулировать мощность при наименьших и наибольших нагрузках в энергосистеме. Таким способом улучшается режим работы системы электроснабжения, исключается переком- пенсация, которая может вызвать повышение напряжения в сети и увеличить потери электроэнергии.

Целесообразно использовать возможности автоматического регулирования возбуждения имеющихся на предприятии синхронных двигателей. Устройство автоматического регулирования возбуждения входит в конструкцию СД и позволяет двигателю работать как с перевозбуждением, генерируя реактивную мощность в сеть в часы максимума нагрузок, так и с недовозбуждением, в пе- риод которого СД потребляет из сети реактивную мощность.

Конденсаторные батареи (КБ) мощностью более 150 квар должны быть снабжены регуляторами реактивной мощности. Для этой цели КБ секциониру- ется, обеспечивая ступенчатое регулирование.

Одноступенчатое регулирование мощности КБ, при котором вся мощ- ность конденсаторной батареи включается и отключается в определенное время суток в соответствии с графиком нагрузок или при определенном уровне напряжения в сети, выполняется проще и используется при равномерном гра- фике потребления реактивной мощности.

На предприятиях, имеющих неравномерные графики потребления реак- тивной мощности, применяется многоступенчатое регулирование, при котором становится возможным включение и отключение различного числа секций КБ.

Выбор того или иного способа автоматического регулирования реактив- ной мощности, параметра и схемы регулирования определяется характером технологического процесса и изменением реактивных нагрузок и др. Регулиро- вание может быть по времени суток, уровню напряжения сети, реактивным то- кам в сети и т.д.

На промышленных и сельскохозяйственных предприятиях чаще применяется

автоматическое регулирование по времени суток и уровню напряжения. При регулировании мощности КБ используются регуляторы (контроллеры) компенсации реактивной мощности, например, серии *LSB, LSA, BSA* и др. [22].

Регулирование мощности КБ по напряжению применяется в тех случаях, когда требуется одновременное регулирование реактивной мощности и напряжения, например, при питании электропривода от нерегулируемого трансформатора. В этом случае с увеличением реактивной мощности снижается напряжение и наоборот.

Широкое распространение получило комбинированное регулирование – по времени суток с коррекцией по напряжению. Такие схемы регулирования могут быть применены для одно- и многоступенчатого регулирования. При этом для исключения повторного включения КБ в заряженном состоянии используется задержка по времени, необходимая для полной разрядки конденсаторов.

Для обеспечения безопасности обслуживания отключенных конденсаторов, а так же во избежание включения заряженных КБ требуется применение специальных разрядных резисторов (РС), присоединенных параллельно конденсаторам. При этом включение РС должно производиться без промежуточных разъединителей, рубильников или предохранителей.

Величина РС определяется по формуле:

$$R_{раз} = k_p \frac{U_{\phi}^2}{Q_{КБ}} \cdot 10^6, \text{ Ом}, \quad (6.15)$$

Где  $R_{раз}$  величина сопротивления разрядного резистора;  $k_p$  – поправочный коэффициент,  $k_p \in 1,5 \dots 2,5$ ;  $Q_{КБ}$

реактивная мощность конденсаторной батареи.

Разрядные резисторы должны удовлетворять следующим требованиям:

- быстро, порядка одной минуты, автоматически снижать напряжение на зажимах заряженного конденсатора;
- иметь незначительные потери активной мощности (1 Вт на 1 квар) во время нормальной работы конденсаторов.

## 7. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ХОЗЯЙСТВА-МАКЕТА

### 7.1. Задачи и объем макетного проектирования. Основные показатели по хозяйству-макету для данного района

Макетное проектирование электрификации типового для данного района хозяйства имеет целью определить или уточнить удельные характеристики для проведения расчетов ожидаемых планово-экономических показателей. Таким образом, в проекте хозяйства-макета должны быть подробно рассмотрены задачи по эффективному использованию электрической энергии для производственных целей, планированию вариантов энергопотребления различными объектами, выбору электрических схем управления и электроприводов установок, их автоматизации, проведению технико-экономических расчетов, конструированию и комплектованию отдельных нестандартных устройств [7].

Проект хозяйства-макета включает следующие расчеты:

1. определение, с учетом достижений научно-технического прогресса, комплексов электромеханических и электротехнических средств для объектов растениеводства, животноводства, подсобных предприятий, мастерских, коммунально-общественного хозяйства и индивидуального быта;
2. определение расчетной мощности нагрузки по группам объектов, а также по хозяйству в целом, выбор сечений проводов воздушных линий и внутренних проводок, выбор и размещение распределительных щитков на объектах и расположение источника электроснабжения – трансформаторной подстанции или электростанции;
3. составление суточных и сезонных графиков нагрузок.

При проектировании следует учитывать перспективу развития хозяйства на 7...10 лет и необходимость электрификации несельскохозяйственных объектов, находящихся на территории хозяйства.

В процессе расчетов определяют осветительные, бытовые, силовые и тепловые нагрузки по хозяйству; установленную, максимальную и расчетную мощность потребителей; мощность, число источников питания и их месторасположение; рассчитывают линии напряжением 380/220 В и т.д.

В заключение составляют спецификацию основного технологического и электротехнического оборудования с указанием его стоимости.

В процессе проектирования хозяйства-макета необходимо определить основные показатели электрификации.

*Общая установленная мощность  $P_y$*  электрооборудования характеризует состояние электровооруженности хозяйства:

$$P_y \square P_c \square P_o \square P_{кб}, \quad (7.1)$$

где  $P_c$  – мощность силовых установок;  $P_o$  – мощность осветительных установок;  $P_{кб}$  – мощность коммунально-бытовых электроустановок

*Совмещенный максимум нагрузки* потребителей, подключенных к источнику электроснабжения, определяют по графику нагрузки или расчетному графику, составленному в процессе проектирования.

*Коэффициент спроса*  $K_c$  определяется отношением максимальной мощности  $P_{max}$  к общей установленной  $P_y$

$$K_c \square \frac{P_{max}}{P_y}. \quad (7.2)$$

На показатель  $K_c$  оказывают влияние КПД установок, коэффициенты загрузки машин и каталожной неувязки электродвигателей, потери мощности на линиях, коэффициенты мощности отдельных токоприемников. Чем лучше техническое оснащение сельскохозяйственных объектов, совершеннее машины, тем выше коэффициент спроса.

Для групп коммунально-бытовых и производственных электроприемников мощностью до 3 кВт коэффициент спроса составляет 0,6. При суммарной мощности от 4 до 18 кВт значение  $K_c=0,5$ , от 11 до 20 кВт – 0,45; от 21 до 50 кВт – 0,4; от 51 до 100 кВт – 0,35; более 100 кВт – 0,3.

Коэффициент спроса для осветительной нагрузки небольших зданий производственного характера – 1,0; производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов – 0,95; административных зданий, столовых, библиотек – 0,9; производственных зданий, состоящих из нескольких отдельных помещений – 0,85; конторско-бытовых, лечебных, детских, учебных учреждений и лабораторных зданий – 0,8; складов, подстанций – 0,6.

*Суточное потребление электроэнергии*  $A_{сут}$  (кВт·ч) в зимний, летний, весенний и осенний периоды используют для подсчета примерного годового потребления электроэнергии.

Суточное потребление электроэнергии определяют по графику нагрузки (рис.2.1). Суточный расход энергии  $A_{сут}$  по отдельным процессам можно определить исходя из количества подлежащего переработке материала  $M$  и из удельного расхода электроэнергии на переработку единицы материала  $a$  (кВт·ч/т или кВт·ч/кг):

$$A_{сут}=M \cdot a. \quad (7.3)$$

По графикам нагрузки для всех сезонов можно определить характерное для данного района число часов использования установленной  $P_y$  или максимальной  $P_{max}$  мощности.

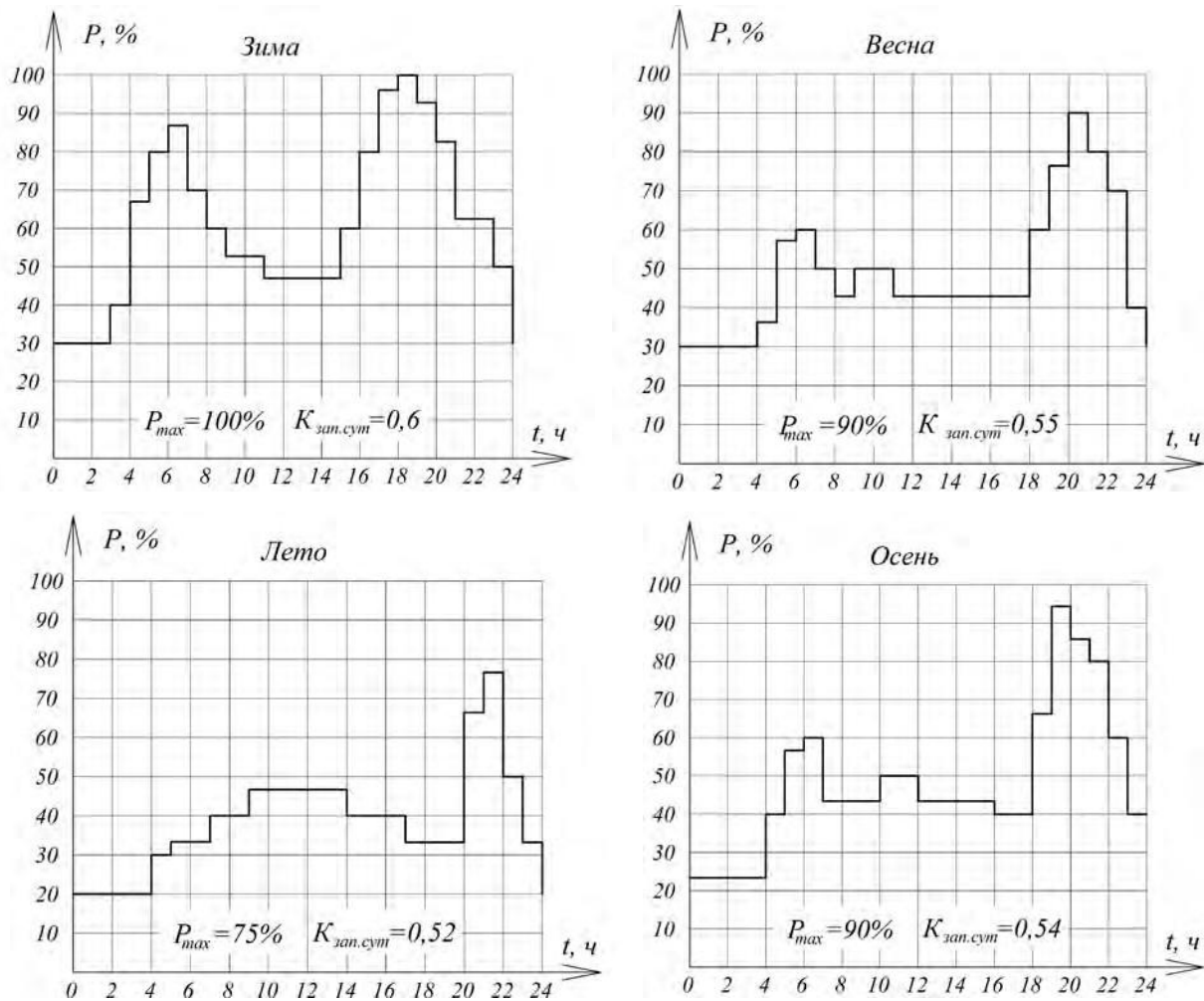


Рис.7.1 Суточные графики нагрузок сельской трансформаторной подстанции

Использование установленной мощности трансформатора  $S_{mp}$  на подстанции характеризуется коэффициентом заполнения графика  $K_{zap.cyt}$ :

$$K_{zap.cyt} = \frac{A_{cyt}}{S_{mp} \cdot \cos \varphi_{mp} \cdot 24} \quad (7.4)$$

Число часов использования установленной мощности:

$$T_y = \frac{A_{год}}{P_y} \quad (7.5)$$

Число часов использования максимальной мощности в году определяются по формуле

$$T_{max} = \frac{A_{год}}{P_{max}} \quad (7.6)$$

Удельный расход электроэнергии на единицу показателя:

$$a = \frac{A}{H} \quad (7.7)$$

где  $H$  – число единиц показателя.

Удельный расход мощности на единицу показателя:

$$P_{уд} = \frac{P_{max}}{H} \quad (7.8)$$

Электрообеспеченность – это мощность силовых трансформаторов, приходящаяся на 100 га пашни (кВ·А/100 га) при общей ее площади  $F$  (га);

$$\mathcal{E}_0 = \frac{S_y \cdot 100}{F} \quad (7.9)$$

Электровооруженность труда определяется как отношение годового потребления электроэнергии к числу работающих:

$$\mathcal{E}_v = \frac{A_{год}}{N} \quad (7.10)$$

где  $N$  – среднее годовое число работающих.

Уровень электрификации – отношение электрических мощностей в хозяйстве к сумме всех мощностей, выраженный в процентах:

$$y = \frac{P_y}{P_{\Sigma}} \cdot 100, \quad (7.11)$$



где  $P_{\Sigma}=P_{э}+P_{м}+P_{т}$  – сумма мощностей электроустановок, механических и тепловых двигателей.

## 7.2. Примерный объем исходных данных при проектировании электрификации хозяйства-макета

Исходные данные при проектировании электрификации представляются следующим образом [7].

1. Название хозяйства и его адрес.
2. Число дворов, домов и жителей.
3. Общая площадь и ее распределение под пашню, огороды, сады, лес, выгон, сенокос.
4. Сведения о культурах и технологии переработки и хранения, оформленные в виде табл.7.1.

Табл.7.1. – Сведения о культурах и технологии переработки и хранения

Наименование культуры	Площадь, га	Урожайность т/га	Валовой сбор, т	Технология переработки и хранения, принятая в хозяйстве

5. Сведения о числе животных и рационе зимнего и летнего дня, оформленные в виде табл.7.2.

Табл.7.2. – Сведения о числе животных и рационе зимнего и летнего дня

Вид животных	Число голов	Суточный рацион на голову на всех животных						Технология переработки, хранения
		зерно	жмых	корне-плоды	силос	сено	солома	

6. Сведения о производственных, общественных и других помещениях, их размерах, размещении на плане хозяйства.
7. План-карта хозяйства с нанесением всех объектов с указанием дорог и расстояний.
8. Стоимость дров, угля или другого топлива в данном хозяйстве, продолжительность отопительного сезона, средние зимние за отопительный сезон и средние минимальные температуры холодного месяца.

Перечень задач, подлежащих решению при проектировании данного хозяйства:

- а) выбрать машины и электропривод к ним;
- б) спроектировать осветительную установку;
- в) составить графики нагрузок по отдельным объектам и по группам объектов, а также по всему хозяйству в целом;
- г) определить место подстанции для имеющихся объектов;
- д) указать целесообразное размещение запланированных к строительству объектов (с точки зрения обеспечения показателей качества электроэнергии);
- е) выбрать мощность трансформаторной подстанции;
- ж) выбрать аппаратуру управления и защиты к электродвигателям;
- з) показать, в каких процессах можно эффективно использовать электроэнергию;
- и) определить удельные показатели электрификации.

## **8. Использование возобновляемых источники энергии в проектах**

### **8.1. Нетрадиционные методы энергообеспечения потребителей**

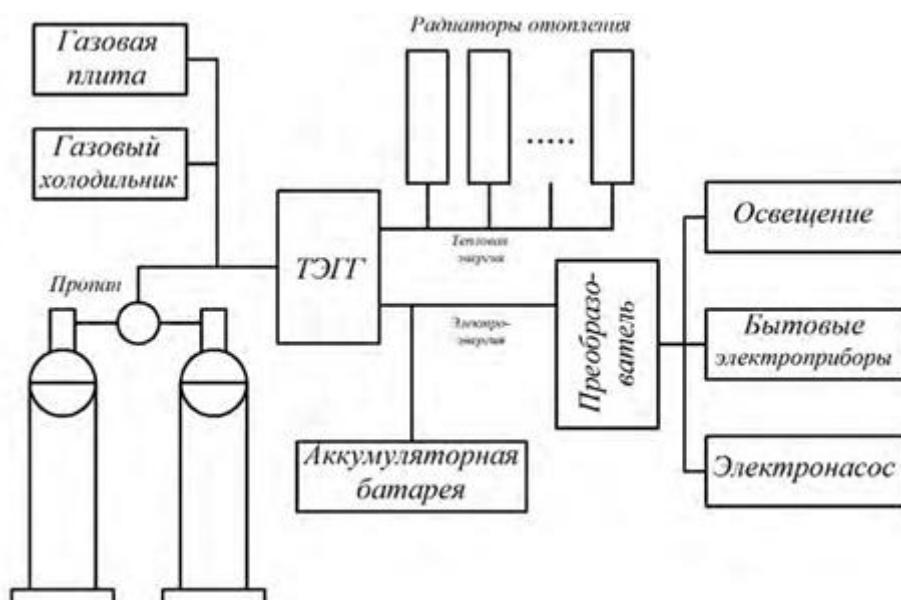
В сельскохозяйственном производстве существуют автономные потребители небольшой мощности, электро- и теплоснабжение которых является технической и социальной задачей. К таким потребителям относятся, в частности, летние жилища пастухов, водопойные пункты на отгонных пастбищах, отдельные жилые дома, в которых проживает обслуживающий отдаленные животноводческие фермы персонал, передвижные домики для рабочих и т.д. Почти все эти объекты, как правило, не имеют централизованного энергоснабжения.

Для электроснабжения автономных потребителей перспективным является использование возобновляемых источников энергии [5].

Однако энергия ветра не может быть использована для электрификации сельхозпредприятий даже в районах с малой плотностью нагрузки, прежде всего, из-за отсутствия гарантий бесперебойного электроснабжения, что является необходимым условием комплексной электрификации объектов отрасли. Установка резервной тепловой электростанции при ветрогенераторах нецелесообразна, так как требует дополнительных капиталовложений и сохраняет проблему доставки топлива. В связи с этим ветроустановки нашли незначительное применение, в частности, для механического привода мельниц и устройств для орошения небольших участков овощных культур и садов.

Реальные перспективы для широкого использования ветродвигателей имеются лишь на объектах, расположенных в труднодоступной местности, в степях, пустынных и полупустынных зонах страны, в первую очередь, для подъема воды из скважин, а в местах с постоянными ветрами – для электроснабжения.

Перспективной представляется схема комплексного электроснабжения объектов АПК, предусматривающая централизованную доставку на объект одного вида энергоносителя, например, сжиженного газа, который используется для получения требуемого количества теплоты и электрической энергии (рис.8.1).



**Рис. 8.1 Структурная схема комплексного энергоснабжения автономного сельскохозяйственного потребителя**

Основным элементом структурной схемы (рис.8.1), вырабатывающим электрическую и тепловую энергию, является газовый термоэлектрический генератор (ТЭГГ), для поддержания работоспособности которого необходимы лишь смена газовых емкостей и внешний осмотр установки. Мощность генератора выбирают в зависимости от суточного потребления энергии всеми электроприемниками объекта АПК. Для обеспечения пиковых нагрузок можно использовать буферную аккумуляторную батарею. При необходимости в схему включают преобразователь постоянного тока в переменный с частотой 50 Гц и напряжением 220 В.

При работе только на производство электроэнергии расход газа установкой мощностью 100 Вт составляет не более 0,4 кг/ч. В случае использования потребителями электрической и тепловой энергии общий энергетический КПД установки может достигать до 70 %.

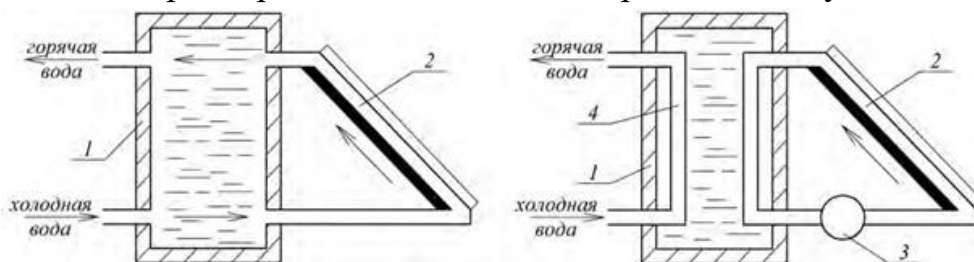
## **8.2. Возможности использования солнечной энергии**

Солнечная энергия во многих странах рассматривается как один из дополнительных энергетических источников.

Наиболее перспективными районами для солнечных установок в нашей стране считаются Северный Кавказ и Нижнее Поволжье. Здесь продолжительность солнечного дня достигает 3000 часов в год, а общая солнечная энергия, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности, за год составляет от 1280 до 1870 кВт·ч.

Солнечную энергию можно использовать для получения низкопотенциальной теплоты для горячего водоснабжения, сушки сельскохозяйственной продукции, отопления жилых помещений, обогрева сооружений защищенного грун-

та, получения электроэнергии в автономных энергетических установках.



**Рис. 8.2 Солнечные нагревательные панели с естественной циркуляцией (а) и двухконтур-ный (б): 1 – бак-аккумулятор; 2 – коллектор; 3 – насос; 4 – змеевик второго контура.**

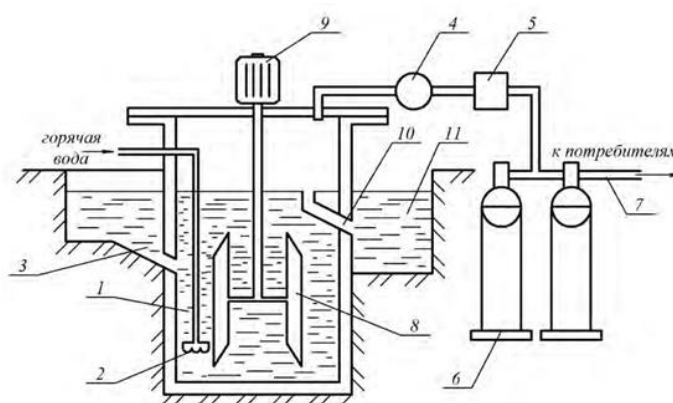
В настоящее время налажен выпуск солнечных нагревательных панелей с естественной циркуляцией (рис.8.2,а), основной частью которых является плоский солнечный коллектор 2, где нагревается вода, поднимаясь затем в бак-аккумулятор 1 для дальнейшего потребления.

В ряде случаев целесообразно применять теплообменник, в котором тепло от нагревательных панелей поступает в змеевик, где часть его расходуется на подогрев протекающей в теплообменнике воды. Такие солнечные нагревательные панели называются двухконтурными с теплообменником.

Использование солнечных нагревателей в весенне-летний период представляется перспективным и в ряде случаев позволяет значительно сократить расходы на получение горячей воды для технологических нужд.

### 8.3. Перспективы использования биогазовых установок

Солнечная энергия, запасенная в биомассе, может быть использована прямым сжиганием биомассы, анаэробным сбраживанием с получением биогаза или пиролизом с получением жидкого топлива.



**Рис. 8.3 Схема биогазовой установки: 1 – бродильная камера; 2 – теплообменник; 3 – за-грузочное устройство; 4 – насос; 5 – фильтр; 6 – газгольдер; 7 – газопровод; 8 – переме- шивающее устройство; 9 – электродвигатель; 10 – выпускное отверстие; 11 – приемник перебродившей массы.**

Биогаз получается при анаэробном сбраживании сельскохозяйственных

отходов, включающих целлюлозу, и содержит 65 % метана, 33 % углекислого и 2 % других газов. Так, из одной тонны навоза при оптимальных условиях можно получить до 340 м<sup>3</sup> биогаза и использовать его в качестве топлива на тепловых миниэлектростанциях.

Схема биогазовой установки представлена на рис.1.3. Через загрузочное устройство 3 жидкий навоз поступает в бродильную камеру 1. Для подогрева массы в холодное время года используется теплообменник 2, выполненный в виде трубки, по которой пропускают горячую воду. Выделяющийся при брожении биогаз концентрируется в верхней части камеры 1, откуда насосом 4 его перекачивают в газгольдер 6 через фильтр 5 и далее по газопроводу 7 к потребителям. Для предотвращения образования в сбрасываемой массе корки, препятствующей выходу биогаза, применяется специальное устройство для перемешивания 8 с приводом от электродвигателя 9 небольшой мощности. Перебродившую массу удаляют через выпускное отверстие 10 в специальный приемник 11.

Применение биогазовых установок, как в небольших фермерских хозяйствах, так и в сельскохозяйственных артелях и кооперативах позволяет снизить затраты на отопление и горячее водоснабжение, а продукты переработки органической массы использовать как высококачественное удобрение.

## **9. Использование в проектах энергосберегающих мероприятий.**

### **Снижение потерь э.э. в потребительских сетях.**

Увеличение протяжённости сельских электрических сетей, ускоренный рост нагрузки электрических сетей по сравнению с увеличением её пропускной способности всё это в комплексе способствует возрастанию потерь Э.Э. в элементах сети.

Потери Э.Э. можно условно классифицировать следующим образом:

- отчётные потери, определяемые как разность между количеством энергии переданной в сеть и количеством энергии проданной потребителям;
- расчётные потери, являющиеся энергией расходуемой в различных элементах сети на нагревание проводов и стали трансформаторов;
- небаланс потерь (коммерческие потери), представляющий собой разность между отчётными потерями, получаемыми суммированием потерь во всех элементах сети.

В составе расчётных потерь электроэнергии в городских сетях можно выделить две составляющие:

- технологически необходимый расход электроэнергии на её передачу и распределение;
- собственно потери энергии.

Первая составляющая должна рассматриваться как необходимые материальные затраты наряду с другими видами расходов связанных с

передачей электроэнергии.

Это потери мощности и энергии в линиях, трансформаторах, электрических измерительных приборах и т.д. Если фактические потери энергии равны технологически необходимому расходу, т.е. экономически обоснованным затратам энергии, то построение сети и режим, её работы и режим работы потребителей являются оптимальными.

Вторая составляющая относится к действительным потерям энергии, т.е. потерям, которые рассматриваются как необоснованные затраты в хозяйстве.

На потери электроэнергии в целом по сети и её элементам в первую очередь влияют следующие основные факторы:

- величине и характер изменения электрических нагрузок потребителей и соответственно элементов сети;
- соотношение активной и реактивной мощности сети;
- построение схем электроснабжения;
- наличие регулирующих и компенсирующих устройств.

Данные осуществляемого электросетевыми предприятиями коммерческого контроля за потоками электроэнергии с помощью электросчётчиков не могут служить исходным материалом для определения потерь электроэнергии в сети и разработки конкретных мер по их снижению. В зависимости от времени фиксации показаний приборов учёта и сроков реализации счетов за энергию значения коммерческих потерь энергии могут существенно измениться. Небаланс потерь электроэнергии в сетях может также возникнуть с связи с отсутствием учёта её у отдельных потребителей или хищением.

Действительные потери, как правило, значительно превосходят технологически необходимый расход электроэнергии.

Снижение расхода может быть достигнуто в результате проведения комплекса мероприятий по общей оптимизации сети, направленных на увеличение её пропускной способности, рост надёжности электроснабжения потребителей, улучшение качества напряжения и повышение технико-экономических показателей работы, в том числе и на уменьшение потерь электроэнергии.

Так как контролировать потери электроэнергии в сети с помощью счётчиков невозможно, действительные потери определяются расчетом. Сложность конфигурации электрических сетей, изменение нагрузки во времени, трудоемкость сбора информации о работе всех участков сети обуславливает многообразие методов таких расчётов. (Наиболее известны: метод времени потерь – разработанный Ленингр. Инж. – экон. Института; метод расчёта по среднему току нагрузки; метод расчёта по эквивалентным

схемам;

расчёт сети 0,4 по типовым схемам).

Рассмотрим методику расчёта потерь мощности и энергии в основных элементах сети.

Общие потери активной мощности в трансформаторе определяются из выражения:

$$\Delta P_{\text{тр-р}} = \Delta P_{\text{ст}} + P_m \beta^2 \quad (9.1)$$

где:  $\Delta P_{\text{ст}}$  – потери активной мощности в стали трансформатора при номинальном напряжении, кВт;

$\Delta P_m$  - то же в обмотках при номинальной нагрузке трансформатора, кВт;

$\beta = S/S_{\text{ном. тр}}$  - коэффициент загрузки трансформатора.

Потери реактивной мощности в трансформаторе состоят из потерь на намагничивание (они практически не зависят от нагрузки) и потерь, обусловленных потоками рассеяния, которые находятся в зависимости от нагрузки трансформатора.

$$\Delta Q_{\text{тр-р}} = \Delta Q_{\text{хх}} + \Delta Q_{\text{р}} \beta^2 \quad (9.2)$$

Значения  $\Delta P_{\text{ст}} = \Delta P_{\text{хх}}$   $\Delta P_m = \Delta P_{\text{к.з.}}$  приводятся в каталогах на трансформаторы;  $\Delta Q_{\text{хх}}$  и  $\Delta Q_{\text{к.з.}}$  определяются по каталожным данным;

$J_{\text{хх}} \cdot S_{\text{ном.тр-р}}$ .

$$\Delta Q_{\text{хх}} = \sqrt{\left(\frac{\quad}{100}\right)^2 - \Delta P_{\text{ст}}^2} \approx (J_{\text{хх}} S_{\text{ном.тр.}}) / 100 \quad (9.3)$$

$U_k S_{\text{ном.тр}}$

$$\Delta Q_{\text{к.з.}} = 3J_{\text{ном.тр.}}^2 X_{\text{тр-р}} \cdot 10^{-3} \approx \frac{\quad}{100} \quad (9.4)$$

Потери активной и реактивной мощности в линиях 3х фазной электрической сети с равномерной загрузкой фаз равны:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3I_{\text{мах}}^2 R_{\text{л}} \cdot 10^{-3} \quad (9.5)$$

$$\Delta Q_{\text{л}} = 3I_{\text{мах}}^2 X_{\text{л}} \cdot 10^{-3} \quad (9.6)$$

Если реактивная составляющая потерь напряжения мала, и ею можно пренебречь, то можно установить связь между потерями напряжения % и мощности, %

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} J_{\text{мах}} R_{\text{л}} \cos \varphi}{U_{\text{ном}}} \cdot 100$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{\Delta P_{\text{л}} \cdot 100}{\quad} = (3 J_{\text{мах}}^2 R_{\text{л}}) \cdot 100 / P_{\text{мах}}$$



$P_{\max}$

тогда  $\Delta P_{1л} = \Delta U / \cos^2 \varphi$  (9.7)

Для определения потерь энергии необходимо знать годовое число часов использования максимума нагрузки  $T_m$  и время наибольших потерь  $\tau$ . Годовое число часов максимума  $T$  можно принимать по специальным таблицам. Годовое число часов использования максимума нагрузки имеет различные значения на разных участках сети, поэтому потери энергии приходится определять для каждого участка сети отдельно, а затем суммировать. Годовое число часов использования расчётного максимума нагрузки приведены отдельно для общей, силовой и осветительной нагрузок. Например, для административного здания с кондиционированием:

- для общей нагрузки  $T_m = 2500 - 3500$  час
- для силовой нагрузки  $T_m = 4400 - 6400$  час
- для осветительной нагрузки  $T_m = 1000 - 1200$  час

Приведём расчётные формулы для определения потерь энергии в трансформаторах:

потери активной энергии, квт. Час  
 $\Delta W_{a,тр-р} = \Delta P_{ст} \cdot t + \Delta P_m \beta^2 \tau$  (9.8)

потери реактивной энергии, квар.ч.  
 $\Delta W_{р,тр.} \approx \frac{J_{xx} S_{ном.тр.}}{100} t + \frac{U_H S_{ном.тр.} \beta^2 \tau}{100}$  (9.9)

Потери активной и реактивной энергии в линиях:

$\Delta W_{a.л.} = 3 I_{2\max}^2 \tau \cdot 10^{-3}$  (9.10)

$\Delta W_{р.л.} = 3 J_{2\max}^2 \tau \cdot 10^{-3}$  (9.11)

Наибольшее время потерь (годовое число часов потерь) определяется из кривых (рис. В.1. Афанасьева, Тульчин) или по формуле:

$\tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760$  (9.12)

Более точно  $\tau$  можно определить, если известны, годовые расхода не только активной  $W_a$ , но и реактивной  $W_p$  энергии. Для этого определяется годовое число часов активной и реактивной нагрузок:

$T_{м.а} = W_a / P_{\max}$  (9.13)

$T_{м.р} = W_p / Q_{\max}$  (9.14)

Полное число часов использования максимума

$T_m = \sqrt{T_{2ма}^2 \cos^2 \varphi_{\max} + T_{2мп}^2 \sin^2 \varphi_{\max}}$  (9.15)

где  $\cos \varphi_{\max} = P_{\max} / \sqrt{P_{2\max}^2 + Q_{2\max}^2}$

$\sin \varphi_{\max} = Q_{\max} / \sqrt{P_{2\max}^2 + Q_{2\max}^2}$

Определение потерь мощности и энергии в линиях с сосредоточенной нагрузкой в конце линии не вызывает трудностей. Однако расчеты значительно усложняются для разветвленных участков. Здесь использование обычных приёмов крайне затруднительно, т.к. на каждом участке изменяются практически все расчётные величины – удельная мощность, годовое число часов использования максимума нагрузки и время наибольших потерь.

Зависимость времени потерь от продолжительности использования максимума.

В практике (в отличие от проектных решений) необходимо чтобы фактические потери соответствовали технологически необходимым, так как только в этом случае режим работы сети будет оптимальным. Однако в сети есть и такие потери, которые следует рассматривать только лишь как необходимые.

При этом действительные потери обычно превышают технологически необходимые. Известно, что на потерю энергии влияют следующие основные факторы:

- значение и характер изменения электрических нагрузок потребителей;
- соотношение активных и реактивных мощностей сети;
- построение схем электроснабжения на всех уровнях напряжения;
- наличие регулирующих и компенсирующих устройств;
- постановка учета расхода электроэнергии и уровень эксплуатации элементов сети.

Как показывает опыт, состояние учета электроэнергии и контроль за состоянием и работой счетчиков (в зданиях) не позволяют использовать данные учета в качестве надежных исходных данных для определения потерь энергии и разработки конкретных мер по их снижению. Это объясняется тем, что в зависимости от времени фиксации показаний приборов учета и сроков реализации счетов за энергию значения коммерческих потерь энергии могут существенно измениться. Поэтому действительные потери приходится определять расчетом на базе электрических измерений в объеме, достаточном для обработки этих данных специальными методами.

Методы расчета потерь энергии в сетях 10кВ и более приведены в учебнике «Тарнижевского М.В., Афанасьева Е.Н., Пути Э.Э. в жилищно-коммунальном хозяйстве-М,Стройиздат,1980». Ознакомимся с методами расчета в существующей сети 0,38Кв, который выполняется с рядом допущений с использованием корреляционной связи между потерями напряжения и мощности. Для этой цели в часы зимнего максимума производят измерения фазных напряжений на шинах 0,4 кВ ТП и в конце части отходящих линий (так называемая случайная выборка) и на их базе устанавливают

обобщенные характеристики совокупности т.е. сети 0,38кВ.

На основании полученных данных определяют среднюю потерю напряжения

$\Delta U_{\text{ср}}$  и затем среднюю потерю мощности

$$\Delta P_{\text{ср}} = 0,75 \Delta U_{\text{ср}}$$

(метод предложен Уральск. Союзтехэнерго)

Потери энергии  $\Delta W\%$  можно определить из выражения

$$\Delta W = \Delta P_{\text{ср}} t / T_{\text{м}}$$

Мероприятия по снижению расхода и потерь электроэнергии.

Мероприятия по снижению потерь энергии подразделены на 2 группы: к первой относятся технические решения, предусматриваемые в проектах электроснабжения и электрооборудования, ко 2-ой мероприятия, осуществляемые в процессе эксплуатации. Из мероприятий 1-ой группы, отметим правильный выбор местоположения ТП и ВРУ, выбор оптимальной схемы сети, количества и расположение питающих и распределительных пунктов и щитков внутри зданий, количество отходящих питающих и групповых линий, мероприятия по резервированию и меры по обеспечению надежности, автоматизации и некоторые другие. Ко 2-ой группе мероприятия по повышению пропускной способности сети прокладку дополнительных параллельных линий или замену существующих проводов и кабелей на проводники большего сечения, перевод сети на более высокое напряжение, в частности с 220/127 на 320/220В, установку компенсирующих и симметрирующих устройств. Перечисленные мероприятия можно отнести к области реконструкции, так как они требуют больших определенных капиталовложений. Ко 2-ой группе относятся и мероприятия не требующие серьезных капиталовложений: выравнивание нагрузок фаз, выбор оптимальных точек токораздела, частичное изменение схемы и конфигурации сети (без прокладки новых линий), оперативное отключение части трансформаторов в периоды снижения нагрузок, поддержание оптимального уровня напряжения в сети путем регулирования на питающих центрах (поднагрузкой) и сезонного регулирования на ТП, правильный учет энергии расходуемой потребителями и т.д. Необходимо отметить, что те мероприятия, при которых обеспечивается минимум приведенных затрат, как правило, обеспечивают и наименьшие потери мощности и энергии во всех элементах сети. Остановимся на некоторых из них и оценим их с точки зрения сокращения потерь во внутренней сети.

А) Существенное значение имеет распределение допустимых потерь напряжения между отдельными участками питающих линий, при которых получаются наименьшие приведенные затраты и потери энергии. Например,

для общественных зданий считается целесообразным: 1) встраивание ТП с совмещенным РУ низкого напряжения и ВРУ здания во всех случаях, когда это разрешено нормами и нагрузки зданий равны или близки к мощности устанавливаемых трансформаторов.

2) по возможности установка только одного ВРУ.

3) укрупнение питающих линий

4) равномерное распределение нагрузок между фазами. Разница в токах не должна превышать в пределах одного щитка 30% и 10 % в начале питающих линий.

5) расчёт 4-х проводных 3-х фазных сетей питания газоразрядных ламп должен выполняться с учётом несинусоидальности кривой тока. При этом сечения нулевых проводов принимаются равными сечениям фазных проводов, а допустимые токи для линий в трубах, коробах и каналах принимаются как для 4-х проводов, проложенных в одной трубе.

б) расположение ТП имеет важное значение, т.е, необходимо чтобы ТП располагалась в энергетически оптимальном месте.  $(x = \sum S_i x_i / \sum S_i$ ;

$$y = \sum S_i y_i / \sum S_i ;$$

в) перевод сетей на повышенное напряжение (220 /127 на 380 \220 или 6 кВ на 10кВ)

г) повышение качества напряжения является эффективной мерой для обеспечения нормального режима работы сети и электроприёмников.

Качество напряжения зависит от многих факторов, в частности от характера и режима работы электроприёмников, баланса реактивной мощности, схемы электроснабжения и режима напряжения в сети высокого напряжения, наличия автоматического регулирования и компенсации реактивной мощности. Для бытовых и общественных помещений и стабильность напряжения приводит к массовому применению автотрансформаторов и стабилизаторов, создающих дополнительные потери энергии, и к преждевременному выходу из строя многих бытовых электроприборов и ламп электрического освещения, особенно ламп накаливания.

Вместе с тем, всё ещё имеются факты ограничения применения устройств РПН на центрах питания или их отсутствие, в результате чего, напряжение в сети в часы наименьших нагрузок повышается на 10-12% по отношению к номинальному, а в часы максимума снижается, что также ведёт к ухудшению работы электроприёмников. Положительную роль в снижении потерь напряжения и энергии играют устройства по компенсации реактивной мощности, но они в свою очередь зависят от регулирования напряжения в сети и сами потребляют определённое хотя и незначительное количество энергии. Кроме того, конденсаторы дефицитны.

Покажем, как увеличиваются потери мощности в зависимости от отклонений напряжений. Если потери активной и реактивной мощности равны соответственно  $\Delta P_{ном}$  и  $\Delta Q_{ном}$ , то при отклонении напряжения от номинального на  $\Delta V_{ном}$ , % потери мощности возрастают и приращение этих потерь составит.

$$\Delta P_{\Delta V_{ном}} = \sqrt{(\Delta V_{ном} K_1 \Delta P_{ном})^2 + (\Delta V_{ном} K_2 \Delta Q_{ном})^2} \quad (9.17)$$

Подставим в формулу (17)  $\Delta Q_{ном} = \Delta P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_{ном}$  получим

$$\Delta P_{\Delta V_{ном}} = \Delta P_{ном} \Delta V_{ном} \sqrt{K_1^2 + K_2^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_{ном}} \quad (9.18)$$

где:  $K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты, характеризующие изменение потерь активной и реактивной мощности при отклонениях напряжения от номинального значения на 1%. Из формулы (18) следует, что увеличение потерь мощности зависит от характеристик нагрузки и уровня компенсации реактивной мощности.

д) снижение неравномерности нагрузки фаз обеспечивает уменьшение потерь энергии в сети. Однако, практически полностью устранить асимметрию невозможно из-за случайного характера включения электроприёмников. Увеличение потерь мощности в линии можно оценить следующим образом.

- Вычисляется среднее значение точка, А:

$$J_{cp} = \frac{J_A + J_B + J_C}{3} \quad (9.19)$$

- Вычисляется коэффициент  $N_{2H}$ :

$$N_{2H} = \frac{J_A^2 + J_B^2 + J_C^2}{3 J_{cp}^2} \quad (9.20)$$

- Определяется коэффициент  $K$ , равный:

1) Для 4-х проводной линии

$$K = N_{2H}(1 + 1,5 R_0 / R_{\phi}) - 1,5 R_0 / R_{\phi} \quad (9.21)$$

2) Для 3-х проводной линии

$$K = N_{2H} \quad (9.22)$$

3) Для 2-х проводной линии  $K$  не имеет физического смысла где:

$R_{\phi}$ ,  $R_0$  – сопротивление фазного и нулевого проводов

Уменьшение потерь энергии при полной ликвидации асимметрии, кВт час:

$$\Delta W_1 = \Delta W_0 (K - 1) \quad (9.23)$$

где:  $J_A + J_B + J_C$  – значение токов в фазах А, Б, С

$\Delta W_0$  – потеря энергии в линии при равномерной загрузке фаз,

кВт.ч

е) перевод сетей на повышенное напряжение

### Рациональное использование трансформаторной мощности

Загрузки многих трансформаторов ТП не превышает (50-60)% от номинальной мощности в части зимних максимальных нагрузок, а в остальное время бывает ещё ниже. В некоторых случаях необоснованно ведется строительство 2-х трансформаторных подстанций 2х250; 2х400 или 2х630 кВА, которые увеличивают постоянные потери в сети. Суточные графики характеризуются снижением нагрузок в точные часы. Отключение на это время значительной части трансформаторов позволили бы снизить потери э.э. на холостой ход.

Увеличения эффективности использования трансформаторов в условиях эксплуатации возможно за счёт.

1) Замены незагруженных трансформаторов трансформаторами меньшей мощности;

2) Отключение трансформаторов на подстанции с 2 трансформаторами в часы минимальных нагрузок;

3) Сезонного отключения трансформаторов;

4) Более широкого применения одно трансформаторных подстанций.

Следует учесть, что оптимальная загрузка трансформаторов составляет 80% от номинальной и выше, т.к. в этом случае имеет место примерное равенство потерь холостого хода и короткого замыкания.

Известно, что оптимальная загрузки трансформаторов, работающих в режиме постоянной нагрузки составляет 75% номинальной и выше, что приблизительно соответствует равенству потерь холостого хода и короткого замыкания.

Замена мало загруженного трансформатора трансформаторами меньшей мощности целесообразна при возможности реализации заменяемого трансформатора.

Снижение суммарных потерь Э.Э. в результате замены трансформаторов трансформаторами меньшей мощности определяют по выражению:

$$\Delta W = (\Delta P_{xx1} - \Delta P_{xx2})\tau_1 + (\Delta P_{k.31}K_{31}^2 - \Delta P_{k.32}K_{32}^2)\tau_2$$

(12)

где:  $\Delta P_{xx1}$ ,  $\Delta P_{xx2}$  потери мощности холостого хода до и после замены трансформатора, кВт,

$K_{31}$  и  $K_{32}$  –коэффициенты загрузки заменяемого и нового трансформаторов;

$\tau_1$  и  $\tau_2$  – время максимальных потерь э.э.

$\tau$  – время, в течении которого максимальный ток нагрузки вызывает такие потери за год.

$$\sum J_k t_k$$

$$\tau = \Delta W_{\max} / \Delta P_{\max} = \frac{\quad}{J_{\max}}$$

На многих предприятиях широко практикуют отключение части трансформаторов на лето. При этом предлагаются следующие критерии. Один из двух и более трансформаторов, установленных на одной ТП, отключают, если их минимальная нагрузка не превышает 45% номинальной мощности. При наличии двух трансформаторов различной мощности, в работе остается тот трансформатор, у которого нагрузка после отключения другого трансформатора составляет 80 – 85% номинальной. При двух трансформаторах одинаковой мощности, установленных на разных ТП, имеющих связь по сети 0,4 кВ, целесообразно отключение одного при максимальной нагрузке, каждого не более 45% номинальной, а для трансформаторов с мощностями, отличающимися на одну ступень-отключение, трансформатора меньшей мощности.

Снижение потерь э.э. можно определить по выражению;

$$\Delta W = T_{\Delta} \Delta P_{xx2} = \left\{ \left[ \frac{\Delta P_{k31} (P_1 + P_2)^2}{P_{H1}^2} - \frac{\Delta P_{k31} P_1^2}{P_{H1}^2} - \frac{\Delta P_{k32} P_2^2}{P_{H2}^2} \right] + \Delta P_{\Delta}'' - \Delta P_{\Delta}^1 \right\} \tau_{\Delta} \quad (9.24)$$

где:  $T_{\Delta}$  – продолжительность отключения трансформатора, ч;

$P_{xx2}$  – потери х.х. отключаемого трансформатора, кВт;

$\Delta P_{k3.1}$ ,  $P_1$ ,  $P_{H1}$  – потери к.з., нагрузка в летний максимум и номинальная

мощность трансформатора оставленного в работе, кВт;

$\Delta P_{k3.2}$ ,  $P_2$ ,  $P_{H2}$  – тоже, отключаемого трансформатора, кВт;

$\Delta P''_{\Delta}$  – потери мощности в линии связи между ТП, при отключении одного

из трансформаторов, кВт;

$\Delta P'_{\Delta}$  – то же, до отключения 2<sup>го</sup> трансформатора, кВт;

$\tau_{\Delta}$  – время максимальных потерь для летнего графика, час.

Задачу по определению целесообразности отключения одного из 2-х параллельно работающих трансформаторов можно решить графически. Рассмотрим схему, рис. 8 а на который показаны две одно трансформаторные п/ст с резервной перемычкой.

Выбор рационального режим работы двух трансформаторов, соединенных перемычкой: а – электрическая схема; б – графическое построение зон определяющих оптимальный режим работы схемы мощностью соответственно  $S_{H1}$  и  $S_{H2}$  ( в общем случае  $S_{H1} \neq S_{H2}$  ) при отключенной перемычке или работа одного из трансформаторов при включенной перемычке.

В первом режиме в какой-то период времени первый трансформатор работает с мощностью  $S_{11}$ , второй – с мощностью  $S_{21}$ . При этом потери мощности будут равны:

$$\Delta P_{(1+2)} = \Delta P_{xx1} + \Delta P_{xx2} + \Delta P_{k31} \frac{S_{11}^2}{S_{H1}^2} + \Delta P_{k32} \frac{S_{21}^2}{S_{H2}^2} \quad (9.25)$$

При переходе ко 2<sup>ому</sup> режиму отключается трансформатор ТП 2 и

включается переключатель. В этом случае потери мощности составят:

$$\Delta P'_1 = \Delta P_{xx1} + \Delta P_{k31} \frac{(S_{11} + S_{21})^2}{S_{H1}^2} + \frac{S_{21}^2 R_{\Pi}}{V^2} \quad (9.26)$$

И наконец, в 3-ем режиме, когда отключен трансформатор ТП 1 и включена переключатель, потери мощности будут равны:

$$\Delta P'_2 = \Delta P_{xx2} + \Delta P_{k32} \frac{(S_{11} + S_{21})^2}{S_{H2}^2} + \frac{S_{11}^2 R_{\Pi}}{V^2} \quad (9.27)$$

При определенных значениях  $S'_{11}$  и  $S''_{21}$  могут стать равными потери мощности в 1-ом и 2-ом режимах, т.е. выражение (14) будет равно выражению (15), при значениях  $S'_{11}$  и  $S''_{21}$  может наступить равенство потерь мощностей в 1-ом и

3-ем режимах, т.е. выражение (14) равно выражению (16). Приравнявая соответственно, правые части выражений (14) и (15), а также выражений (14) и (16), можно получить 2 уравнения, определяющих зависимости  $S'_{11} = f_1(S''_{21})$  и

$$S'_{11} = f_2(S''_{21})$$

Указанные зависимости с небольшим допущением графически имеют вид

$$\text{прямых в координатах } S'_{11} = f_2(S_{21})$$

Указанные зависимости с небольшим допущением, графически имеют вид прямых в координатах  $S_{11}$  и  $(S_{21})$ . Можно также сравнить между собой уравнения, отражающие второй и третий режимы работы схемы (при включенной переключателе работает первый или второй трансформатор).

Рассмотрим построение графиков для конкретных значений  $S_{H2} = 400$  кВА и

$$S_{H1} = 630 \text{ кВА.}$$

Зависимость  $S'_{11} = f_1(S_{21})$  показана прямой ав (рис. 8,б), зависимости  $S'_{11} = f_2(S_{21})$  – прямой cd, полученная при сравнении 2-го и 3-его режимов зависимости  $S'_{11} = f_3(S_{21})$  – прямой ef отрезки  $l_m$  и соответствуют номинальным мощностям трансформаторов.

На графике образовались 3 зоны: 1-ая -  $l_{\text{мое}}$ ; 2-ая -  $l_{\text{опре}}$  и 3-ья -  $l_{\text{амонд}}$ . Режим работы схемы устанавливают в зависимости от того, в какой зоне находится точка с заданными координатами, соответствующими заданным нагрузкам  $S_{11}$  и  $S_{21}$

Например,  $S_{11} = 100$  кВА и  $S_{21} = 200$  кВА. Точка режима расположена в зоне -  $l_{\text{мое}}$ , наиболее выгодна работа только одного трансформатора ТП2;

при  $S_{11} = 300$  кВА и  $S_{21} = 50$  кВА точка лежит в зоне -  $l_{\text{опре}}$  и должен быть включен только трансформатор ТП1, при  $S_{11} = 300$  кВА и  $S_{21} = 200$  кВА точка режима лежит за ломанной амонд и следовательно, целесообразно включить оба трансформатора и отключить переключатель.



Особое значение приобретает вопрос выбора единичной мощности трансформатора. Здесь не следует забывать, что его оптимальная мощность всегда соответствует минимальным приведенным затратам. Поэтому в общем случае выбор мощности трансформаторов производится на основании технико-экономических расчетов, учитывая суммарную расчетную нагрузку объекта, удельную плотность нагрузки и стоимость электроэнергии.

Выбор мощности производят с учетом перегрузочной способности, зависящей в частности, от характера графика нагрузки трансформаторов в доаварийный период его работы. Мощность цеховых трансформаторов рекомендуется выбирать исходя из средней нагрузки в наиболее нагруженную смену. Еще на стадии проектирования следует учесть, что трансформаторы единичной мощности до 630 кВА и 1000 кВА эффективны при малых плотностях нагрузки, в особенности на мелких и средних предприятиях для цеховых подстанций. Однако, при удельной плотности нагрузок 0,2 кВА /м<sup>2</sup> применяются трансформаторы 1600 кВА, и при больших удельных плотностях нагрузки мощность 2500 кВА и выше.

Экономичность эксплуатации трансформаторов тесно связана с коэффициентом загрузки. Поэтому для цехов с 2-х трансформаторными подстанциями и с преобладающей нагрузкой 1<sup>ой</sup> категории коэффициент загрузки рекомендуется принять равным 0,65-0,7; для цеховых одно трансформаторных подстанций, где преобладают нагрузки 2<sup>ой</sup> категории с взаимным резервированием 0,7-0,8; для цехов с преобладающей нагрузкой 2<sup>ой</sup> категории, где имеется возможность использования централизованного резерва трансформаторов, а также для цехов с нагрузкой 3<sup>ей</sup> категории 0,9-0,95. На 2<sup>х</sup> трансформаторных главных понижающих подстанциях (ГПП) и подстанциях глубокого ввода (ПГВ) – при отсутствии резервирования по сетям вторичного напряжения мощность каждого трансформатора не должна быть ниже 0,65-0,7 суммарной нагрузки подстанции на расчетный уровень 5 лет, считая с того года, когда был введен первый трансформатор.

Выбор экономичного места расположения подстанции, непосредственно связано с минимизацией потерь электроэнергии в сетях. Сельские ТП стремятся располагать в центре электрических нагрузок. Для определения центра электрических нагрузок на генплан наносятся координаты оси x и y. Координаты центра электрических нагрузок определяются по формулам:

$$X = \frac{\sum (S_{\text{расч. } i} X_i)}{\sum S_{\text{расч. } i}}$$

$$Y = \frac{\sum (S_{\text{расч. } i} Y_i)}{\sum S_{\text{расч. } i}}$$

где  $x, y$  - координаты центра нагрузок отдельных потребителей

$S_{расч.i}$  – расчетная мощность на вводе  $i$ -го потребителя. Смещение расположения подстанции от центра электрических нагрузок вызывает дополнительные капитальные затраты на строительство ВЛ или кабельных сетей и увеличение соответствующих потерь. На 2-х трансформаторных подстанциях оптимальный режим работы может быть достигнут отключением одного из них при критических нагрузках. Целесообразность отключения одного из трансформаторов решается, как правило, не только с учётом потерь. На 2-х трансформаторных подстанциях оптимальный режим работы может быть достигнут отключением одного из них при критических нагрузках. Целесообразность отключения одного из трансформаторов решается, как правило, не только с учётом потерь в трансформаторе, но и в питающей линии, т.е. в блоке трансформатор-линия. Критическая мощность, при которой такое отключение целесообразно находить по формуле:

$$S'_{кр} = S_{ном} \sqrt{\frac{2\Delta P_{xx}}{\Delta P_{к.з.} + \alpha S_H^2}}$$

где:  $S_{кр}$  – критическая мощность блока, линия- трансформатор, при которой

следует отключить один из трансформаторов, кВа

$S_{ном}$  – номинальная мощность трансформатора, кВа

$\Delta P_{к.з.}$  – потери к.з., кВт

$\Delta P_{xx}$  – потери х.х., кВт

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий параметры линии;  $\alpha = \frac{r\ell}{U^2} \cdot 10^3$ ;

$r$  – сопротивление 1 км линии, Ом;

$\ell$  – длина линии, км;

$U$  – номинальное напряжение линии, кВ

Есть ещё и другой путь, кроме отключения одного из 2-х трансформаторов на 2-х трансформаторной подстанции.

Это установка дополнительного трансформатора малой мощности, способного принимать на себя малые нагрузки в нерабочее время. Это позволит отключить оба мощных трансформатора и сократить потери их холостого хода.

## 9. Экономия электроэнергии в электроприводах

Основными потребителями электроэнергии в сельском хозяйстве являются асинхронные двигатели, доля которых составляет.

Отличительной особенностью асинхронных электроприводов является то, что в маломощных электродвигателях (0,27-5) кВт потребление реактивной мощности достигает (50-80%), а в двигателях мощностью от 5 до 100 кВт средние относительные значения реактивных токов составляет (25-50)%.

В асинхронных электрических двигателях реактивная мощность используется для создания и поддержания вращающегося магнитного поля. Вращающий момент определяется формулой:

$$M = K\Phi I_2 \cos\psi$$

где:  $k$  - постоянная электрического двигателя, зависящая от числа полюсов и

обмоточных данных.

$I_2 \cos\psi$  – активная составляющая тока ротора электродвигателя.

Реактивная мощность (РМ) потребляемая асинхронным электродвигателем, состоит из двух слагаемых реактивной намагничивающей мощности  $Q$  и реактивной мощности полей рассеяния  $Q_p$ :

$$Q_p = 3 \frac{I^2}{X_\mu} = 3I_j^2 \quad (\text{квар})$$

$$Q_p = 3[J_1^2 X_1 + (J_1')^2 X_1'] \quad (\text{квар})$$

где:  $X_\mu$  – реактивное сопротивление стали намагничиваемого электродвигателя, Ом.

$X_1$  – то же, но первичной цепи электродвигателя, Ом.

$X_1'$  – приведенное реактивное сопротивление вторичной цепи электродвигателя,

$I_0$  – ток холостого хода электродвигателя, А

$I_1$  – ток статора машины, А

$I_2$  – вторичный приведенный ток ротора, А

РМ намагничивания можно приближенно найти по паспортным данным: потери в электродвигатели.

Затрачивается на выполнение основного технологического процесса и вспомогательные нужды (освещение вентиляция, внутрицеховой транспорт и прочие). Контролируя расход электроэнергии на вспомогательные нужды, можно существенно снизить её потребление на единицу продукции в целом по хозяйству.

Расход электроэнергии на основное производство определяется непосредственным измерением потребляемой мощности или расчётом, используя данные номинальной мощности агрегатов, коэффициенты загрузки и продолжительности работы за смену, сутки, месяц. Анализ

результатов измерений или расчётов позволяет судить о рациональном применении машин, агрегатов и электрооборудования. При этом необходимо учитывать влияние сезонных факторов, когда потребление электроэнергии на единицу продукции значительно повышается. Следует устанавливать уточнённые удельные нормы расхода электроэнергии на осенне-зимний и весенне-летний периоды.

$$Q_{\mu} = \frac{P_{НОМ} J_0}{\eta_{НОМ} J_{НОМ} \cos \varphi_{НДМ}} \quad [\text{квар}]$$

Аналогично и РМ рассеяния равняется

$$Q_p = \beta^2 \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} \left( \frac{J_0}{J_{НОМ} \cos \varphi_{НДМ}} \right) \quad [\text{квар}]$$

где:  $\beta$  – коэффициент загрузки электродвигателя.

Чем меньше нагружен электродвигатель, тем больше возрастает относительная величина реактивной намагничивающей мощности, в результате чего снижается  $\cos \varphi$  электродвигателя. Значительная часть РМ асинхронного электродвигателя приходится на долго намагничивающей мощности, или реактивной мощности главного поля, значение которой зависит от величины воздушного зазора электродвигателя и составляет (50-80)% от его номинальной РМ.

РМ полей рассеяния при незначительных нагрузках имеет небольшую величину и становится заметной лишь при интенсивном их росте.

Кроме того, полная величина РМ асинхронного электродвигателя зависит от его конструктивного исполнения и частоты питающей сети, что может быть выражено следующей формулой.

$$Q = 0,25 f l B \text{вб} \quad (\text{квар})$$

где:  $f$  – частоты питающей сети, гц;

$B$  – магнитная индукция в железе двигателя, Т

$l$  – боковая поверхность ротора, мм;

$\delta$  – воздушный зазор между статором и ротором, мм

Из выражения видно, что с увеличением магнитной индукции, площади поверхности ротора и величины воздушного зазора реактивная мощность асинхронного двигателя возрастает. Конструктивное исполнение асинхронных двигателей таково, что чем меньше их номинальная мощность, тем больше относительная величина воздушного зазора, а следовательно, тем меньше их номинальный  $\cos \varphi$

При сравнении двух двигателей разной синхронной скорости (но равных мощностей) по формуле:

$$n_0 = \frac{60f - \text{частота}}{p - \text{число пар полюсов}} \quad (9.28)$$

Здесь видно, что чем меньше синхронная скорость, тем больше число пар полюсов, а при наличии большого числа полюсов увеличивается габарит

двигателя, в частности боковая поверхность ротора. В силу этих причин  $\cos\phi$  ном у двигателей с меньшей скоростью вращения меньше, чем у двигателей этой же серии, но имеющей большую скорость вращения.

Таблица 9.1.

Основные энергетические характеристики некоторых двигателей серии

4А

Рном	Номинальные КПД и $\cos\phi$ при оборотах							
	3000 об/мин		1500		1000			
	$\eta$ %	$\cos\phi$	$\eta$ %	$\cos\phi$	$\eta$ %	$\cos\phi$	$\eta$ %	$\cos\phi$
0,25	68	0,77	68	0,65	59	0,62	56	0,65
1,1	77,5	0,87	75	0,81	74	0,74	70	0,68
5,5	87,5	0,91	85,5	0,85	85	0,80	83	0,74
11	88,0	0,90	87,5	0,87	85	0,86	87	0,75
30	90,5	0,90	91	0,80	9,5	0,90	90	0,81
90	92	0,90	93	0,91	92,5	0,89	93	0,85
160	92	0,90	93,5	0,91	93,5	0,90	93,5	0,85

Причины завышенной мощности асинхронных двигателей. Асинхронный электропривод большинства производственных сельскохозяйственных механизмов систематически работают с нагрузкой, в результате чего и без того невысокие энергетические показатели асинхронные электродвигателей снижаются еще больше. Основные причины неизбежных недогрузок электродвигателей:

1) специфика технологических процессов в сельском хозяйстве приводящая к установке двигателей заведомо повышенной мощности, либо к продолжительному холостому ходу двигателей;

2) большой шаг в шкале номинальных мощностей, между отдельными степенями шкалы асинхронных двигателей;

3) тяжелые пусковые условия электродвигателей. Особенности работы асинхронных двигателей под нагрузкой.

Расход электроэнергии зависит от его мощности, продолжительности работы, частоты включений и параметров питающей сети.

Потери в меди зависят от квадрата тока и определяется нагрузкой на валу. Потери мощности в стали состоят из потерь на гистерезис и вихревые токи. Первое из них пропорциональны частоте тока, вторые – квадрату частоты, т.к. частота тока в роторе небольшая 1-4 гц то потерями мощности в роторе можно пренебречь.

$$\Delta R_{ст} = \Delta R_{гист} + \Delta R_{вихр}$$

$$\Delta R_{гист} = f; \Delta R_{вихр} = f^2$$

Учитывая вышесказанное можно считать, что при небольших изменениях напряжения и частоты в питающей сети можно считать потери в стали постоянными и не зависящими от нагрузки. Это и является основной

причиной того, что КПД двигатели снижается при малых нагрузках.

$$\left( \eta = \frac{P_2 \downarrow}{\downarrow P_2 + \Delta P_m + \Delta P_{const} + \Delta P_{mex}} \right)$$

Понижение  $\cos\varphi$  при малых нагрузках также объясняется увеличением удельного веса тока холостого хода (реактивной составляющей).

Что касается механических потерь на трение в подшипниках и на вентиляцию, то их удельный вес весьма мал и их снижение достигается при своевременной смазке трудящихся частей и правильной эксплуатации двигателей. Из сказанного ясно, что незагруженный двигатель расходует относительно больше энергии на 1кВт.час полезной работы. Потери в меди (переменные потери) определяются из выражения:

$$\Delta P_m = \Delta P_{ном.м} K \tag{9}$$

где:  $\Delta P_{ном.м}$  – номинальные потери в меди (при номинальном токе)

$K_3 = P_2/P_{2ном.}$  – коэффициент загрузки двигателя.

Для большинства двигателей отношение постоянных потерь ( $\Delta P_{ст}$ ) к переменным ( $\Delta P_{ном.м.}$ ) при номинальном режиме работы составляет:

- для двигателей общего назначения:

$$\gamma = \Delta P_{пост.}/\Delta P_{перем} \approx \Delta P_{ст} / \Delta P_{ном.м} = 0,5 \div 0,7 \tag{10}$$

- для краповых двигателей:

$$\gamma = 0,4 \div 0,5 \tag{11}$$

Суммарные потери мощности в двигателе определяются из выражения:

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{пост} + \Delta P_{пер} \cdot K_3 \tag{12}$$

В каталоге обычно приводятся кривые зависимости КПД от загрузки, на основании которого легко определить суммарные потери мощности.

Если необходимо разделить потери мощности на постоянные и переменные, то надо определить  $\Delta P_{ном}$  ( для номинального режима), а затем постоянные потери, пользуясь значениями  $\gamma$ (из формул 10 и 11).

Применяемые потери кВт

$$\Delta P_{пер} = \Sigma \Delta P - \Delta P_{пост}$$

(общее количество потерянной электроэнергии зависит от времени работы

электродвигателя, кВт.час,  $A_n = \Sigma \Delta P t$  )

Асинхронные двигатели потребляют из питающей среды реактивную мощность, которая загружает сеть и создают в ней дополнительные потери энергии.

Реактивная мощность определяется по формуле

$$Q = P_{tg\varphi} = \frac{P\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}$$

Для большинства современных двигателей  $\cos \varphi \approx 0,8 - 0,9$

( $tg\varphi \approx 0,45-0,75$ ), значит за каждый киловатт активной мощности асинхронного

двигателя потребляет из сети 0,45-0,75 кварта реактивной мощности.

### Изменения напряжения сети.

а) При понижении напряжения. Посмотрим, как здесь изменяются основные характеристики двигателей. При этом считаем, что привод работает с постоянной нагрузкой  $M_{нагр} = const$ .

Если пренебрегаем падением напряжения в статоре, то можно написать:

$$E_j \approx U \text{ и } \Phi = U$$

При понижении напряжения  $U$ , магнитный поток  $\Phi$  уменьшается, а следовательно уменьшается реактивная составляющая тока.

$J_p = U$  и наоборот, активная составляющая тока  $J_2$ , а в роторе при  $M_{нагр} = const$  возрастает, так как  $M = C_m \Phi$  коэффициент определяемый технический и конструктивный параметрами двигателя.

$$\cos \varphi = \frac{J_{2a}}{\sqrt{J_{2n}^2 + J_p^2}}$$

$\cos \varphi$  возрастает за счёт увеличения на и уменьшения  $J_p$ . Что же касается полного тока, то он возрастает или уменьшается в зависимости от значения  $\cos \varphi$  при номинальном напряжении. Если при номинальном напряжении  $\cos \varphi > 0,7$ , результирующий ток возрастает.

Пример. Двигатель, работает при  $\cos \varphi = 0,8$  при номинальном токе – первое, тогда при  $U = 0,9 U_{ном}$  результирующий ток о.е. будет равен.

$$J^* = \sqrt{\left(\frac{0,8}{0,9}\right)^2 + (0,6 \cdot 0,9)^2} 1,01$$

Т.е. ток при той же нагрузке на валу увеличивается на 4%, а  $\cos \varphi = 0,88$

Отсюда вытекает, что при неполной нагрузке двигателя целесообразно обмотку статора, которая при нормальной нагрузке соединена в  $\Delta$ -к; переключить на звезду. Это приводит к повышению  $\cos \varphi$  и снижению потерь в сети.

При понижении напряжения максимальный и пусковой момент снижаются пропорционально напряжению:

$$M_{макс.} = U^2; M_{пус} = U^2$$

скольжение, при  $M_{нагр} = const$ , возрастает

$$S = S_{НОМ} \frac{I_{НОМ}^2}{I^2} = \frac{1}{I^2}$$

Пусковой ток уменьшается

$$J_{пус} = J_{пусНОМ} \frac{I}{I_{НОМ}} = I$$

б) при повышении напряжения – все происходит обратно сказанному. Но следует учесть, что в двигателях с большим насыщением стали, реактивная составляющая тока может сильно увеличиваться не пропорционально напряжению, что приводит к резкому снижению.

$$\cos \varphi = \frac{Ja \uparrow}{\sqrt{J^2 \uparrow + Ja^2 \uparrow}}$$

Все эти соображения были приведены из предположения, что  $M_{нагр} = const$

независимо от числа оборотов (поршневые насосы, станки и т.д.)

Но есть и установки с вентиляторным моментом (центробежные насосы, вентиляторы)  $M_{нагр} \equiv n^2$ ;  $P \equiv n^3$

Здесь уже нельзя считать  $M_{нагр} = \text{const}$ , т.к. с изменением напряжения меняется и число оборотов.

Изменение частоты. Рассмотрим влияние  $f$  на основные характеристики асинхронного двигателя при  $M_{нагр} = \text{const}$

Изменение частоты в сети при неизменном напряжении обуславливает соответствующее изменение магнитного потока, так как известно, что

$$\text{const} = I \approx E_1 = C_e f \Phi$$

При уменьшении  $f$  поток  $\Phi$  увеличивается и следовательно пропорционально увеличивается реактивная составляющая тока, а при высоком уровне насыщения стали в машине реактивная составляющая может увеличиться ещё больше, результате  $\cos\phi$  ухудшается и возрастут потери в сети. При увеличении потока несколько возрастут потери в стали, так как они пропорциональны индукции в квадрате  $B^2$ , а частоте – в степени 1,5-1,6 ( $f^{1,5}$ - $f^{1,6}$ ).

Надо учитывать и некоторое снижение мощности, т.к. с уменьшением частоты вращения несколько ухудшаются условия вентиляции двигателей.

В принципе же мощность снижается пропорционально уменьшению частоты

$$P_1/P_2 = f_1/f_2$$

Из сказанного видно, что КПД машины при уменьшении частоты ухудшается.



## 10. ПКЭ в процессах хранения и переработки

### 10.1. Анализ технологических процессов

Технологическая часть, разделы отопления, вентиляциями и холодоснабжения разработаны для районов с расчетной температурой наружного воздуха минус 20<sup>0</sup> С.

В состав помещений хранилища входят четыре изолированные секции для хранения фруктов, цех товарной обработки и бытовые помещения.

Фруктохранилища предназначается для приёмки хранения товарной обработки, тасования и отправки фруктов в торговую сеть.

Доставка фруктов – в ящиках: по железной дороге 50 % и автотранспортном 50 %.

Вместимость хранилища 825 тонн.

Холодоснабжение хранилища осуществляется холодильное – нагревательными машинами ХМФ-32, работающими в автоматическом режиме.

Результаты применения научно – технических достижений в строительных решениях.

В данном проект разработана современная технология и экономичное объемно – планировочное решение здания хранилища.

Применены:

- облегченные тонкостенные профили каркаса заводского изготовления;
- прогрессивная технология хранения продукции в таре, в условиях искусственного охлаждения, обеспечивающая наилучшую сохранность фруктов;
- повышенный уровень механизации пагрузочно – разгрузочных работ.

Общая часть

Основные положения по организации строительства, фруктохранилища из легких металлических конструкций вместимостью 800 т единовременного хранения в таре на поддонах разработаны на основании проектно-сметной документации в соответствии с требованиями СНиП 3.01-0185.

Условия строительства

Рельеф спокойный, грунты основная непучинистые, непосадочные. Грунтовые воды отсутствуют. Расчетная сейсмичность – до 6 баллов. Расчетная температура наружного воздуха – минус 40<sup>0</sup>. ветровая нагрузка 55 кгс/м<sup>2</sup>, снеговая нагрузка 100 кгс/м<sup>2</sup>. нормативная глубина промерзания не более 1,5м.

Характеристика объекта строительства

Фруктохранилище представляет собой полносборное здание из элементов заводского изготовления. Каркас из легких металлических конструкций. Здание фруктохранилища состоит из камер для хранения фруктов, грузового коридора, цеха товарной обработки и навесов. В поперечном направлении здание

представляет собой 3<sup>x</sup> пролетную раму 19,2 м+6,0+19,2м. высота до низа подвесного потолка – 6,48 м.

Технология производства

Фруктохранилища предназначается для приёмки, хранения, товарной обработки, фасования и отправки фруктов в торговую сеть. Вместимость фруктохранилища определена по яблокам и составляет 800 тонн.

Работа принята в одну-две смены.

Строительство фруктохранилища предусматривается на территории действующей на которой имеются автовесовая, проходная, лаборатория, склад тары, ремонтная мастерская, кладовая запчастей, зарядная электропогрузчиков и трансформаторная подстанция.

Технология и механизация приема, хранения и обработки

Доставка фруктов производится 50 % по железной дороге и 50 % автотранспортом.

Поступление фруктов в таре, ящиках на поддонах.

Взвешивание продукции производится на железнодорожных весах железнодорожной станции и автомобильных весах фрукты базы. Контрольное взвешивание на платформенных весах РП2Ш-13Б, размещенных на разгрузочных платформах.

Контроль качества яблок при приемке, хранении и реализации возлагается на лабораторию, находящуюся на территории фрукте базы.

Разгрузка транспорта осуществляется с помощью роликовых РД – 50 и электропогрузчиков ЕВ-687-22-11, штабелирование продукции в камерах хранения производится электропогрузчиком ЕВ-687-22-11, штабелирование продукции в камерах хранения производится электропогрузчиком ЕВ-687-45-11 фирмы «Балканкар».

Хранения фруктов предусмотрено в 4-х камерах, с искусственным охлаждением.

Температурный режим в камерах хранения – 1<sup>0</sup>С...+4<sup>0</sup>С относительная влажность 85-95 %.

Хранения фруктов предусмотрено в ящиках из по ГОСТ 13359-84 вместимостью 25 кг, сформированных в грузовые пакеты на плоских и стоечных поддонах, в местимосью 500 и 300 кг.

Высота складирования пакетов в штабели – 4310 м; 5460 мм.

Порядок укладки грузов в камерах и зазоры между штабелями приняты в соответствии с «Межотраслевой и инструкцией по определению емкости холодильников».

Переборка и фасовка фруктов осуществляется в цеха товарной обработки производительностью 7,0 тонн в сутки; 1638 тонн в год (по яблокам).

Фрукты поступают в цех из камер хранения. В цехе установлен комплект оборудования для фасования яблок в полиэтиленовую сетку весом по 1,5 кг, состоящий из конвейера ленточного инспекционного А9-КТФ, транспортёра – питателя ЛРЛ-400.06, весов полуавтоматических для расфасовки фруктов ДОФ-5, машины для упаковки фруктов МУ, и конвейер ленточный инспекционный А9-КТФ для переборки яблок с последующей укладкой их в ящики №3 по ГОСТ 13359-84, емкостью 25 кг; выпускаемые отечественной промышленностью.

Яблоки, расфасованные в полиэтиленовую сетку, укладываются в шкафы торговые передвижные.

Теплоснабжение, отопление и вентиляция

Проект фруктохранилища вместимостью 800 т разработан в соответствии с технологическим заданием; архитектурно – строительными чертежами; строительными нормами и правилами СНиП II-33-75; СНиП II -92-76; СНиП II-105-74; «Общесоюзных норм технологического проектирования зданий и сооружений для хранения и разработки фруктов» ОНТП-6-80, санитарных норм и правил СН-245-71.

Расчетная зимняя температура для проектирования – 20<sup>0</sup>С.

Теплоснабжение предусмотрено от сетей базы. В здании расположен тепловой ввод, от которого осуществляется распределение тепла по видам потребителей.

Располагаемый перепад на вводе принят не менее 12 м, водяного столба.

Теплоноситель для систем отопления и теплоснабжения принята вода 150-70<sup>0</sup> С.

Для производственных и вспомогательных помещений отопление предусматривается радиаторами стальными панельными типа РСГ 2.

Расход тепла на отопление и вентиляцию приведен на листе ОВ-1.

Вентиляция бытовых и вспомогательных помещений принята приточно – вытяжная с механическим побуждением.

Для цеха товарной обработки – естественная через открывающиеся створки окон.

Водоснабжение и канализация

Водоснабжение

Источником водоснабжения является внутривозрадный хозяйственно-питьевой и противопожарный водопровод хозяйства, обеспечивающий фруктохранилище по расходу и напору.

Вода для хозяйственно – бытовых и производственных целей должна отвечать требованиям ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая». Потребный напор принят 18 м.

Наружное пожаротушение обеспечивается от сети хозяйства. Согласно СНиП 2.04.02-84 п 2.16 расчетный расход воды на наружное пожаротушение принят 30 л/сек (9871м<sup>3</sup> объем здания), степень огнестойкости V, категория Д, В.

В здание предусмотрен один ввод Д-100 мм из чугунных напорных раструбных труб.

На вводе в здание устанавливается задвижка.

Внутренняя сеть запроектирована из стальных водогазопроводных легких труб Д-15-100 мм.

Согласно временным нормативам по проектированию зданий из ЛМК по хранению и обработке фруктов п.ч.1 предусматривается внутреннее пожаротушение через пожарные краны из расчета 2 струи по 2,5 л/сек.

Вода в здании расходуется на хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные нужды.

Проектом предусматривается устройство одной системы водоснабжения. Расчетные расходы воды приведены в общих данных.

Горячая вода требуется для мытья руки душевых. Горячая вода обеспечивается от сетей хозяйства. Нормы расхода воды приняты по СНиП. Приведены расходы в общих данных.

Канализация.

В здании фруктохранилища запроектирована хозяйственно – фекальная канализация от санузлов и душевых и производственная от цеха товарной обработки фруктов, от мытья полов и оборудования.

Расход стоуных вод приведен в общих данных. Сеть канализации прокладывается из полиэтиленовых труб. Выпуски из чугунных канализационных труб.

Электротехническая часть

Электроснабжение проектируемого склада определяется при привезке проекта.

Электроприёмники склада относятся:

- к I категории – приборы охранной и пожарной сигнализации, эвакуационное освещение;

- ко II категории – холодильные машины;

-к III категории – остальные электроприёмники.

В качестве вводно – распределительного устройства приняты щиты типа ВРУ 1 в качестве силовых распределительных щитов;

- щиты типа ШР 11 с предохранителями и отключающим рубильником.

Силовые электроприёмники в основном поставляются комплектно с пусковой аппаратурой. К токоприёмникам, не укомплектованными пусковой аппаратурой, предусмотрены магнитные пускатели типа ПМЛ.

Проектом предусмотрено общее равномерное и эвакуационное освещение помещений.

В складских помещениях к установке приняты светильники с лампами накаливания, в производственных и административно – бытовых – светильники с люминесцентными лампами, А дебаркадерах – с ртутными лампами.

Питающие силовые, распределительные сети и сети освещения выполняются кабелем марки АВВГ, прокладываемым открыто по конструкциям и на тресе, а также проводом АПВ, прокладываемым в винипластовых трубах в подготовке пола.

#### Автоматизация

Проектом предусматривается поддержание температурного режима в каждой из 4-х камер хранения продукции.

В каждой камере установлена холодильная машина ХМФ-32. приборы и средства автоматизации выпускаются отечественной промышленностью.

Заводской схема автоматизации холодильной машины обеспечивает:

1. Автоматическое поддержание температуры в камерах  $-1^{\circ}\text{C} \dots 4^{\circ}\text{C}$ .
2. Автоматическую защиту холодильной машины от аварийных режимов работы.
3. Защиту продуктов от подмораживания.
4. Оттаивание воздухоохладителей горячими парами хладона.
5. Периодическое перемешивание воздуха в холодильной камере.
6. Предусмотрена аварийная и рабочая световая сигнализация.

Схема автоматизации обеспечивает отключение вентиляции при срабатывании автоматической пожарной сигнализации.

Цепи управления прокладывается кабелями с люминисвыми жилами, цепи измерения температуры – медными проводами в стальных трубах.

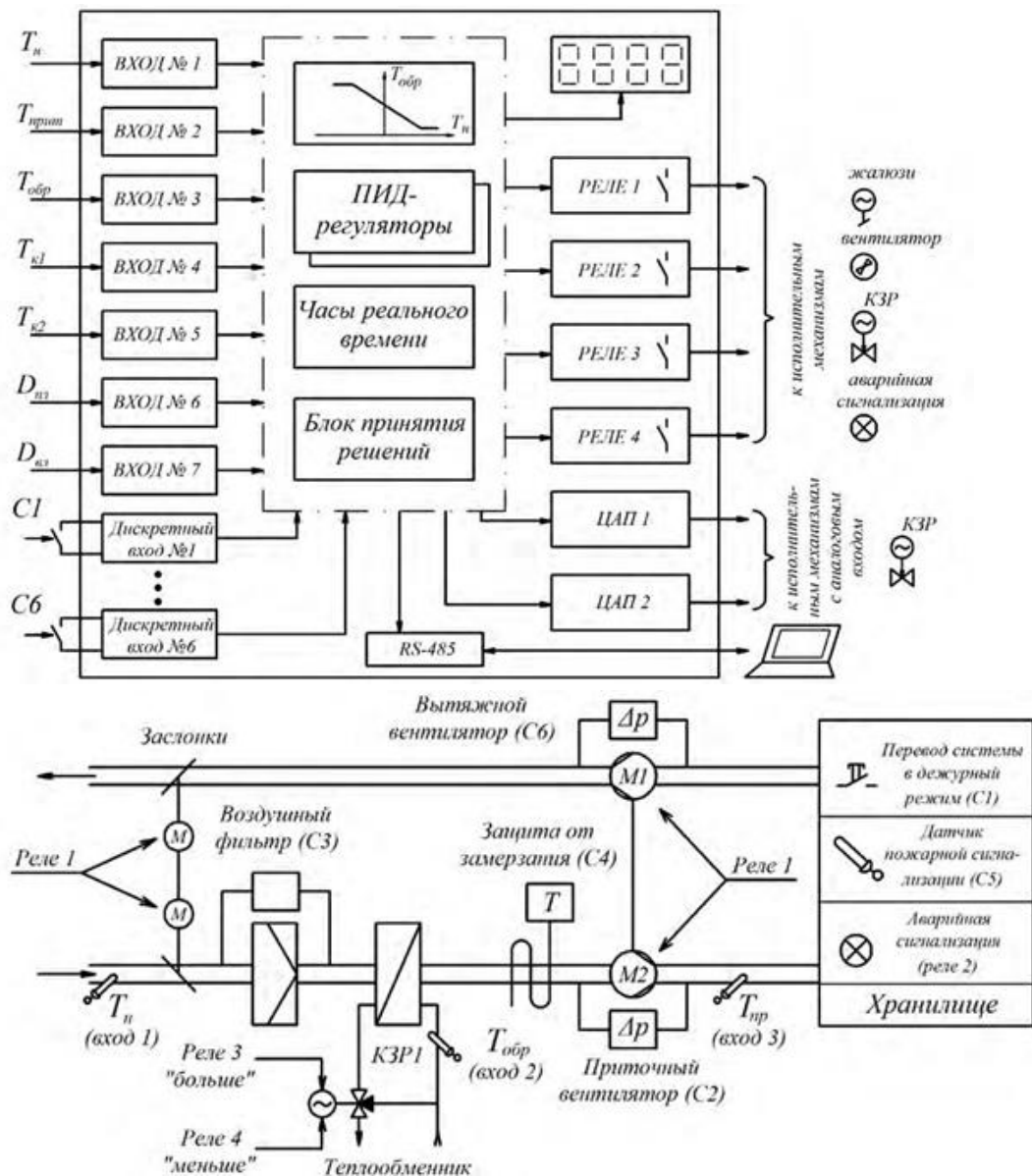
Все металлические части, нормально не находящиеся под напряжением, необходимо занулить, если источник питания с изолированной нейтралью.

## **10.2. Автоматизация процессов хранения сельскохозяйственной продукции**

Технология хранения сельскохозяйственной продукции включает в себя процессы подогрева, охлаждения и увлажнения для предохранения продукции от переохлаждения, самосогревания и обезвоживания. Нарушения в технологии хранения оборачиваются большими потерями продукции.

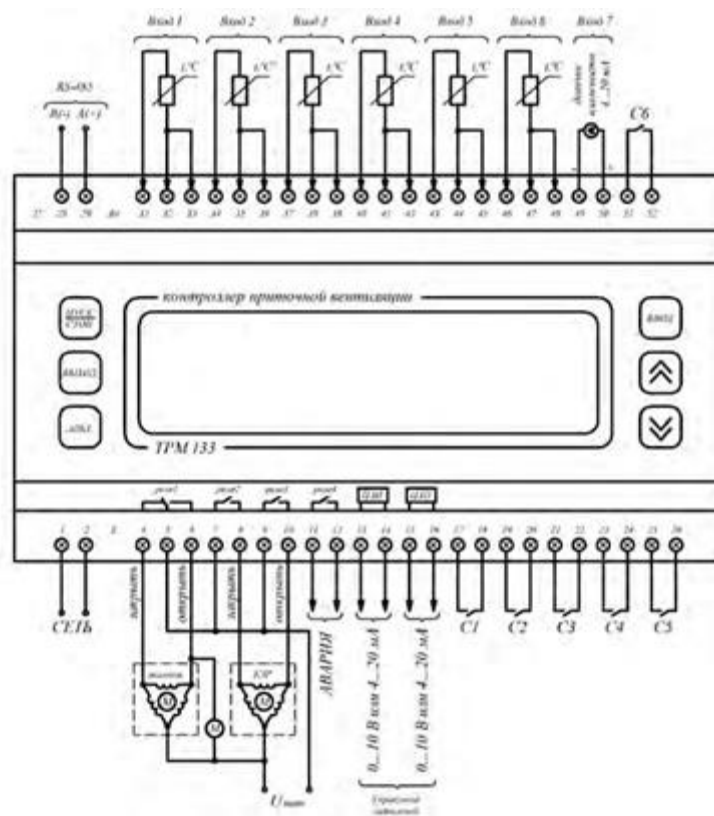
Сохранность продукта зависит главным образом от температурного режима в хранилище. Применение контроллера приточной вентиляции типа «ОВЕН ТРМ-133» (рис.5.56) позволяет поддерживать требуемую

температуру в помещении для хранения продукции с заданной степенью точности [7; 10-12].



**Рис. 10.1** Функциональные схемы контроллера приточной вентиляции (а) и САР температуры в помещении для хранения сельскохозяйственной продукции (б)

Микропроцессорное устройство имеет 7 универсальных входов, к которым можно подключать датчики различных типов, например, термосопротивления ТСР 50П, ТСМ 60М; термопары ТХК (L), ТХА (К); датчики с унифицированным выходным сигналом тока 0...5 мА или напряжения 0...1 В; датчики положения задвижки – резистивные или токовые (рис.5.57).



**Рис. 10.2** Схема подключения контроллера приточной вентиляции

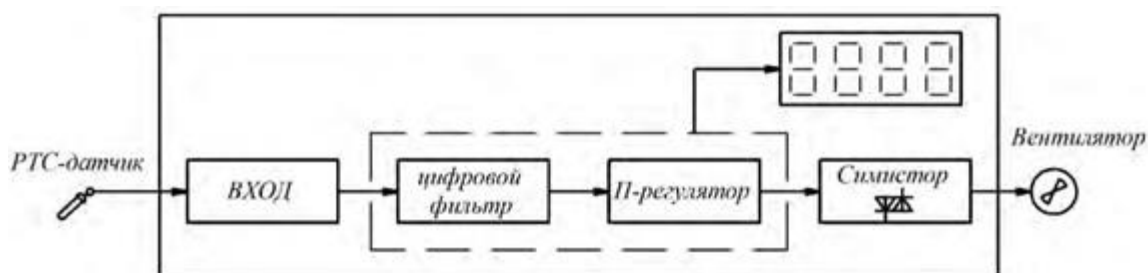
Дискретные входы  $C1...C6$  диагностируют исправность системы вентиляции и переключают режимы, и предназначены для подключения датчиков:  $C1$  – коммутирующее устройство для дистанционного перевода системы в дежурный режим;  $C2$  – датчик контроля исправности приточного вентилятора по потоку воздуха;  $C3$  – датчик контроля засорения фильтра приточного (вытяжного) вентилятора;  $C4$  – датчик перевода системы в режим защиты калорифера от замерзания;  $C5$  – датчик пожарной сигнализации;  $C6$  – датчик контроля исправности вытяжного вентилятора.

Для управления вентилятором, жалюзи, калорифером и аварийной сигнализацией контроллер оснащен встроенными выходными элементами: электромагнитными реле и цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП) для управления исполнительным механизмом с аналоговым управлением. При этом регулятор может управлять задвижками как с датчиком положения, так и без него по математической модели, заложенной программой.

Благодаря использованию в контроллере ПИД-закона регулирования и современному алгоритму автонастройки достигается высокая точность поддержания температуры приточного воздуха и обратной воды. Кроме того, используются несколько контуров ПИД-регулирования, что позволяет гибко настраивать прибор для работы в разных режимах.

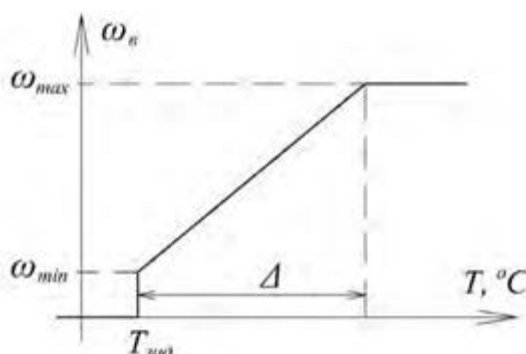
При организации хранения картофеля и овощей температура в помещении не должна превышать  $2...5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В этом случае для обеспечения заданного значения

параметра в осенне-зимний период, применяют регулятор скорости вращения вентилятора в зависимости от температуры в помещении (рис.5.58).



**Рис. 10.3** Функциональная схема регулятора скорости вращения вентилятора в зависимости от температуры

Температура в хранилище  $T$  измеряется с помощью датчика температуры (РТС-датчик), например, полупроводникового термистора, и подается на П-регулятор, который, в свою очередь, поддерживает заданное значение параметра  $T_{зад}$  путем изменения скорости вращения  $\omega_v$  вентилятора. При этом, чем выше температура в хранилище, тем быстрее вращается вентилятор (рис.5.59). Крутизна характеристики определяется полосой пропорциональности  $\square$  регулятора (дифференциалом) и задается оператором при программировании. Таким образом, температура воздуха в помещении поддерживается автоматически за счет изменения количества теплого внутреннего воздуха, подмешиваемого к холодному наружному.



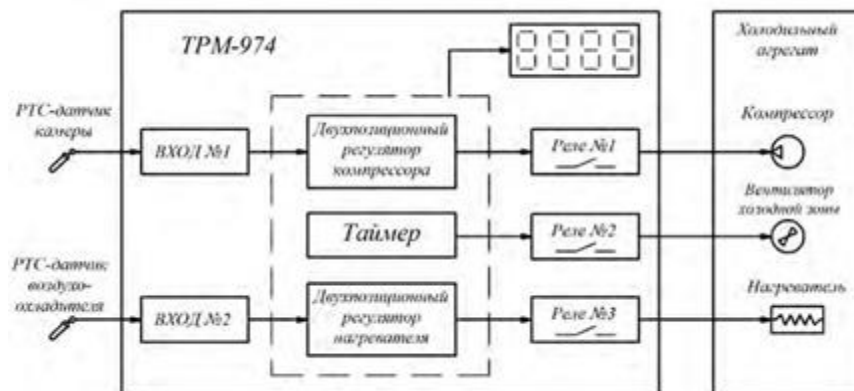
**Рис. 10.4** График зависимости скорости вращения вентилятора от температуры

Снижение температуры до значения, определяемого уставкой и дифференциалом, приводит к остановке вентилятора. В случае дальнейшего уменьшения контролируемого параметра автоматически включаются рециркуляционно-отопительные агрегаты.

При хранении мясной и молочной продукции важное значение имеет контроль температуры в холодильных и морозильных агрегатах. В настоящее время на перерабатывающих предприятиях применяют блок управления средне- и низкотемпературными машинами с автоматическим размораживанием типа «ОВЕН ТРМ-974». Функциональная схема САУ температуры в холо-

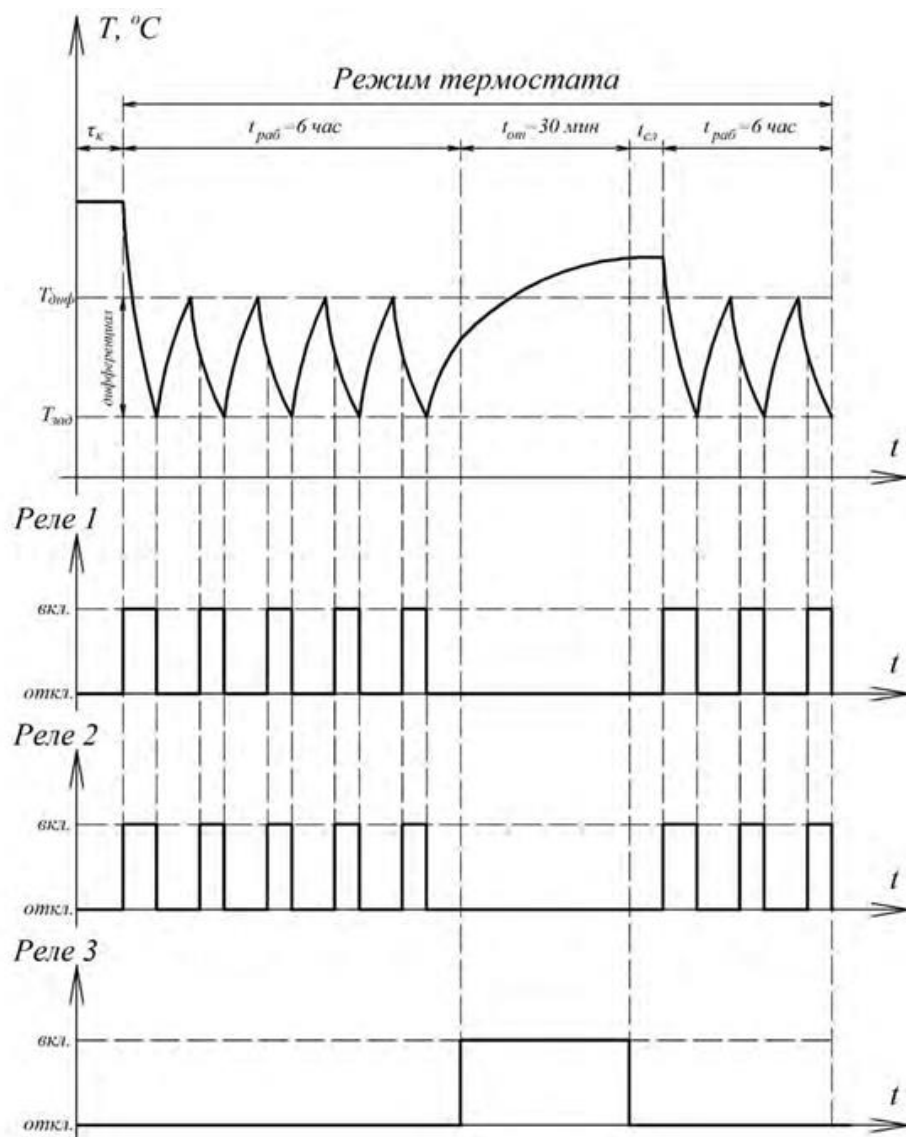


дильном агрегате представлена на рис.5.60.



**Рис. 10.5** Функциональная схема САР температуры в холодильном агрегате

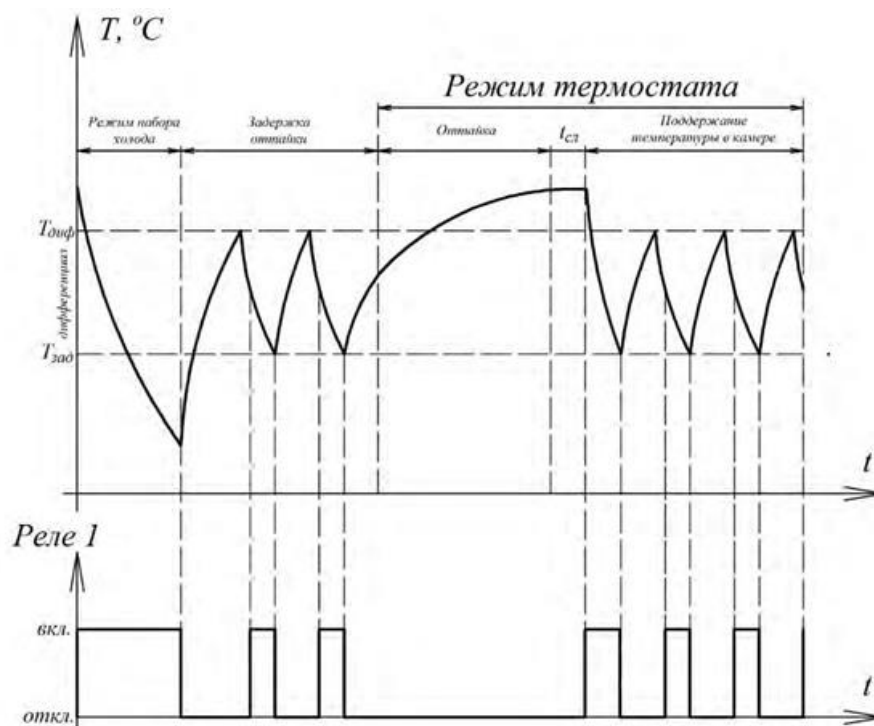
Контроллер TRM-974 имеет два входа для подключения термодатчиков с положительным коэффициентом передачи для измерения температур в холодильной камере и воздухоохлаждителя. Выходные реле управляют процессами в холодильной камере: реле 1 – компрессором, реле 2 – вентилятором, реле 3 – нагревателем. Регулирование температуры в холодильных машинах может производиться в двух режимах: режим «термостат» и режим «набор холода». Температуру в камере в режиме «термостат» (рис.5.61) определяют параметры  $T_{зад}$  – контрольная точка и  $T_{диф}$  – дифференциал. Для поддержания температуры в холодильной установке контроллер управляет работой компрессора и вентилятора.



**Рис. 10.6 Регулирование температуры в холодильной камере в режиме «термостат»**

При достижении температуры в холодильной камере значения  $T_{\text{зад}} \square T_{\text{диф}}$  включается компрессор (реле 1) и работает до тех пор, пока температура снизится до значения  $T_{\text{зад}}$ . При этом вентилятор (реле 2) по выбору оператора может работать как непрерывно, так и периодически вместе с компрессором.

Для автоматического управления процессом оттайки холодильной камеры контроллер программируют либо по времени (1...99 ч.), либо по времени наработки компрессора. При этом оттайку можно производить специальным нагревателем (реле 3) при выключенном компрессоре. В ТРМ-974 также предусмотрена возможность управления сливом конденсата и установка времени задержки включения вентилятора по окончании процесса оттайки. Режим «набора холода» (рис.5.62) предназначен для быстрого охлаждения холодильной камеры, заполненной новым (теплым) продуктом.



**Рис. 10.7 Регулирование температуры в холодильной камере в режиме «набора холода»**

Продолжительность набора холода задается в диапазоне от 1 до 24 часов, когда компрессор принудительно включен (реле 1). При этом обеспечивается задержка оттайки после набора холода, по окончании которой прибор автоматически переводится в режим «термостат».

### **10.3. Автоматизация технологических процессов переработки сель- скохозяйственной продукции**

Подъем и устойчивое развитие отрасли переработки и хранения продукции растениеводства неразрывно связаны с поиском и внедрением новых технологий и технических средств, которые позволят более эффективно использовать энергию и ресурсы. Характерной и энергоемкой технологической операцией отрасли является сушка растительного сырья – овощей, фруктов, грибов, лекарственных трав и др.

Применяемые в настоящее время для этой цели технология и оборудование в небольших фермерских хозяйствах основаны на конвективной сушке, т.е. циркуляции подогретого воздуха через сушимый материал. Однако несоответствие температурного градиента с градиентом влагонапора из продукта препятствуют быстрому удалению влаги из сушеного материала, что снижает эффективность такого способа сушки.

Другим распространенным способом сушки является нагрев продуктов растительного происхождения от специального источника инфракрасных (ИК)

лучей с последующим охлаждением материала потоком воздуха, например от вентилятора. Для такой технологии характерно отсутствие предварительного выбора длины волны излучения ИК-нагревателя в соответствии со спектральной чувствительностью сушеного продукта и принудительного удаления влаги за пределы сушильного шкафа, что снижает эффективность такого способа сушки при влажности обдуваемого воздуха более 65 %.

В [10; 15] рассмотрен способ сушки продуктов растительного происхождения, основанный на сочетании радиационного и конвективного подвода теплоты к сушимому материалу и выборе длины волны ИК-излучателя в соответствии с наибольшей поглощательной способностью продукта. Технология

[10] предполагает обязательное выполнение последовательных операций для достижения высоких удельных выходных показателей процесса

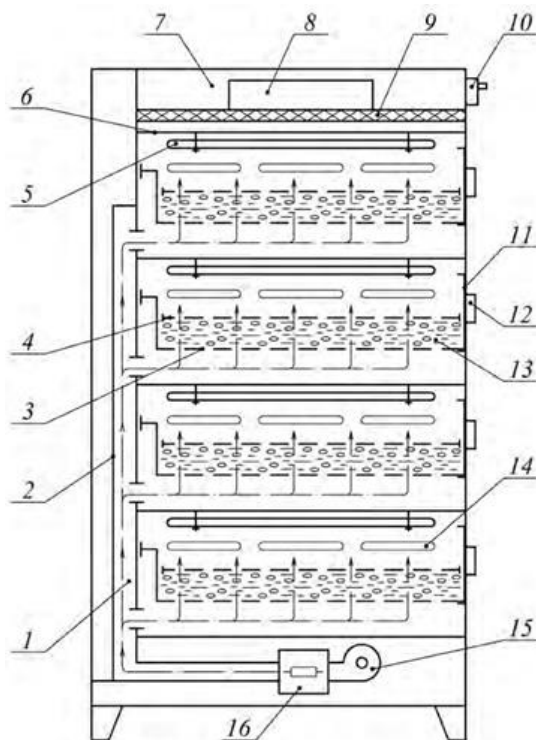
Толщина слоя продукта 13 на сетчатых поддонах 3 выбрана с учетом наибольшего проникновения лучистого потока в сушимый материал (рис. 5.63). Экспериментально установлено, что при этом обеспечивается такая спектральная чувствительность продукта, при которой создаваемое нагревателем ИК-излучение интенсивно поглощается продуктом и вызывает наибольший его нагрев. Например, для большинства корнеплодов – морковь, свёкла, корень валерианы и др. – длина волны, соответствующая наибольшей поглощательной способности, лежит в пределах  $\lambda=3,7...4,5$  мкм, что соответствует средневолновому диапазону ИК-излучения.

Под этот диапазон волн, соответствующий наибольшей поглощательной способности продукта, настраивается ИК-излучатель 5. Эту операцию можно выполнить путем установления необходимой температуры ИК-нагревателей, используя критериальное уравнение смещения В.Вина  $\lambda_{max}=2896/T$ , где  $\lambda_{max}$  – длина волны ИК-лучистого потока, на которую приходится максимум излучения; 2896 – постоянная Вина;  $T$  – абсолютная температура излучателя.

Таким образом, для получения длины волны  $\lambda_{max}$ , на которую приходится максимум ИК-излучения и обеспечивается наибольшая поглощательная способность объекта сушки, необходимо изменять абсолютную температуру  $T$

нагревателя, например, путем изменения питающего напряжения  $U$  в заданных пределах  $\Delta U$ .

Включение ИК-источников 5 с плотностью теплового потока  $Q=4,5...8,5$  кВт/м<sup>2</sup> обеспечивает прогрев сушеного материала до температуры продукта  $t_{нагр}=0,8...0,9t_{пр}$ , где  $t_{пр}$  – предельно допустимая температура сушки для данного материала при длительности воздействия  $T_{нагр}$ , не превышающей  $T_{нагр}=0,55...0,65T_{ц}$ , где  $T_{ц}$  – продолжительность цикла сушки растительного сырья;  $T_{ц}=20$  мин [10; 15].



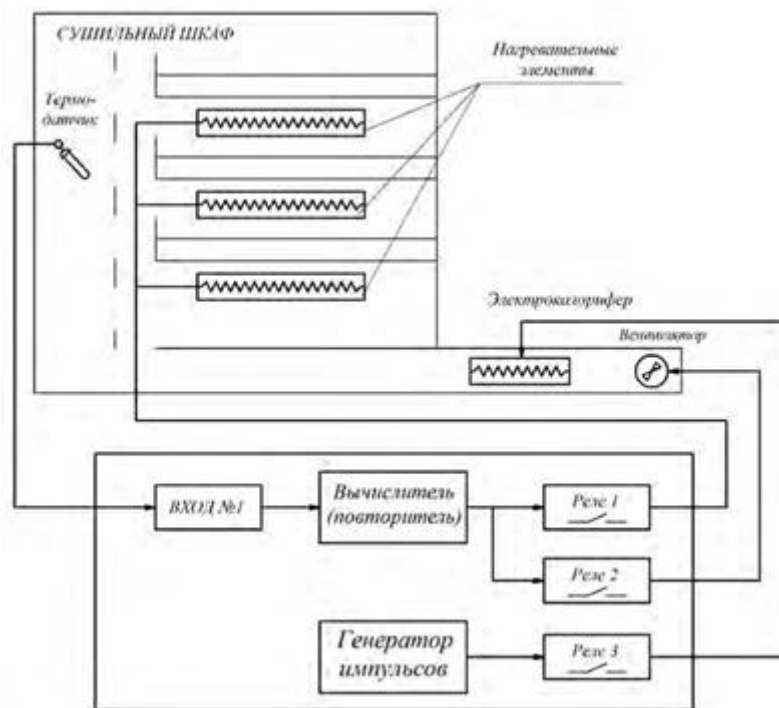
**Рис 10.8 Сушильный шкаф: 1 – воздуховод; 2 – стойка; 3 – решетчатое дно контейнера; 4 – решетчатая прижимная панель; 5 – ИК-нагреватели; 6 – алюминиевый экран; 7 – корпус шкафа; 8 – блок автоматического управления; 9 – теплоизоляция; 10 – органы управления; 11 – выдвижной ящик – контейнер; 12 – ручка контейнера; 13 – сушимый материал; 14 – боковые жалюзи; 15 – центробежный вентилятор; 16 – электрокалорифер**

Вслед за нагревом производят охлаждение продукта путем продува через него нагнетаемого вентилятором 15 воздуха при выключенных нагревателях 5. При этом температура поверхностного слоя сушеного материала понижается до  $t_{\text{охл}}=0,4...0,6t_{\text{пр}}$ . Длительность интервала охлаждения  $T_{\text{охл}}$  выбирается в диапазоне  $T_{\text{охл}}=0,05...0,15T_{\text{ц}}$ .

В результате обдува возникает перепад температур между внутренними и поверхностными слоями продукта, в результате чего образуется температурный напор, направленный из глубины слоев сушеного материала к его поверхностным слоям. Это совпадает с направлением выхода свободной влаги из продукта на его поверхность. Таким образом, чем больше разность температур между наружными и внутренними слоями, тем сильнее напор свободной влаги из глубины продукта на его поверхность. Этим достигается необходимое условие интенсификации процесса удаления свободной влаги из продукта.

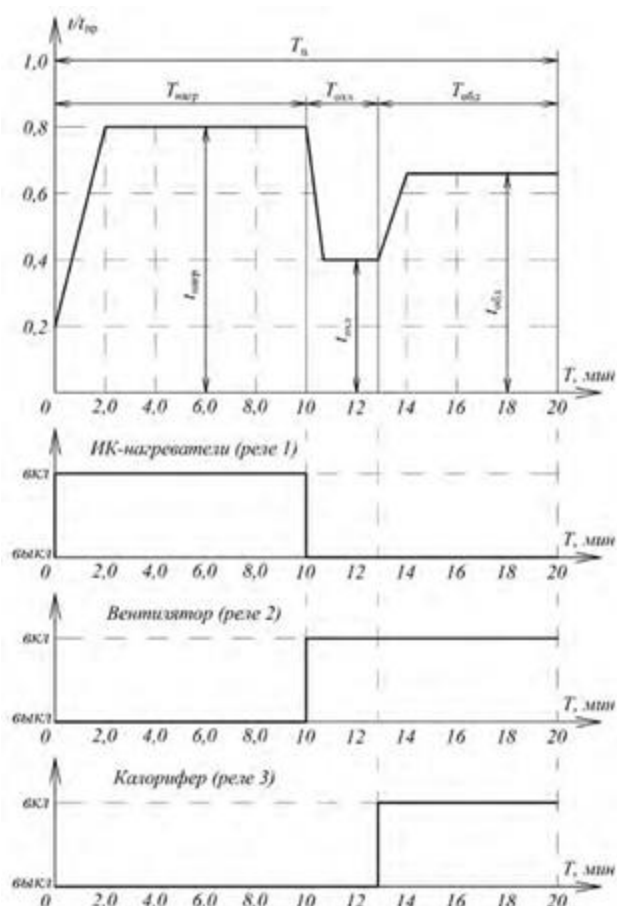
Заключительным этапом процесса сушки является удаление выступившей на поверхность продукта влаги за пределы сушильной камеры 7 через боковые жалюзи 14. Операция реализуется продувкой через сушимый материал, подогре-

того с помощью калорифера 16 до 45...55 °С и нагнетаемого в сушильную камеру через воздуховод 1 вентилятором 15 воздуха, имеющего относительно низкое влагосодержание. При этом обеспечивается интенсификация всего процесса сушки продуктов растительного происхождения и повышается качество сушимого материала. Для автоматического контроля времени процесса и температуры растительного сырья на каждом этапе сушки представляется эффективным применение специальных контроллеров (рис. 5.64).



**Рис. 10.9** Функциональная схема системы для сушки продуктов растительного происхождения

Регулятор работает в режиме двухпозиционного регулирования, однако при необходимости можно применить другие законы регулирования, что позволяет гибко управлять сложным технологическим процессом. Температурный режим в сушильном шкафу поддерживается в соответствии с графиком (рис.5.65).



**Рис. 10.10 Циклограммы для настройки регулятора**

Двадцатиминутные циклы сушки повторяются до тех пор, пока продукт не достигнет кондиционной влажности 12...15 %.

Временные интервалы операций – ИК-нагрева  $T_{нагр}$ , конвективного охлаждения  $T_{охл}$ , обдува подогретым воздухом  $T_{обд}$  – задаются индивидуально для выбранного продукта.

Предложенный способ сушки продуктов растительного происхождения способствует повышению качества высушенного материала и уменьшению энергозатрат.

Пример разработки и исследования автоматических систем

Кратко прокомментируем и проиллюстрируем примером особенности основных этапов разработки и исследования автоматических систем.

Рассмотрим систему автоматического регулирования подогрева воздуха свинарника, используемую в переходный период времени года.

Для нагревания теплоносителя – воздуха – применена электрокалориферная установка СФОА; используются две ступени нагревательных элементов –  $P_n=45$  кВт и  $P_o=30$  кВт. Заданные значения температуры: внутри помещения  $\vartheta_o=20$  °С (пределы 18...22 °С), снаружи –  $\vartheta_{нар}=0...10$  °С. В установившемся состоянии (при отсутствии возмущений) поддержание расчетной температуры  $\vartheta_{ов}$  в объекте обеспечивается нагревателями  $P_o=30$  кВт.

## 11. ПКЭ в животноводстве и птицеводстве

### 11.1. Выбор электропривода машин для переработки и приготовления корма

Вначале производят выбор кормоперерабатывающих и кормоприготовительных машин в соответствии с потребной производительностью. Качество корма, в значительной мере зависит от технологии переработки и приготовления и является основным фактором, определяющим продуктивность животных и птицы.

Исходными данными для расчета и выбора кормоприготовительных машин являются: количество животных, способ их содержания и раздачи кормов, рацион и время кормления.

Выбор кормоприготовительных машин и электропривода к ним производят в следующем порядке.

Определяют суточное потребление каждого вида корма всеми животными

$$Q_{\text{сут}} = \sum q_i \cdot N_i, \quad (11.1)$$

где  $q_i$  – суточная норма корма на одно животное данного вида;  $N_i$  – число животных.

По принятой технологии обработки кормов составляют таблицу, в которой указывают виды животных, типы перерабатываемых кормов, суточное потребление кормов каждого типа всеми животными данного вида в соответствии с кормовым рационом.

В соответствии с распорядком дня работы фермы определяют продолжительность работы кормоприготовительных машин за сутки.

Определяют потребную мощность электродвигателя, кВт, выбранной по каталогу машины для данного вида перерабатываемого корма:

$$P_{\text{потр}} = \frac{P_m}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (11.2)$$

где  $P_m$  – потребная мощность рабочей машины, кВт;  $\eta_{\text{пер}}$  – КПД передачи.

По потребной мощности, характеру работы машины и условиям окружающей среды из [3-5] выбирают электродвигатель соответствующей марки с учетом условия:

$$P_{\text{уст}} \geq P_{\text{ном}}. \quad (11.3)$$

По установленной мощности двигателя  $P_{\text{уст}}$  и его КПД  $\eta_{\text{дв}}$  определяют присоединенную к сети мощность, кВт:



$$P_{прис} = \frac{P_{уст}}{\eta} \quad (11.4)$$

По присоединенной мощности электродвигателя находят его максимальную мощность, кВт:

$$P_{max} = K_k \cdot K_z \cdot P_{прис}, \quad (11.5)$$

или мощность для группы двигателей, если агрегат приводится в работу несколькими электродвигателями:

$$P_{max} = K_o K_z \sum_{i=1}^n P_{уст,i} \quad (11.6)$$

где  $K_k$  – коэффициент каталожной неувязки,  $K_k = P_{ном}/P_{уст}$ ,  $K_z$  – коэффициент загрузки (табл.3.11),  $K_z = P_{фак}/P_{уст}$ ,  $P_{фак}$  – фактическая мощность электродвигателя;  $K_o$  – коэффициент одновременности.

Табл.11.1 – Коэффициент загрузки электроприемников

№ п.п.	Наименование электроприемника	$K_z$
1.	Измельчитель зерновых	0,8
2.	Измельчитель корнеплодов, сочных и грубых кормов	0,6...0,5
4.	Транспортеры: скребковые	0,7
	шнековые	0,4
5.	Смесители кормов	0,6
6.	Кормораздатчики	0,5
7.	Доильные установки, вентиляторы	0,6...0,8
8.	Навозоуборочные транспортеры	0,5
9.	Насосы, компрессоры	0,7
10	Нагревательные и осветительные установки	1,0

Определяют годовое потребление электрической энергии для той или иной операции по переработке или обработке корма:

$$A_{год} = Q_{год} \cdot A_{уд} \quad \text{или} \quad A_{год} = P_{max} \cdot T_{ф}, \quad (11.7)$$

где  $Q_{год}$  – годовая потребность в том или ином виде корма, т;  $A_{уд}$  – удельные затраты электроэнергии на переработку единицы корма, кВт·ч/т;  $T_{ф}$  – фактическое время работы машины в течение года, ч.

$$T = \frac{Q_{год}}{q_{кат}} \quad (11.8)$$

В случае, если  $A_{уд}$  неизвестно, то его можно определить через  $P_{max}$  и  $q_{кат}$ , кВт·ч/т(м):

$$A = \frac{P_{max}}{q} \quad (11.9)$$

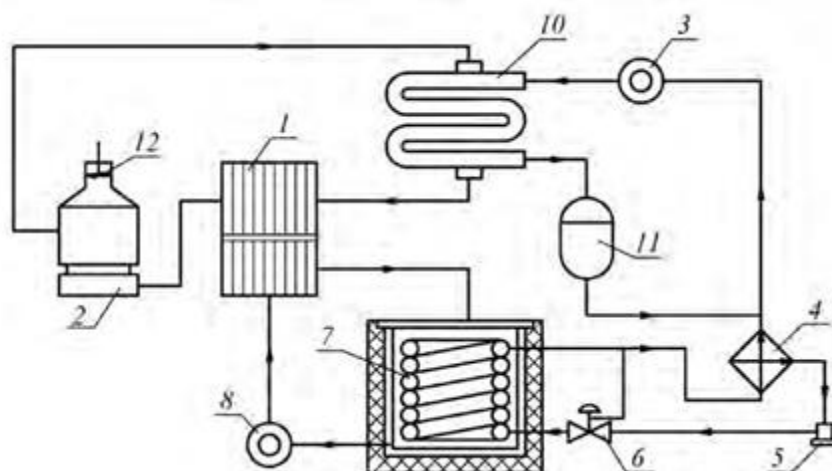
## 11.2. Автоматизация первичной обработки молока

Процесс первичной обработки молока включает в себя операции его очистки, пастеризации и охлаждения. При этом цель пастеризации состоит в уничтожении содержащихся в молоке микроорганизмов. Последующее за пастеризацией охлаждение позволяет увеличить срок хранения продукта. Охлаждение применяют и как самостоятельную операцию при хранении молока на молочных фермах и комплексах.

Пастеризатор молока представляет собой многосекционный пластинчатый теплообменник, подогреваемый горячей водой. На практике используют разные режимы пастеризации: мгновенный (при  $t=85\dots90$  °С), кратковременный ( $T=20$  с, при  $t=72\dots76$  °С) и длительный ( $T=300$  с, при  $t=90$  °С) [17].

Установка для охлаждения молока (рис.5.52) работает по замкнутому циклу. Пары хладагента поступают в компрессор 3, сжимаются и попадают в конденсатор 10, где превращаются в жидкость, стекающую в ресивер 11. Из ресивера жидкий хладагент поступает в испаритель 7, проходя последовательно через теплообменник 4, фильтр-осушитель 5 и терморегулирующий вентиль 6. В терморегулирующем вентиле давление хладагента падает, он оказывается перегретым относительно нового давления и потому вскипает, отбирая теплоту у воды, орошающей поверхность испарителя. Эта вода насосом 8 перекачивается в охладитель молока 1, после которого возвращается в испаритель.

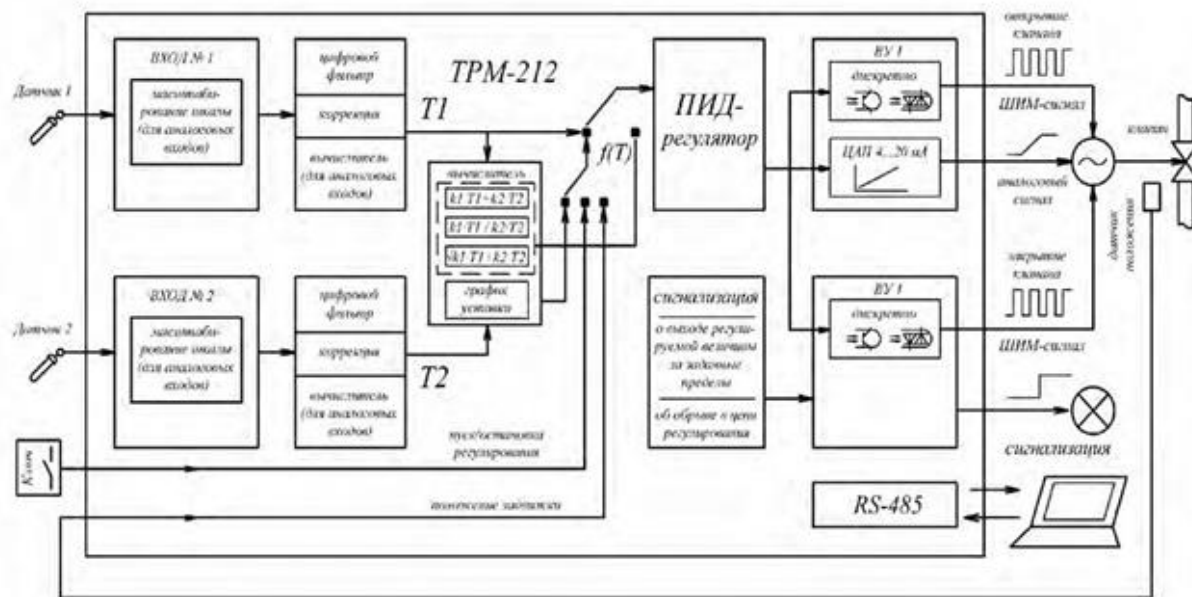
Для охлаждения воды, омывающей трубки конденсатора, применяется малогабаритная градирня 2 с вентилятором 12.



**Рис. 11.1. Функциональная схема водоохлаждающей установки**

В настоящее время для управления клапанами и задвижками с электро-

приводом по температуре теплоносителя в водоохлаждающих и пастеризационных установках получили широкое распространение ПИД-регуляторы, в частности, «ОВЕН ТРМ-212» с интерфейсом RS-485, функциональная схема которого представлена на рис.5.53.



**Рис. 11.2. САУ трехходовым клапаном с ПИД-регулятором типа ОВЕН ТРМ-212**

Применение данного регулятора позволяет управлять клапанами как в функции температуры, так и в функции давления, расхода, уровня, при поступлении сигнала датчика на универсальные входы. На соответствующих выходах ВУ1 и ВУ2 формируется аналоговый или ШИМ-сигнал открывающий (закрывающий) клапан или задвижку. При этом происходит постоянный контроль положения рабочего органа с помощью датчика положения.

При возникновении аварийных режимов, например, обрыв в цепи регулирования или выход регулируемой величины за заданные пределы, подается соответствующий звуковой или световой сигнал.

### **11.3. Автоматическое управление системами обеспечения микроклимата**

В число параметров микроклимата помещений, определяющих эффективность животноводства, входят температура воздуха, относительная влажность, содержание в воздухе вредных для животных компонентов, скорость движения воздуха и др.

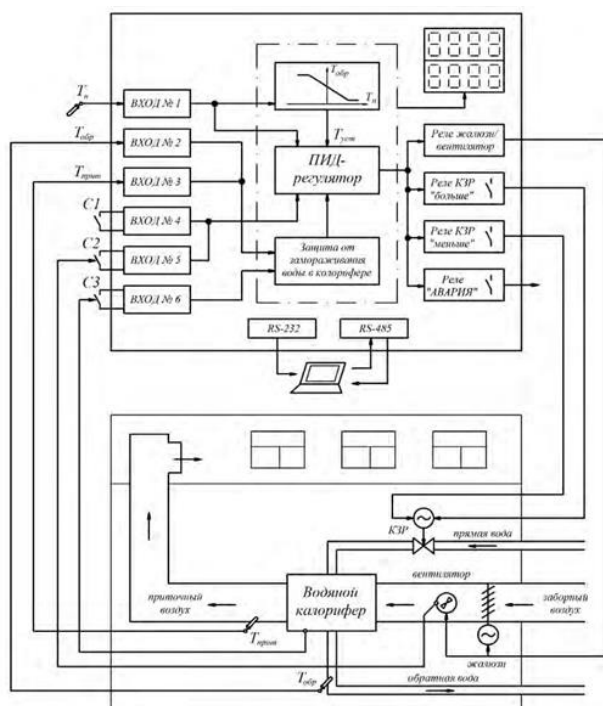
Нормы технологического проектирования определяют температуру в коровнике на уровне 10 °С, отклонение которой от указанного значения приводит к снижению продуктивности. При этом влияние повышенных и пониженных температур особенно заметно в условиях значительной влажности воздуха.

Системы вентиляции выполняют с естественным и искусственным побуждением воздуха. Автоматизация систем с искусственным побуждением определяется, в том числе, конструкцией вентиляционной системы, которая может быть приточной, вытяжной и сбалансированной, когда производительность приточной и вытяжной систем одинакова. По способу раздачи воздуха в вентилируемом помещении различают равномерную, сосредоточенную и децентрализованную (с помощью нескольких отопительно-вентиляционных агрегатов) [5; 10; 11;15].

Для регулирования температуры в системах отопления с приточной вентиляцией в животноводческих помещениях в настоящее время разработано большое количество устройств. В частности, применение контроллера типа

«ОВЕН ТРМ-33-Щ4» на фермах КРС позволяет повысить точность поддержания требуемой температуры воздуха в системах приточной вентиляции с водяным или паровым калорифером на заданном уровне и снизить эксплуатационные затраты. САР, функциональная схема которой представлена на рис.5.54, обеспечивает поддержание заданной температуры приточного воздуха по ПИД-закону путем управления приводами вентилятора, жалюзи и запорно-регулирующего клапана.

К входам 1...3 подключаются температурные датчики, например, терморезисторы типа ТСМ 50М или ТСП 50П, для контроля температуры наружного воздуха  $T_n$ , приточного воздуха  $T_{прит}$ , обратной воды в контуре теплоносителя  $T_{обр}$ .



**Рис. 11.3. Функциональная схема САР температуры воздуха в коровнике**

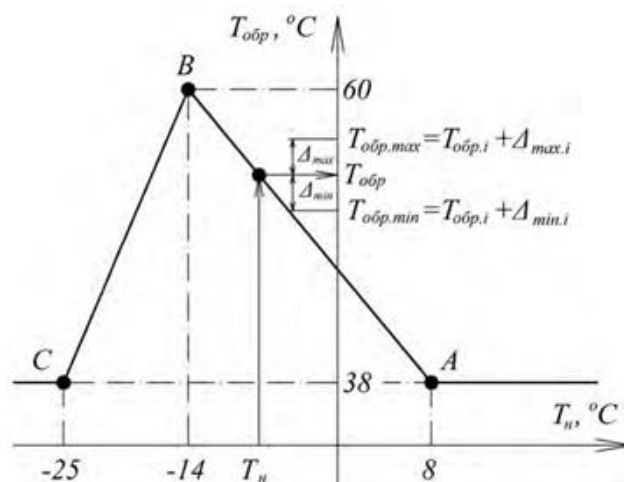
К входам 4...6 подключаются датчики для диагностики работоспособности системы:  $C1$  – коммутирующее устройство, например, таймер, тумблер и др., для дистанционного перевода системы в дежурный режим работы;  $C2$  – датчик контроля работы вентилятора для автоматического перевода системы в дежурный режим при неисправности вентилятора;  $C3$  – датчик контроля протока воды через калорифер для автоматического перевода системы в режим защиты от замораживания при прекращении протока.

Температуру приточного воздуха в системе  $T_{уст.прит}$ , нагрев которого осуществляется теплоносителем, проходящим через калорифер, задается оператором при программировании контроллера. Регулятор по температуре уставки  $T_{уст.прит}$  и по результатам измерений и опроса входных датчиков  $C1$ ,  $C2$  и  $C3$  с помощью выходных реле управляет работой вентилятора и жалюзи, а также положением запорно-регулирующего клапана для поддержания заданной температуры в системе отопления. Управление клапаном осуществляется короткими импульсами (ШИМ-сигналами) по ПИД-закону регулирования, что позволяет поддерживать заданную температуру с необходимой точностью.

Перед началом работы контроллер осуществляет прогрев калорифера, время которого устанавливается оператором при наладке исходя из эксплуатационных параметров системы. При этом для более быстрого разогрева регулятор формирует команду задержки включения вентилятора и открытия жалюзи при полном открытии клапана.

Контроллер осуществляет также защиту системы от превышения температуры обратной воды, возвращаемой в теплоцентраль и защиту калорифера от замораживания в нем воды.

Управление температурой обратной воды осуществляется в зависимости от температуры наружного воздуха в соответствии с диаграммой  $T_{обр} = f(T_n)$  (рис.5.55), формируемой прибором автоматически по заданным оператором программирования координатам точек  $A$ ,  $B$  и  $C$ . При превышении заданного значения температуры обратной воды  $T_{обр.i} \geq T_{обр.max.i}$  регулятор прерывает управление запорно-регулирующим клапаном по  $T_{прит}$  и переходит на управление по сигналу рассогласования  $E_i \geq T_{обр.i} - T_{обр.max.i}$ . После возврата  $T_{обр.i}$  в допустимые пределы регулирование продолжается по  $T_{прит}$ .



**Рис. 11.4. График температуры обратной воды**

При уменьшении температуры приточного воздуха или температуры обратной воды ниже заданной критической температуры, либо возникновении неисправностей датчиков, например, обрыв или короткое замыкание, система переходит в режим защиты от замораживания воды в калорифере. При этом для максимально быстрого повышения температуры регулятор формирует команду на полное открытие клапана, выключение вентилятора и закрытие жалюзи.

При превышении температурой наружного воздуха значения  $T_{летн}$ , заданного при программировании контроллера, система автоматически переходит на летний режим, отключение которого происходит при достижении  $T_n$  значения в точке А. Электрический подогрев воды

Данные по расходу и потреблению горячей воды на молочных фермах приведены в табл.11.2.

Табл.11.2 – Нормы расхода горячей воды на фермах

Вид животных	Суточная норма расхода горячей воды, л/гол	Вид животных	Суточная норма расхода горячей воды, л/гол
Коровы молочные	15	Свиньи откормочные	9
Быки и нетели	5	Ремонтный молодняк	9
Телята	2	Поросята-отъемыши	4
Молодняк	2	Свиноматки	25

Температура воды для приготовления кормов равна 40...65 °С, для мойки посуды, молокопроводов и другого оборудования – 55...65 °С, для подмывания вымени у коров – 37...39 °С. Обычно воду нагревают до температуры 70...90 °С, которую смешивают с холодной чтобы получить воду с нужной температурой.

В зимнее время возникает необходимость подогрева воды для поения животных. Температура воды в поилках для крупного рогатого скота должна быть

5...7 °С; для дойных коров – 12...14 °С, свиней на откорме – 1...3 °С, кур-несушек 10...13 °С. Воду для поения животных на фермах подогревают в групповых автопоилках АГК-4, АГК-24 или в водонагревателях типа ВЭП-600.

Животноводческие фермы являются также крупными потребителями пара. Удельные нормы расхода пара для некоторых процессов в животноводстве приведены в табл.11.3.

Табл.11.3 – Удельный расход пара для технологических процессов в животноводстве

Наименование процесса	Единица измерения	Расход пара на ед. измерения, кг
Варка зерновых	1 кг	0,12...0,15
Запаривание:		
корнеклубнеплодов	1 кг	0,16...0,2
смешанных кормов	1 кг	0,3...0,4
Пропаривание различных кормов	1 кг	0,4
Пастеризация молока	1 кг	0,12...0,15
Отопление помещения кормоцефа и молочной	1 м <sup>3</sup> /сут	0,5...0,75
Пропаривание молочных фляг	1 кг	0,1...0,2
Подогрев воды от 10 до 90°С	1 кг	0,18...0,2

Для определения мощности водонагревателей строят суточный график потребления горячей воды. Особенно рассматривают возможность подогрева воды в часы провалов в графиках нагрузок электропотребителей (ночное время, обеденный перерыв).

За температуру горячей воды может быть принята конечная температура нагрева воды. Нагревательное устройство выбирают с учетом производительности и условий окружающей среды.

Водонагреватели выбирают по типу, мощности, производительности температуре нагрева воды, напряжению питающей сети и др.

Технические данные элементных электроводонагревателей, применяемых в сельскохозяйственном производстве, приведены в табл.11.4.

Табл.11.4 – Технические данные электроводонагревателей

Тип	Мощность, кВт.	Производительность, л/ч, кг/ч	Температура воды (пара), °С
1	2	3	4
накопительные электроводонагреватели			
ВЭТ-200	6	30...40	85...90
ВЭТ-400	10,5	60.. .80	85...90
ВЭТ-800	16,5	120	85...90

ВЭТ-1600	33	240	85...90
УАП-100/0,2	2	100	16...20
УАП-200/0,4	6	100	40...45
УАП-200/0,9	6	60	85...90
УАП-400/0,9	12	100	85...90
УАП-600/0,2	6	300	16...20
УАП-800/0,2	18	160	85...90
УАП-1600/0,2	6	230	25...30
УАП-1600/0,9	30	260	85...90
УНС-10	1,25	10	80...85
УНС-40	1.25	13	80...85
УНС-60	1.25	12	80...85

1	2	3	4
проточные водонагреватели			
ЭПВ-1	6	80	85...90
ЭПВ-2А	9	120	85...90
ЭПВ-3	12	160	85...90
ВНС-300/0,2	6	300	16...20
1ВН0600/0,2	12	600	16...20
ВЭП-600	10,5	600	10

#### 11.4. Расчет и выбор установок микроклимата в помещении

В воздушной среде производственных помещений, в которых находятся люди, животные, оборудование, материалы и т.д., всегда есть некоторое количество вредных примесей (углекислого газа, влаги, аммиака, сероводорода, пыли и др.), которые необходимо удалять, а также поддерживать требуемую температуру. Несоблюдение этих требований отрицательно влияет на состояние здоровья людей, продуктивность животных, долговечность электрооборудования. Неудовлетворительный температурно-влажностный режим и состав воздуха снижают продуктивность коров на 10... 15 %, уменьшают привес свиней на 20...30 %, снижают яйценоскость кур-несушек на 15... 20 %, увеличивают расход корма на 20...24 %.

В создании микроклимата важную роль играют вентиляция и отопление помещений. Система вентиляции и отопления должна обеспечивать воздушную среду в помещениях с параметрами, указанными в табл. 11.5 и 11.6.



Табл.11.5 – Параметры воздуха в животноводческих помещениях

Помещения	Расчетные параметры воздуха в помещении			
	температура, °С	относительная влажность	скорость движения воздуха,	воздухообмен на 1 ц массы животного, м <sup>3</sup> /ч
Коровники для беспривязного содержания	5	85 %	0,5... 1	17
Коровник для привязного содержания	10	70 %	0,5... 1	17
Родильное отделение	10	70 %	0,3...0,5	17
Телятник для откорма	10	70 %	0,5	20
Телятник для выращивания и доращивания	10	70 %	0,5	20
Свинарники для холостых, легкоупоросных маток и хряков-производителей	12	75 %	0,4	Зимой – 20, летом – 45
Свинарники для подсосных маток с поросятами	18 (для поросят 24...30)	70 %	0,15...0,4	Зимой – 15, летом – 45
Свинарник для поросят-отъемышей	18	70 %	0,2...0,6	Зимой – 15, летом – 45

Табл.11.6 – Параметры воздуха в птичниках

Вид и возрастные группы птиц	Расчетные параметры воздуха		
	температура при содержании птицы, °С		относительная влажность, %
	на полу	в клетках	
Взрослая птица			
Куры	12...16	16	60...70
Утки	14	-	70...80
Индейки	12...16	-	60...70
Молодняк птицы			
Куры:			
от 1 до 30 дней	24...22	24	60...70
от 31 до 60 дней	18	20	60...70
от 31 до 70 дней	16... 18	18	60...70
от 61 до 150 дней	14...16	16	60...70
от 71 до 150 дней	14...16	16	60...70
от 151 до 180 дней	12...16	16	60...70
от 151 до 210 дней	12...16	16	60...70
Утки:			
от 1 до 10 дней	22	22	65...75
от 11 до 30 дней	20	-	65...75
от 31 до 55 дней	14	-	65...75
от 56 до 180 дней	7...14	-	65...75
Индейки:			
от 1 до 20 дней	22	24	60...70
от 21 до 120 дней	20... 18	-	60...70

от 121 до 180 дней	16	-	60...70
--------------------	----	---	---------

Примечания: температура воздуха при напольном содержании под брудерами для цыплят от 1 до 30 дней и для индюшат от 1 до 20 дней – 35...22 °С; для утят от 1 до 10 дней – 28... 26 °С, от 11 до 30 дней – 26...22°С; допускается концентрация углекислоты в помещениях для взрослой птицы и ремонтного молодняка 1,8. 2.0 л/м<sup>3</sup>, в помещениях для выращи-

вания цыплят – 1,0 л/м<sup>3</sup>; аммиака – 0,01 мг/л для взрослой птицы, 0,005 мг/л для молодняка; сероводорода – 0,005 мг/л.

В системах вентиляции используют центробежные и осевые вентиляторы.

Табл.11.7 – Физические свойства влажного воздуха при давлении 101,3 кПа

Температура, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м <sup>3</sup>	Влажностное содержание воздуха в насыщенном состоянии г/м <sup>3</sup>	Температура, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м <sup>3</sup>	Влажностное содержание воздуха в насыщенном состоянии г/м <sup>3</sup>
-20	1,396	0,88	6	1,265	7,3
-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			

Табл. 11.8 – Количество теплоты, углекислого газа, водяных паров, выделяемых животными

Вид животных	Живая масса	Количество выделяемых веществ на одну голову		
		свободного тепла, кДж/ч	углекислоты, л/ч	водяных паров, г/ч
1	2	3	4	5
Коровы сухостойные	400	2380	110	350
	600	2800	138	440
Коровы лактирующие: с удоем 10 л в сутки с удоем 30 л в сутки	400	2300	114	364
	600	2880	143	455
	400	3540	175	560
	600	4050	200	642
	800	4550	225	721
Телята в возрасте: до 1 месяца от 1 до 3 месяцев от 3 до 4 месяцев	30	302	15	47
	50	524	25	83
	80	775	38	121
	60	650	32	102
	100	850	42	135
	130	1150	57	182
	90	747	37	118
	150	1150	57	183
200	1520	75	240	

1	2	3	4	5
Молодняк в возрасте от 4 месяцев до года	120	973	43	153
	250	1500	74	236
	350	1970	97	310
Свиноматки супоросные	100	790	40	110
	150	940	46	129
	200	1120	52	147
Свиноматки подсосные с поросятами	100	1780	87	242
	150	2030	99	276
	200	2350	114	320
Свиньи откормочные	100	970	47	132
	200	1290	63	175
	300	1700	83	230

Табл. 11.9 – Количество теплоты, углекислого газа, водяных паров, выделяемых птицей

Вид и возрастные группы	Живая масса, кг	Количество выделяемых веществ на одну голову		
		свободного тепла, кДж/ч	углекислоты, л/ч	водяных паров, г/ч
1	2	3	4	5
Взрослая птица				
Куры яичных пород в клетках	1,5...1,7	28,5	1,7	5,1
Напольное содержание кур				
яичная порода	1,5...1,7	33,1	2,1	5,8
мясная порода	2,5...3,0	30,2	1,8	5,2
1	2	3	4	5
Индейки	6,8	28,1	1,7	5,0
Утки	3,5	20,1	1,2	3,6
Молодняк птицы				
Куры яичного направления				
от 1 до 10 дней	0,06	56,6	2,3	3,5
от 11 до 30 дней	0,25	36,9	2,2	6,6
Куры мясного направления				
от 1 до 10 дней	0,08	54,2	2,2	4,0
от 11 до 30 дней	0,35	34,0	2,0	6,3
Утки				
от 1 до 10 дней	0,3	58,8	3,5	10,5
от 11 до 30 дней	1,0	42,4	2,5	7,5
Индейки				
от 1 до 10 дней	0,1	44,0	2,0	4,2
от 11 до 30 дней	0,6	35,2	2,1	6,6

Табл.11.10 – Значения тепловых характеристик животноводческих помещений

№ пп	Классификация помещений	Тепловая характеристика, кДж/м <sup>3</sup>	Примечание
1.	Неутепленные Средней	5,03...3,93	Каркасножелезобетонные Кирпичные в 2 кирпича Деревянные рубленные
2.	утепленности	3,92...2,93	
3.	Утепленные	2,91...2,1	

Вентиляционно-отопительные установки подразделяются на установки для вентиляции и отопительные.

В качестве отопительных установок рекомендуется принимать электрокалориферы типа СФОА, а в систему приточной вентиляции включать центробежные вентиляторы типа Ц4-70.

Промышленность выпускает комплектное вентиляционное оборудование типа «Климат-2», «Климат-3», а также «Климат-4» в трех исполнениях: «Климат-44» с осевыми вентиляторами ВО-4 (до 24 шт.), «Климат-45» с вентиляторами ВО-5,6 (до 12 шт.) и «Климат-47» с вентиляторами ВО-7 (до 10 шт.). Установки по обеспечению микроклимата в животноводческих помещениях подробно рассмотрены в [7].

## Список использованной литературы

1. Змеев А. Я., Усанов К. М., Мошкин В. И., Каргин В. А. Проектирование систем электрификации : учебное пособие. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2016. 292 с.
2. Амерханов Р.А., Богдан А.В., Вербицкая С.В., Гарькавый К.А. Проектирование систем энергообеспечения: учебник для студентов вузов по направлению «Агроинженерия» / Под ред. Р.А. Амерханова. – 2 е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2010. 548 с.
3. О.Л.Данилова, П.А.Костюченко «Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов» ЗАО «Технопромстрой» Москва - 2006 г. 669 с.