

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. А.А. ЕЖЕВСКОГО**

**АЛТУХОВ И.В.**

**СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ  
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**Молодёжный 2019г.**

УДК 620.9.+ 621.31.004.18 (075.8)

**Рецензенты:**

Доцент кафедры электроснабжения и электротехники Иркутского государственного аграрного университета им. А.А.Ежевского, кандидат технических наук, доцент Иванов Д.А.

Доцент, кафедры электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского технического университета кандидат технических наук, доцент Кирюхин Ю.А.

Алтухов И.В.

**Системы энергетики и энергосбережение: учебное пособие.** – Иркутск: Изд-во ИрГАУ, 2019. – 97с.

Учебное пособие предназначено для самостоятельной работы по дисциплинам «Проблемы энерго-и ресурсосбережения в теплоэнергетике теплотехнике и теплотехнологиях», «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологии», «Энергосбережение» студентам по направлениям подготовки «Электроэнергетика и электротехника» и «Теплоэнергетика и теплотехника» «Агроинженерия». Может быть полезно при изучении общей электротехники, электроснабжения, источники и системы теплоснабжения.

Рекомендовано к изданию Методическим советом энергетического факультета Иркутского государственного аграрного университета им.А.А.Ежевского

© Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А.Ежевского», 2019.

## Содержание

Введение.....	4
1 Классификация различных энергетических систем .....	5
1.1 Общая классификация энергосистем .....	5
1.2.1 Классификация системы электроснабжения и освещения .....	
1.3 Системы теплоснабжения и теплопотребления.....	19
1.3.1 Классификация системы теплоснабжения .....	20
1.4 Системы ГВС и холодной воды.....	22
1.4.1 Классификация системы ГВС и холодной воды.....	25
1.5 Разработка классификационной структуры энергетических систем.....	27
2 Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий.....	73
2.1 Показатели оценки эффективности от реализации мероприятий по энергосбережению.....	73
2.2 Методика расчета оценки срока окупаемости мероприятия .....	74
2.3 Методика расчёта эффективности мероприятия «Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы» .....	74
2.4 Методика расчёта эффективности мероприятия «Установка частотно-регулируемого привода» для одного насоса (вентилятора) .....	76
2.5 Методика расчёта эффективности мероприятия «Применение автоматических сенсорных смесителей» .....	80
2.6 Методика расчёта эффективности мероприятия «Улучшение теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания (кровля)» .....	82
4 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятий в денежном выражении ..	86
4.1 Порядок расчета эффекта от мероприятия в натуральном и денежном выражении в сопоставимых условиях .....	86
4.2 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятия «Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы».....	87
4.3 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятия «Установка частотно-регулируемого привода» .....	89
4.4 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятия «Применение автоматических сенсорных смесителей».....	91
4.5 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятия «Улучшение теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания (кровля)» .....	92

## Введение

В России имеются значительные резервы сбережения энергетических ресурсов. Рациональное использование энергетических ресурсов – один из государственных приоритетов модернизации и технологического развития экономики и социальной сферы. Одним из самых перспективных и актуальных аспектов энергоконтроля в нашей стране является энергетическое обследование, направленное на выявление нерациональных затрат энергетических ресурсов и неоправданных потерь энергии.

Энергетическое обследование нацелено на снижение потерь энергоресурсов до экономически обоснованных значений и ведёт к существенному уменьшению энергетической составляющей в структуре себестоимости готовой продукции, к повышению её конкурентоспособности на мировом и российском рынках.

Таким образом, энергетическое обследование является важным инструментом реализации современной государственной политики в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Однако при всей важности энергетического обследования не следует забывать, что на этом этапе лишь определяются неотложные мероприятия по энергосбережению. За обследованием обязательно должен следовать этап, целью которого – реализация этих мероприятий.

Под понятием «Энергосбережение» принято понимать комплекс мер по реализации правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), при существующем полезном эффекте от их использования и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии [1].

Таким образом, разработка стратегии и энергосберегающих мероприятий позволит ввести энергосбережение в практическую значимость экономики России.

В работе, разработана классификационная структура энергетических систем, проведен анализ существующих энергосберегающих технологий в различных энергетических системах, приведена методика расчета внедрения энергосберегающих мероприятий.

# 1 Классификация энергетических систем

## 1.1 Источники энергии и энергетические системы

Работа всех отраслей промышленности связана с использованием различных видов энергии, поступающей к потребителям по различным сетям.

Электрическая энергия, вырабатываемая на электрических станциях, передается по электрическим сетям; теплота, вырабатываемая на ТЭЦ, передается по тепловым сетям к потребителям тепла, использующим его непосредственно или преобразующим его в энергию другого вида. Газ, поступающий по трубопроводам, в свою очередь, может быть использован как топливо или сырье для химической промышленности.

Совокупность звеньев общей цепи производства, преобразования, распределения и использования всех видов энергии называется энергетической системой [12].

Энергетическая система состоит не только из котлов, турбин, генераторов, линий передачи электрической и тепловой энергии, трансформаторов, но и из электродвигателей, осветительных и нагревательных приборов, станков, насосов, вентиляторов то есть потребителей этой энергии. Энергетическими сетями называются комплексы энергетических устройств, которые служат для передачи и распределения энергии.

Установки, в которых подводимая энергия преобразуется в какой-либо другой вид энергии, называются приемниками энергии.

Таким образом, в энергетической системе имеются элементы 2-х видов:

- передающие, назначение которых – передача энергии на расстояние;
- преобразующие, в которых энергия преобразуется из одного вида в другой.

К числу передающих элементов относятся:

- воздушные и кабельные линии электропередач;
- трубопроводы;
- устройства топливоподачи;
- элементы, позволяющие осуществлять регулирование или прекращать передачу энергии (выключатели, вентили, задвижки).

К числу преобразующих элементов относятся:

- котлы;
- паровые турбины;

- гидротурбины;
- генераторы;
- трансформаторы;
- машины-орудия;
- осветительные системы;
- бытовые электроприборы и т.д.

Таким образом, в энергетической системе происходит последовательное преобразование энергии в одних элементах, и передача ее через другие.

Энергетические системы различают:

- по виду используемых энергетических ресурсов;
- по виду производимой энергии;
- по составу потребителей энергии;
- по взаимному географическому расположению источников энергетических ресурсов и потребителей энергии.

Внутри каждой из указанных областей возможна и более детальная классификация, например:

- по виду топлива для ТЭЦ;
- по имеющимся возможностям каскадного использования воды в системе оборотного водоснабжения и т.д.

Вид производимой энергии определяет развитие того или иного вида энергетических сетей для передачи и распределения энергии (электрические сети, тепловые сети, газовые сети, сети водоснабжения и т.д.).

Состав потребителей энергии определяет не только графики нагрузки, но и характеристики нагрузки. Эти показатели имеют важное значение в вопросах обеспечения надежности энергоснабжения и регулирования качества энергоносителя.

Одной из важнейших характеристик каждого элемента системы является совокупность его номинальных данных:

1. *Нагрузочная и перегрузочная способность*, т.е. мощность которую данный элемент может преобразовать или передать без ущерба для его надежности.

2. *Номинальные значения параметров* подводимой, преобразуемой или передаваемой энергии (например, параметры воздуха, используемого в качестве дутья для доменных печей, параметры технической воды на охлаждение, на очистку газов и т.д.), а также допустимые отклонения этих параметров от номинальных значений.

Основной характеристикой элемента, преобразующего энергию, является его номинальная мощность на выходе или производительность.

Для элемента, передающего энергию (воздухопровод, водовод), обычно задается наибольшая пропускная способность у одного из его концов.

Поддержание правильных показателей подводимой, преобразуемой или передаваемой энергии, а также ограничение величины нагрузки элемента пределами допустимой мощности или пропускной способности обеспечивают надежную работу элемента.

При оценке элемента энергосистемы важную роль играют энергетические характеристики. Преобразование и передача энергии в любом элементе энергетической системы связаны с некоторыми технологическими потерями энергии в элементе, а также с расходом энергии на работу вспомогательных устройств. Эти потери характеризуются рядом различных по форме энергетических характеристик элемента, которые могут быть выражены одна через другую.

Для элементов, передающих энергию, обычно пользуются только характеристиками потерь или КПД.

## **1.2 Система электроснабжения**

Системой электроснабжения называется комплекс инженерных сооружений, осуществляющих задачи электроснабжения, или совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией[11].

Системы электропотребления включают в себя трансформаторы, распределительные сети, электродвигатели, системы электрического уличного и местного освещения. Электрическая или электроэнергетическая система представляет собой часть энергетической системы. Из нее исключаются тепловые сети и тепловые потребители. Также система электроснабжения может включать в себя:

- источники электроэнергии (ГЭС, ТЭС, солнечная батарея, ветрогенератор);
- систему передачи электроэнергии (воздушная линия электропередачи, кабельная линия электропередачи, электропроводка);
- систему преобразования электроэнергии(трансформатор, автотрансформатор, выпрямитель, преобразователь частоты, конвертор);
- систему распределения электроэнергии (открытое распределительное устройство, закрытое распределительное устройство);
- систему релейной защиты и автоматики (защита от перенапряжения, грозозащита, защита от короткого замыкания, дуговая защита);

- систему управления и сигнализации (система диспетчерской связи, автоматизированная система контроля и управления энергией (АСКиУЭ), автоматизированная система коммерческого учёта энергии (АСКУЭ));
- систему эксплуатации (технологические карты, графики нагрузки, графики регламентного технологического обслуживания);
- систему собственных нужд (системы обогрева, освещения, вентиляции в зданиях и сооружениях, где размещены элементы СЭС);
- систему гарантированного электроснабжения наиболее ответственных потребителей (источник бесперебойного питания, система автономного электроснабжения (САЭ), система резервного электроснабжения (СРЭ), мобильная система аварийного электроснабжения (МСАЭ), Автоматический ввод резерва).

В целом электроснабжение это совокупность мероприятий по обеспечению электроэнергией различных ее потребителей

Сеть электроснабжения характерна тем, что связывает территориально удалённые пункты источников и потребителей. Это осуществляется при помощи линии электропередачи – специальных инженерных сооружений, состоящих из проводников электрического тока, сооружений для размещения и прокладки (опоры, эстакады, каналы), средств изоляции (подвесные и опорные изоляторы) и защиты (грозозащитные тросы, разрядники, заземление).

Задача построения системы электроснабжения не всегда проста и обычна. С учетом перспектив развития и соответствующей современным требованиям надежности и качества, предполагается несколько вариантов решений, зависящих от эксплуатационных требований и экономических показателей.

Создание системы электроснабжения включает в себя следующие основные этапы:

- разработка проекта (проектирование электроснабжения),
- поставка необходимого оборудования,
- выполнение электротехнических монтажных и пусконаладочных работ (монтаж электроснабжения),
- гарантийное и послегарантийное обслуживание электрических сетей.

Тщательная работа на стадии предварительного проектирования позволяет оптимизировать задачу электроснабжения объекта, обеспечить его бесперебойную работу и простую эксплуатацию системы в дальнейшем. Для этого необходимо начинать разработку системы электроснабжения с анализа потребителей, экспертизы объекта, изучения возможных вариантов подключения к действующей системе электропитания объекта.

Очень важный этап - выбор электротехнического оборудования.

Электротехнические работы в типовом эксплуатируемом помещении (офисное, административное, производственное, складское, торговое и т.п.) состоят из следующих основных частей:

1. Установка щитов учета и распределения (с автоматами защиты, устройствами защитного отключения, счетчиками электрической энергии);
2. Устройство электропроводки в помещении, монтаж и подключение электрических приборов (токоприемников).

*Распределительные щиты.* Электрические распределительные щиты собираются из унифицированных модулей. Устанавливаемые в щит приборы (автоматы защиты, дифференциальные выключатели, реле, контакторы, счетчики, трансформаторы, таймеры, терморегуляторы и т.д.) имеют габаритные размеры кратные размеру одного модуля, щиты выпускаются как для навесного, так и для встроенного монтажа, имеют широкий диапазон типоразмеров, корпуса выполняются из пластмассы или из стали со специальным полимерным покрытием.

*Автоматические выключатели.* Автоматы защиты имеют отключающий механизм, обеспечивающий отключение для защиты от токов короткого замыкания и отключение с временной задержкой по току перегрузки. Автоматы могут быть однофазными и трехфазными.

*Дифференциальные автоматические выключатели.* Выключатели автоматические дифференциальные (дифавтоматы) предназначены для использования однофазной или трехфазной электрической сети в системе электроснабжения с заземленной нейтралью. Дифавтомат реагирует на дифференциальный (остаточный) ток (тип АС) и обеспечивает:

- повышение уровня безопасности при эксплуатации людьми бытовых и аналогичных электроприборов;
- предотвращение пожаров из-за возгорания изоляции токоведущих частей электроприборов от дифференциального (остаточного) тока на землю;
- автоматическое отключение участка электрической сети (в том числе квартирной) при перегрузке (ТЗ) и токе короткого замыкания (МТЗ).

*Счетчики электрической энергии.* Счетчики электрической энергии - электроизмерительные приборы для учета энергии переменного тока в однофазных и трехфазных сетях 220/380В с номинальной частотой 50 Гц. Счетчики могут быть однотарифные и двухтарифные (основная - дневная зона и льготная - ночь, суббота и воскресенье).

*Электропроводка.* Электропроводка представляет собой совокупность проводов и кабелей. По способу монтажа электропроводка подразделяется на открытую (по поверхности стен, потолков и другим строительным конструкциям), скрытую (внутри стен или перекрытий, в фундаментах, под полом по перекрытиям) и комбинированную (в кабель – каналах и лотках). При выборе кабельной продукции также учитывается класс помещения (по НПБ, ПУЭ) и степень возгораемости строительных материалов на которых монтируется проводка. В зависимости от этих факторов производится выбор марок проводов и кабелей для помещений.

Для надежности, долговечности и безопасности проводки главное определиться с выбором материала проводов и кабелей. В современном строительстве не рекомендуется использовать провода и кабели с жилами из алюминия, так как этот металл подвержен коррозии, со временем меняется его кристаллическая структура, а значит и электропроводящие свойства. Увеличение внутреннего сопротивления в итоге ведет к потерям электроэнергии, разогреву проводов и соединений. Медь по сравнению с алюминием имеет значительно более высокие качественные характеристики, поэтому при проведении электротехнических работ все чаще используют провода и кабели на основе меди.

Наиболее простым способом монтажа является открытая проводка. Она удобна тем, что любой ее участок легко доступен для ремонта и подключения новых токоприемников.

Недостатком этого способа является малая эстетичность и, в связи с этим, открытая проводка в современных помещениях используется очень редко.

Открытая проводка проводов по сгораемым основаниям выполняется по слою листового асбеста. При открытой проводке выключатели и розетки устанавливают на прикрепленных к стене пластмассовых подрозетниках.

Скрытая проводка наиболее распространена и безопасна в эксплуатации, так как расположена в толще несгораемого материала (отсутствуют механические воздействия, доступ воздуха к ней затруднен). Основным недостатком - невозможность без вскрытия стен подключить новые токоприемники. Скрытые провода выводят на поверхность стен или перекрытий (для присоединения к токоприемникам) через изоляционные пластмассовые трубки.

Проводка в кабель – каналах (коробах, лотках) находится на стыке открытого и скрытого способа прокладки проводов. С одной стороны, сохраняются все преимущества открытой проводки, с другой стороны, проводка в кабель – каналах более безопасна и изящна. Кроме того, в кабель-канал при наличии разделитель-

ной перегородки вместе с электропроводкой можно уложить провода слаботочных систем (компьютерные сети, телевизионный кабель, телефонный провод и т.д.).

*Электроустановочные изделия.* Электроустановочные изделия - розетки, выключатели, выключатели с инфракрасным датчиком, переключатели, электрические соединители, патроны, регуляторы света, диммеры (электронные регуляторы) и прочее. Материалом для установочных изделий служит ударопрочный пластик или поликарбонат, рамочная конструкция электроустановочных изделий позволяет выполнить набор нескольких функционально различных устройств в едином блоке.

*Освещение.* Создание искусственного освещения помещений реализуется подбором светильников мощностью, достаточной для освещения помещения конкретной площади. Светильники представляют собой осветительную арматуру с установленной в нее лампой. Классификация светильников производится по нескольким характеристикам - по распределению светового потока, по углу излучения, по назначению светильника и по типу используемого в светильнике источника света (лампы). Наиболее широко применяются:

- лампы накаливания (свечение создается путем подогрева вольфрамовой спирали),
- люминесцентные лампы (газоразрядная лампа, свечение создается путем возбуждения слоя люминофора с помощью ультрафиолетового излучения, возникающего во время разряда),
- газоразрядные лампы (свечение создается непосредственно от электрического разряда в газе, парах металла или в их смеси),
- галогенные лампы (заполненная газом лампа накаливания с вольфрамовой нитью).

*Частотно регулируемый привод.* В общем балансе электропотребления страны на долю электропривода приходится по разным оценкам 30-40%. Соответственно, здесь сосредоточен наибольший потенциал экономии электроэнергии. Нерациональные потери в электроприводе вызваны, главным образом, несоответствием его параметров, требуемым. Например, развиваемый насосом напор создаёт в гидравлической системе давление 60 м в. ст., а достаточным является давление 40м. При этом эксплуатационный персонал либо не предпринимает никаких действий, что приводит к перерасходу не только электроэнергии, но и воды, а также к ухудшению условий работы для оборудования в системе, либо ограничивает давление выходной задвижкой насоса. В последнем случае кроме потерь

энергии в задвижке имеет место нарушение правил эксплуатации запорной арматуры.

Регулируемый привод также позволяет:

- регулировать выходные параметры;
- осуществлять плавный пуск электродвигателя.

Современные преобразователи частоты (ПЧ) содержат регулятор технологического процесса, которого часто достаточно для стабилизации выходного показателя системы (давления, температуры и др.). Если же ЧРП включён в систему управления более высокого уровня, то обеспечивается и более сложное управление необходимым параметром.

В асинхронных электрических двигателях возникает необходимость регулировки частоты вращения ротора. С этой целью используется частотно-регулируемый привод, основным элементом которого является частотный преобразователь. В его конструкцию входит мост постоянного тока, он же – выпрямитель, преобразующий промышленный переменный ток в постоянный. Другая важная деталь – инвертор, выполняющий обратное преобразование постоянного тока в переменный с необходимой частотой и амплитудой.

*Принцип работы частотно регулируемого привода.* Асинхронные двигатели широко применяются в промышленности и на транспорте, являясь основной движущей силой узлов, машин и механизмов. Они отличаются высокой надежностью и сравнительно легко поддаются ремонту. Однако данные устройства могут вращаться только на одной частоте, которую имеет питающая сеть переменного тока. Для работы в различных диапазонах используются специальные устройства – частотные преобразователи, выполняющие регулировку частот до требуемых параметров (рис.1).



Рисунок 1 – Частотные преобразователи

Работа преобразователей тесно связана с принципом действия асинхронного двигателя. Его статор состоит из трех обмоток к каждой из которых подведен электрический ток, создающий переменное магнитное поле. Под действием этого поля в роторе индуцируется ток, который также приводит к возникновению магнитного поля. В результате взаимодействия полей статора и ротора, начинается вращение ротора.

Когда асинхронный двигатель запускается, происходит значительное потребление тока от питающей сети. Из-за этого привод механизма испытывает значительную перегрузку. Наблюдается скачкообразное стремление двигателя достичь номинальных оборотов. В результате, снижается срок службы не только самого агрегата, но и тех устройств, которые он приводит в действие.

Данная проблема успешно решается путем использования частотно регулируемого привода, позволяющего изменять частоту напряжения, питающего двигатель. Применение современных электронных компонентов делает эти устройства малогабаритными и высокоэффективными.

Принцип работы частотного преобразователя достаточно простой (рис.2). Вначале осуществляется подача сетевого напряжения к выпрямителю, где происходит его трансформация в постоянный ток. Затем он сглаживается конденсаторами и поступает на транзисторный преобразователь. Его транзисторы в открытом состоянии обладают крайне малым сопротивлением. Их открытие и закрытие происходит в определенное время при помощи электронного управления. Происходит формирование напряжения, аналогичного трехфазному, когда фазы смещаются относительно друг друга. Импульсы имеют прямоугольную форму, однако это совершенно не влияет на работу двигателя.

Частотные преобразователи имеют большое значение при работе трехфазного электродвигателя в однофазной сети. При такой схеме подключения необходимо использование фазосдвигающего конденсатора для создания вращающего момента. Эффективность агрегата заметно падает, однако частотный преобразователь увеличивает его производительность. Таким образом, применение частотно регулируемого электропривода делает управление трехфазными двигателями переменного тока более эффективным. В результате, улучшаются производственные технологические процессы, а энергоресурсы используются более рационально.

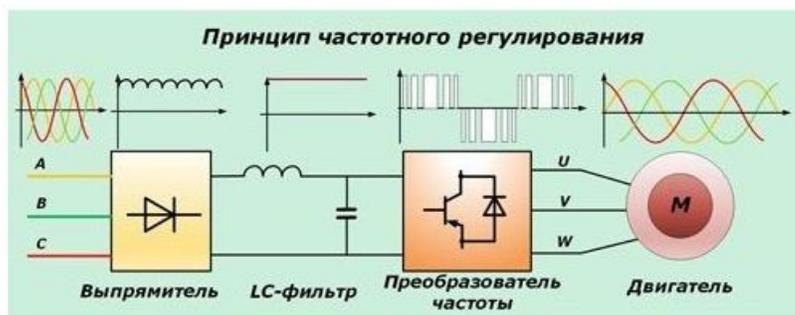


Рисунок 2 – Принцип частотного регулирования

*Преимущества и недостатки устройств регулировки частоты.* Данные регулировочные устройства обладают несомненными достоинствами и дают высокий экономический эффект. Они отличаются высокой точностью регулировок, обеспечивают пусковой момент равный максимальному. При необходимости электродвигатель может работать с неполной нагрузкой, что позволяет существенно экономить электроэнергию. Регулировщики частоты заметно продлевают срок эксплуатации оборудования. При плавном пуске двигателя, его износ становится намного меньше.

Частотно регулируемый привод поддается удаленной диагностике по промышленной сети. Это позволяет вести учет отработанных моточасов, распознавать выпадающие фазы во входных и выходных цепях, а также выявлять другие дефекты и неисправности.

К регулировочному устройству могут подключаться различные датчики, которые дают возможность настройки каких-либо величин, например, давления. Если сетевое напряжение неожиданно пропало, включается система управляемого торможения и автоматического перезапуска. Скорость вращения стабилизируется при изменяющейся нагрузке. Частотно регулируемый привод становится альтернативной заменой автоматического выключателя. В качестве основного недостатка следует отметить создание помех большинством моделей таких устройств. Для обеспечения нормальной работы необходимо устанавливать фильтры высокочастотных помех (рис 3).



Рисунок 3 – Фильтр высокочастотных помех

Кроме того, повышенная мощность частотно регулируемых приводов значительно поднимает их стоимость, поэтому минимальный срок окупаемости составляет 1–2 года.

*Применение регулировочных устройств.* Частотно регулировочные устройства применяются во многих сферах – в промышленности и в быту. Ими оборудуются прокатные станы, конвейеры, резательные автоматы, вентиляторы, компрессоры, мешалки, бытовые стиральные машины и кондиционеры. Приводы хорошо зарекомендовали себя в городском троллейбусном транспорте. Использование частотно регулируемых приводов в станках с числовым программным управлением позволяет синхронизировать движения сразу в направлении многих осей.

Максимальный экономический эффект эти системы дают при их использовании в различном насосном оборудовании (рис. 4). Стандартное управление насосами любых типов заключается в регулировке дросселей, устанавливаемых в напорных линиях и определении числа действующих агрегатов. За счет этого удастся получить определенные технические параметры, такие как давление в трубопроводе и другие.



Рисунок 4 – Насосное оборудование

Насосы имеют постоянную частоту вращения и не учитывают изменяющийся расход в результате переменного водопотребления. Даже в случае минимального расхода насосы будут поддерживать постоянную частоту вращения, приводя к созданию избыточного давления в сети и вызывая аварийные ситуации. Все это сопровождается значительным бесполезным расходом электроэнергии. В основном это происходит в ночное время при резком падении водопотребления.

С появлением частотно регулируемого привода появилась возможность поддержки постоянного давления непосредственно у потребителей. Данные системы хорошо зарекомендовали себя в совокупности с асинхронными двигателями общего назначения. Регулировка частоты позволяет изменять скорость вращения вала, делая ее более высокой или низкой по сравнению с номинальной. Дат-

чик давления, установленный у потребителя, передает информацию на частотно регулируемый привод, который, в свою очередь, изменяет частоту, поступающую к двигателю.

Современные регулирующие устройства отличаются компактными размерами. Они размещаются в корпусе, защищенном от пыли и влаги. Благодаря удобному интерфейсу, приборы могут эксплуатироваться даже в наиболее сложных условиях, при широком диапазоне мощности – от 0,18 до 630 киловатт и напряжении 220/380 вольт.

Классификация электрических сетей (ЭС) приведена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Классификация электрических сетей

По роду тока различают сети переменного и постоянного тока. Основное распространение получили сети трехфазного переменного тока. Однофазными выполняются внутриквартирные сети, как ответвление от трехфазной четырехпроводной сети.

Сети постоянного тока используются в промышленности (электрические печи, электролизные цеха) и для питания городского электротранспорта.

Постоянный ток используется для передачи энергии на большие расстояния. Но, на постоянном токе работает только ЛЭП: в начале и конце ЛЭП строятся преобразовательные подстанции, на которых происходит преобразование переменного тока в постоянный и обратно. Использование постоянного тока обеспечивает устойчивую параллельную работу генераторов ЭС. Также постоянный ток используется для организации связи электроэнергетических систем. При этом от-

клонение частоты в каждой системе практически не отражается на передаваемой мощности.

Существуют передачи пульсирующего тока. В них электроэнергия передается по общей линии одновременно переменным и постоянным токами. У такой передачи увеличивается пропускная способность по отношению к ЛЕП переменного тока и облегчается отбор мощности по сравнению с ЛЕП постоянного тока.

По напряжению согласно ГОСТ сети делятся на сети напряжением до 1000 В и сети напряжением выше 1000 В.

В литературе встречается и такое деление:

- сети низких напряжений (220 – 660 В);
- сети средних напряжений (6 – 35 кВ);
- сети высоких напряжений (110 – 220 кВ);
- сети сверхвысоких напряжений (330 – 750 кВ);
- сети ультравысоких напряжений (более 1000 кВ).

По конструктивному исполнению различают воздушные и кабельные сети, проводки и токопроводы.

Токопровод – это установка для передачи и распределения электроэнергии, которая используется на промышленных предприятиях[11]. Состоит из неизолированных или изолированных проводников, изоляторов, защитных оболочек и опорных конструкций.

По расположению сети делятся на *наружные* и *внутренние*. Наружные выполняются неизолированными (голыми) проводами и кабелями. Внутренние выполняются изолированными проводами.

По конфигурации сети делятся на *разомкнутые* и *замкнутые*. Разомкнутые сети питаются от одного источника питания и передают электроэнергию к потребителям только в одном направлении.

По характеру потребителей сети делятся на *городские*, *промышленные* и *сельские*.

По назначению в схеме электроснабжения сети делятся на *местные* и *районные*.

По режиму работы нейтрали сети делятся:

- на сети с изолированной нейтралью;
- на сети с компенсированной нейтралью;
- на сети с эффективно – заземленной нейтралью;
- на сети с глухозаземленной нейтралью.

*Виды освещения.* В зависимости от природы источника световой энергии различают естественное, искусственное и совмещенное освещения.

Естественное освещение подразделяют на:

- боковое (одно- или двустороннее), когда свет проникает в помещение через световые проемы в наружных стенах;
- верхнее, осуществляемое через фонари и световые проемы в кровле;
- верхнее и боковое, сочетающее верхнее и боковое освещения.

Совмещенное освещение применяют в помещениях с недостаточным естественным светом, который дополняется электрическими источниками света, работающими, как и в темное, так и в светлое время суток.

Искусственное (электрическое) освещение по характеру выполняемых задач делят на рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное и дежурное.

Рабочее освещение устраивают во всех помещениях, а также на открытых территориях, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение предусматривают на случай, когда прекращение или нарушение нормального обслуживания оборудования вследствие выхода из строя рабочего освещения может вызвать пожар, взрыв или отравление людей. А также длительное нарушение технологического процесса, отказ в работе связи, тепло- или электроснабжения, канализации, опасность травмирования, нарушение нормального обслуживания больных.

Эвакуационное освещение (аварийное для эвакуации людей) выполняют в местах, опасных для передвижения людей, в основных проходах и на лестничных клетках зданий, в которых работает более 50 чел., или жилых домов в пять этажей и выше, а также в помещениях, выход людей из которых при аварии освещения связан с опасностью травмирования.

Для аварийного и эвакуационного освещений разрешается использовать только лампы накаливания, а также люминесцентные лампы в помещениях с температурой воздуха не ниже + 5 °С при условии питания ламп напряжением не менее 90% номинального. Светильники аварийного освещения должны отличаться от осветительных приборов рабочего освещения.

Охранное освещение устраивают вдоль границы площадок предприятий, охраняемых в ночное время. При этом освещенность должна быть 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или в вертикальной плоскости на уровне 50 см от земли. При необходимости часть светильников любого вида освещения можно использовать для дежурного освещения.

*Системы освещения.* По конструктивному исполнению различают две системы электрического освещения — общее и комбинированное. При общем освещении (равномерном и локализованном) все рабочие места в помещении освещаются от общей осветительной установки. Если к общему освещению добавляют местное, сосредоточивающее световой поток непосредственно на рабочих местах, то такое освещение называют комбинированным.

Освещенность на рабочих поверхностях, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять 10% нормируемой. Эта величина, однако, не может быть менее 150 лк для газоразрядных и 50 лк для ламп накаливания. Одно местное освещение к применению не допускается, так как вызывает необходимость частой переадаптации, зрения, создает глубокие и резкие тени, опасность травмирования и другие неблагоприятные факторы.

### **1.3 Системы теплоснабжения и теплопотребления**

Теплоснабжение - снабжение теплом жилых, общественных и промышленных зданий (сооружений) для обеспечения коммунально-бытовых (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение) и технологических нужд потребителей [12]. Теплоснабжение включает в себя также подогрев водопроводной воды и воды в плавательных бассейнах, обогрев теплиц и т.д.

Тепло в современных системах централизованного теплоснабжения может транспортироваться на расстояние нескольких десятков км. Развитие систем теплоснабжения характеризуется повышением мощности источника тепла и единичных мощностей установленного оборудования. Тепловые мощности современных ТЭЦ достигают 2 – 4 Ткал/ч, районных котельных 300 - 500 Гкал/ч. В некоторых системах теплоснабжения осуществляется совместная работа нескольких источников тепла на общие тепловые сети, что повышает надёжность, манёвренность и экономичность теплоснабжения.

Нагретая в котельной вода может циркулировать непосредственно в системе отопления. Горячая вода нагревается в теплообменнике системы горячего водоснабжения (ГВС) до более низкой температуры, порядка 50-60 °С. Температура обратной воды может оказаться важным фактором защиты котла. Теплообменник не только передает тепло от одного контура другому, но и эффективно справляется с перепадом давлений, который существует между первым и вторым контурами.

Необходимая температура подогрева пола (30 °С) может быть получена путем регулирования температуры циркулирующей горячей воды. Перепад темпера-

тур может быть также достигнут при использовании трехходового клапана, смешивающего в системе горячую воду с обратной.

Регулирование отпуска тепла в системах теплоснабжения (суточное, сезонное) осуществляется как в источнике тепла, так и в теплопотребляющих установках.

В водяных системах теплоснабжения обычно производится так называемое центральное качественное регулирование подачи тепла по основному виду тепловой нагрузки – отоплению или по сочетанию двух видов нагрузки - отопления и горячего водоснабжения. Оно заключается в изменении температуры теплоносителя, подаваемого от источника теплоснабжения в тепловую сеть, в соответствии с принятым температурным графиком (то есть зависимостью требуемой температуры воды в сети от температуры наружного воздуха). Центральное качественное регулирование дополняется местным количественным в тепловых пунктах; последнее наиболее распространено при горячем водоснабжении и обычно осуществляется автоматически. В паровых системах теплоснабжения в основном производится местное количественное регулирование; давление пара в источнике теплоснабжения поддерживается постоянным, расход пара регулируется потребителями.

Системы децентрализованного теплоснабжения разделяются на индивидуальные и местные. В индивидуальных системах теплоснабжение каждого помещения (участок цеха, комната, квартира) обеспечивается от отдельного источника. К таким системам относятся печное и поквартирное отопление. В местных системах теплоснабжение каждого здания обеспечивается от отдельного источника теплоты, обычно от местной котельной.

### **1.3.1 Классификация системы теплоснабжения**

При проектировании и эксплуатации систем теплоснабжения необходимо учитывать:

- вид теплоносителя (вода или пар);
- параметры теплоносителя (температура и давление);
- максимальный часовой расход тепла;
- изменение потребления тепла в течение суток (суточный график);
- годовой расход тепла;
- изменение потребления тепла в течение года (годовой график);
- характер использования теплоносителя у потребителей (непосредственный забор его из тепловой сети или только отбор тепла).

В зависимости от размещения источника теплоты по отношению к потребителям системы теплоснабжения разделяются на два вида:

- 1) централизованные;
- 2) децентрализованные.

Процесс централизованного теплоснабжения состоит из трех операций: подготовки, транспорта и использования теплоносителя.

Подготовка теплоносителя производится в специальных теплоподготовительных установках на ТЭЦ, а также в городских, районных, групповых (квартальных) или промышленных котельных. Транспортируется теплоноситель по тепловым сетям, а используется в теплоприемниках потребителей. В системах централизованного теплоснабжения источник теплоты и теплоприемники потребителей размещены раздельно, часто на значительном расстоянии, поэтому передача теплоты от источника до потребителей производится по тепловым сетям.

В зависимости от степени централизации системы централизованного теплоснабжения можно разделить на следующие четыре группы:

- групповые (теплоснабжение группы зданий);
- районные (теплоснабжение нескольких групп зданий (района));
- городские (теплоснабжение нескольких районов);
- межгородские (теплоснабжение нескольких городов).

По виду теплоносителя системы централизованного теплоснабжения разделяют на водяные и паровые. Вода используется для удовлетворения сезонной нагрузки и нагрузки горячего водоснабжения (ГВС); пар – для промышленной технологической нагрузки.

В децентрализованных системах теплоснабжения источник теплоты и теплоприемники потребителей совмещены в одном агрегате или размещены столь близко, что передача теплоты от источника до теплоприемников может производиться без промежуточного звена – тепловой сети.

Снабжение теплом потребителей (систем отопления, вентиляции, на технологические процессы и горячее водоснабжение зданий) состоит из трёх взаимосвязанных процессов:

- сообщение тепла теплоносителю;
- транспорт теплоносителя;
- использование теплового потенциала теплоносителя.

В соответствии с этим, каждая система теплоснабжения состоит из трёх звеньев: источник тепла – трубопроводы системы теплопотребления с нагревательными приборами.

Системы теплоснабжения классифицируются по следующим основным признакам:

- по мощности;
- по виду источника тепла;
- по виду теплоносителя.

По виду теплоносителя системы теплоснабжения делятся на две группы:

- водяные системы теплоснабжения;
- паровые системы теплоснабжения.

#### **1.4 Системы ГВС и холодной воды**

ГВС (система горячего водоснабжения) – совокупность устройств, обеспечивающих нагрев холодной воды и распределение ее по водоразборным приборам[13].

Воду нагревают в теплообменных аппаратах до температуры 60-75°C и с помощью насосов подают по трубопроводам в жилые, общественные и производственные здания на бытовые и технологические нужды. Вода в системах бытового и производственно-бытового система горячего водоснабжения должна быть питьевого качества. В точках водоразбора горячая вода должна иметь температуру не ниже 50°C. При пользовании ею потребитель может снижать ее температуру до требуемой, подмешивая к ней холодную воду в смесителях, установленных в местах водоразбора. Нормы расхода горячей воды для бытовых нужд зависят от назначения объекта. Для жилых и общественных зданий нормы расхода приведены в соответствующих строительных нормах и правилах, расход горячей воды на производственные нужды определяется требованиями технологии, процесса.

Система горячего водоснабжения включает в себя следующие элементы: теплогенератор, водоподогреватель или смесительную установку, подающий трубопровод, состоящий из магистрали и подающих водоразборных стояков циркуляционные магистрали и стояки циркуляционный насос водоразборную арматуру, приборы автоматического регулирования параметров и контроля расхода горячей воды.

По принципу приготовления горячей воды системы горячего водоснабжения делят на закрытые и открытые.

В закрытых системах ГВС, в водоподогревателях, поступающая из водопровода холодная вода нагревается. В таких системах во внутридомовые трубопроводы поступает горячая вода, содержащая растворенный кислород и соли жесткости. Установка деаэраторов в тепловых пунктах не распространяется из-за сложности

их эксплуатации, но наличие кислорода приводит к коррозии внутренней поверхности труб, что не очень эффективно и рентабельно. Одно из достоинств закрытых систем горячего водоснабжения, это высокое качество горячей воды. А недостаток – значительная стоимость водоподогревательной установки.

В открытых системах ГВС используют теплоноситель, циркулирующий в системе теплоснабжения. В этой системе применяют автоматические смесители, регулирующие отбор воды из подающего и обратного трубопроводов для получения горячей воды с нужной температурой, так как температуры воды в трубопроводах тепловой сети постоянны и зависят от температуры наружного воздуха.

Смесительная установка может предусматриваться в каждом здании (индивидуальная) или для группы зданий (групповая) в центральном тепловом пункте. Подача горячей воды в верхние водоразборные приборы с необходимым напором на излив происходит за счет избыточного давления в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети в точке присоединения к зданию. Напор в обратном трубопроводе должен быть больше высоты присоединяемого здания на величину свободного напора на излив.

Отбор воды из трубопроводов на горячее водоснабжение компенсируется соответствующей подпиткой из источников теплоты. В открытых системах на нужды водоснабжения поступает вода не лучшего санитарного качества, чем в закрытых системах, т.к. проходя через системы отопления, вода приобретает посторонний запах и цвет. Но коррозия внутренней поверхности труб минимальная, так как вода проходит химическое очищение, деаэрацию. Из-за отсутствия водоподогревателей стоимость открытых систем ГВС меньше стоимости закрытых.

В зависимости от тепловой мощности и места расположения установки для приготовления горячей воды различаются центральные и децентрализованные системы ГВС. Стоимость первых больше из-за значительной протяженности трубопроводов, транспортирующих горячую воду к водоразборным приборам, но при этом выше и уровень комфортности жилища, т.к. при децентрализованном горячем водоснабжении эксплуатация установок осуществляется жильцами.

ХВС (система холодного водоснабжения) – комплекс взаимосвязанных сооружений, обеспечивающий подачу воды потребителям, включающий водозаборные сооружения, насосные станции, сооружения по улучшению качества воды, регулирующие и запасные емкости, водоводы, водопроводящую сеть труб и охладители воды[13]. В зависимости от назначения и местных условий некоторые из перечисленных сооружений в системах могут отсутствовать.

Система оборотного холодного водоснабжения может быть охлаждающей или технологической. В первой вода используется для охлаждения газообразных и жидких технологии, продуктов или технологического оборудования. При этом вода нагревается, поступает в градирни, пруды или бассейны, где охлаждается и возвращается в систему. Обычно часть воды сбрасывается в водоем путем продувки ХВС.

При большом расстоянии между системы холодного водоснабжения, их разделяют на зоны, устройство которых позволяет снизить излишне высокие напоры воды у потребителей, расположенных в пониженных местах территории, и уменьшить расход электроэнергии, затрачиваемой на подъем воды. Зонирование может быть осуществлено по параллельным или последовательным схемам. При параллельной схеме, предусматривают единую насосную станцию с насосами, обеспечивающими разные напоры для обслуживания отдельных зон. При последовательной – насосные станции для каждой зоны. При этой схеме протяженность водоводов и масса труб меньше, чем при параллельном.

Основное преимущество системы прямоточного водоснабжения – ее простота (по сравнению с оборотного). В ней отсутствуют охладители воды, насосные станции оборотной воды, дополнительные сети труб и другие сооружения. Если нет необходимости в очистке производственной отработавшей воды, то вся ХВС будет состоять из насосной станции и системы подающих и отводящих трубопроводов.

Преимущество системы оборотного водоснабжения состоит в том, что из источника подается значительно меньшее количество воды, (чем при прямоточной). Это количество воды должно лишь компенсировать ее потери от испарения и уноса капель ветром из охладителей и расход воды на продувку ХВС, которое зависит от качества добавляемой воды и способа ее обработки.

При оборотном водоснабжении диаметр водоводов, а, следовательно, и их стоимость, значительно уменьшаются, снижаются размеры и стоимость водозаборных сооружений и насосных станций первого подъема, расход энергии, необходимой для подачи воды на территорию предприятия, появляется возможность использовать для производственного водоснабжения источники с небольшим дебитом воды, заметно уменьшается стоимость очистных сооружений для добавочной воды.

При оборотной системе в водоем сбрасывается гораздо меньше отработавшей воды, чем при прямоточной. В связи с этим облегчается задача охраны водо-

емов от загрязнения сточными водами, уменьшаются размеры и стоимость очистных сооружений и трубопроводов, отводящих отработавшую и очищенную воду.

### 1.4.1 Классификация системы ГВС и холодной воды

Система горячего водоснабжения включает в себя следующие элементы: теплогенератор, водоподогреватель или смесительную установку, подающий трубопровод, состоящий из магистрали и подающих водоразборных стояков циркуляционные магистрали и стояки циркуляционный насос водоразборную арматуру, приборы автоматического регулирования параметров и контроля расхода горячей воды. Системы горячего водоснабжения подразделяются по ряду признаков. Классификация систем горячего водоснабжения представлена в таблице 1.

Таблица 1– Классификация системы ГВС

№	Признаки	Виды
1	По месту выработки горячей воды	Местные
		Централизованные
2	По характеру использования сетевой воды	Система непосредственного водоразбора (открытая)
		Система с водонагревателем (закрытая)
3	По источнику давления обеспечивающему работу СГВ	Системы, работающие под давлением т/сети
		Системы, работающие под давлением холодного водопровода
		Насосные системы
		Работающие под давлением от баков-аккумуляторов
4	По разводке	С верхней разводкой
		С нижней разводкой
5	По наличию и способу обеспечения циркуляции	Без циркуляции
		С естественной циркуляцией
		С искусственной циркуляцией
6	По наличию и расположению баков-аккумуляторов	Без баков-аккумуляторов
		Системы с верхними баками
		Системы с нижними баками
7	По видам потребления	Бытовое.
		В общественных зданиях
		Коммунально-бытовое.
		Промышленное (технологическое).

По радиусу и сфере действия они делятся на местные и централизованные.

Местные системы устраиваются для одного или группы небольших зданий, где вода нагревается непосредственно у потребителя. Примером местных систем

горячего водоснабжения может служить подогрев воды в газовых водонагревателях проточного типа или емкостных автоматических водонагревателях АГВ, установленных в квартирах.

Местные установки используются при отсутствии источников централизованного снабжения теплотой. К положительным сторонам местных установок следует отнести: автономность работы; малые теплопотери; независимость сроков ремонта каждой в отдельности от сроков ремонта общих устройств.

Централизованные системы горячего водоснабжения (ЦСГВ) связаны с развитием мощных источников теплоты (с появлением районных котельных, систем теплоснабжения).

Возникновение ЦСГВ сопутствовало развитию районных систем теплоснабжения для отопления зданий. Для потребителей централизованные системы горячего водоснабжения более просты и гигиеничны. Получение горячей воды потребителям доступней, чем при подогреве воды в местных установках. Однако центральные системы горячего водоснабжения имеют ряд недостатков, а именно:

- необходима сложная служба эксплуатации городского теплоснабжения;
- требуется значительно более высокая культура технического обслуживания трубопроводных систем, работающих при высоких давлениях и высоких температурах;
- транспортировка теплоносителя на большие расстояния сопровождается большими теплопотерями;

В зависимости от источников теплоты системы ЦСГВ могут использовать:

- закрытые или открытые тепловые сети (сети ТЭЦ или районных котельных), где теплоносителем является перегретая вода;
- паропроводы; особенно часто встречаются случаи использования вторичного (сбросного) пара на промпредприятиях.

Открытые тепловые сети предусматривают непосредственное смешение сетевой воды с нагреваемой в смесительных устройствах, в которых нагреваемая вода вступает в непосредственный контакт с теплоносителем.

Закрытые тепловые сети предусматривают нагрев воды через поверхности, где теплоноситель (пар или перегретая вода) и нагреваемая вода не соприкасаются, а теплота передается через поверхность теплообмена.

В зависимости от способов получения воды и обеспечения напоров в сети от системы холодного водопровода системы горячего водоснабжения также, в свою очередь, делятся на открытые и закрытые.

В открытых системах вода поступает из промежуточного резервуара через поплавковые клапаны. Давление в этих системах определяется высотой их расположения.

Закрытые системы горячего водоснабжения питаются водой непосредственно от холодного водопровода и находятся под давлением насосов его системы.

В зависимости от способа аккумуляции теплоты на горячее водоснабжение различают системы, имеющие дополнительные емкости - аккумуляторы теплоты, и системы, не имеющие аккумуляторов.

По способу циркуляции различают системы:

- с искусственной (принудительной) - циркуляцией насосами;
- с естественной - циркуляцией за счет разности плотностей холодной и горячей воды;
- со смешанной циркуляцией.

ХВС классифицируют по различным признакам:

- по виду источника водоснабжения. Питающиеся поверхностными (реки, озера, водохранилища, моря) или подземными (артезианские, грунтовые или родниковые воды) водами;
- по территориальному охвату потребителей. Местные, предусматривающие обеспечение водой отдельных объектов, и сельскохозяйственные групповые или районные, обслуживающие разнородные промышленные предприятия, города, поселки;
- по назначению или видам потребителей. Хозяйственно-питьевые, производственные, противопожарные, железнодорожные, поливочные;
- по способу подачи воды. Самотечные и нагнетательные, в которых вода подается насосами;
- по кратности использования подаваемой воды. Прямоточные, в которых техническая отработавшая вода после обработки, очистки и иногда охлаждения сбрасывается в водоем повторного использования.

### **1.5 Классификация энергетических систем**

Классификация энергетических систем, применяемых в промышленности представлена в таблицах 2 – 5. Одновременно представлены типовые энергосберегающих мероприятий для данных систем и примерная экономия энергоресурсов, при использовании существующих энергосберегающих мероприятий.

Таблица 2 – Классификация системы электроснабжения

СЭС	Сеть	Напряжение	Режим работы нейтралей	Энергосберегающие мероприятия	Экономия	
СЭС	Городское потребление	Переменный ток	До 1000 В.	Сети с глухозаземленной нейтралью	1. Поддержание номинальных значений напряжения в сетях 2. Увеличение коэффициентов загрузки электроприемников и ограничение их холостого хода 3. Оснащение систем электроснабжения системами мониторинга 4. Замена электромашинных преобразователей электроэнергии на полупроводниковые 5. Применение частотно-регулируемых приводов для насосов, вентиляторов и компрессоров	1 – 1,5 % 10 – 30 % от потребляемой электроэнергии 10 – 20 % До 20 % До 20 %
			Свыше 1000 В.	Сети с изолированной нейтралью		
			Сети с компенсированной нейтралью			
	До 1000 В.		Сети с глухозаземленной нейтралью			
	Свыше 1000 В.		Сети с изолированной нейтралью			
	Сети с компенсированной нейтралью					
Промышленное потребление	Сельское потребление	До 1000 В.	Сети с глухозаземленной нейтралью			
		Свыше 1000 В.	Сети с изолированной нейтралью			
		Сети с компенсированной нейтралью				

Таблица 3 – Классификация систем освещения

	Виды	Подразделения	Энергосберегающие мероприятия	Годовая экономия
Система освещения	Естественное освещение	Боковое	1. Замена ламп накаливания газоразрядными типа ДРЛ, ДРИ, люминесцентными сокращает расход электроэнергии в 2,5 – 3 раза для получения той же освещенности 2. Переход на светильники с эффективными разрядными	60 – 66 %
		Верхнее		
		Обобщённое		
	Искусственное освещение	Рабочее	- использование энергоэкономичных ЛЛ	10 – 15 %
		Аварийное	- использование КЛЛ (при прямой замене ЛН)	75 – 80 %
		Эвакуационное	- замена ЛН на ЛЛ	40 – 54 %
		Охранное	- замена ЛН на МГЛ	54 – 65 %
		Дежурное	- замена ЛН на НЛВД	57 – 71 %
		В темное время суток	- замена ЛЛ на МГЛ - замена ДРЛ на МГЛ - переход от ламп ДРЛ на лампы ДнаТ - замена ДРЛ на НЛВД - улучшение стабильности характеристик ламп (снижение коэффициента запаса) - замена электромагнитных ПРА с пониженными потерями для ЛЛ повышает светоотдачу комплекта на 6 – 26 %	20 – 23 % 30 – 40 % 50 % 38 – 50 % 20 – 30 %
	Совмещенное освещение	В светлое время суток	- применение электронных ПРА повышает светоотдачу комплекта на 14 – 55 %	30 – 40 %
			3. Применение комбинированного (общего + локального) освещения позволяет снизить интенсивность общего освещения	70 %
			4. Применение световых приборов нужного конструктивного исполнения с повышенным эксплуатационным КПД снижает коэффициент запаса (на 0,2 – 0,35) 5. Автоматическое поддержание заданного уровня освещённости с помощью частотных регуляторов питания люминесцентных ламп	20 – 65 25 – 45 % До 25 – 30 %

Таблица 4 – Классификация систем теплоснабжения

				Энергосберегающие мероприятия	Экономия
Система теплоснабжения	Централизованные системы	Групповые	Источники тепла	1. Перевод системы отопления на дежурный режим в нерабочее время, праздничные и выходные дни 2. Внедрение пофасадного регулирования системы отопления 3. Установка регуляторов температуры теплоносителя на системы отопления 4. Установка теплоотражателя, представляющего собой теплоизоляционную прокладку с отражающим слоем, между отопительным прибором и стенкой 5. Установка конденсатоотводчиков увеличивает КПД пароиспользующего оборудования за счет уменьшения доли пролетного пара 6. Замена трубчатых теплообменников на пластинчатые, и использование энергоэффективных радиаторов 7. Использование пара вторичного вскипания в условиях открытых систем сбора конденсата 8. Использование горячей воды, сливаемой с охладительных устройств печей, теплообменных аппаратов, компрессоров и другого оборудования 9. Утилизация отработанного пара в поверхностных теплообменниках (при условии загрязнения конденсата) или в смешивающем подогревателе 10. Перевод отопительной системы, использующей в качестве теплоносителя пар, на горячую воду	10 – 15 % 2 – 3 % Около 15 %
		Районные	Водяные системы		2 – 3 %
		Городские	Паровые системы		5 – 10 %
		Межгородские			5 – 10 %
	Децентрализованные системы		5 – 10 % 5 – 8 % 3 – 5 % 1 – 2 % 20 – 30 %		

Таблица 5 – Классификация систем ГВС и холодной воды

		Потребление	Выработка	Циркуляция	Энергомероприятия	Экономия	
Система ГВС и холодной воды	ГВС	Бытовое	Местное	Безциркуляции	1. Составление руководств по эксплуатации, управлению и обслуживанию систем ГВС и периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением 2. Оснащение систем ГВС счетчиками расхода горячей воды 3. Снижение потребления за счет оптимизации расходов и регулирования температуры 4. Своевременное устранение утечек	5 – 10 %	
		В общественных зданиях				10 – 20 %	
		Коммунально-бытовое		Централизованное		С естественной	10 – 20 %
		Промышленное				С искусственной	5 – 10 %
	ХВС	Территория	Источники	Потребители	Энергомероприятия	Экономия	
		Местные	Питающие	Хозяйственно-питьевые Производственные Противопожарные Железнодорожные поливочные	1. Установка счетчиков расхода воды 2. Внедрение оборотного водоснабжения снижает потребление свежей воды, позволяет экономить электрическую энергию	До 20 %	
		Районные				Подземные	До 15 – 20 %

Данная классификация позволяет разделить энергетические системы и показать энергосберегающие мероприятия с примерной экономией энергоресурсов, что позволит упростить работу проведения энергетического обследования (энергоаудита). Так как, в работу энергоаудита входит определение уровня эффективности использования энергоресурсов, и разработка рекомендаций по снижению энергетических расходов. Обязательным итогом энергетического обследования предприятия является выдача рекомендаций по оптимизации технологии производства и потребления энергоресурсов с точки зрения повышения энергетической эффективности предприятия.

В работе энергоаудита входит определение уровня эффективности использования энергоресурсов, и разработка рекомендаций по снижению энергетических расходов. Обязательным итогом энергетического обследования предприятия является выдача рекомендаций по оптимизации технологии производства и потребления энергоресурсов с точки зрения повышения энергетической эффективности предприятия.

Данная классификация позволять выделить структуры энергетических систем, что упрощает работу при энергетическом обследовании.

В приведенных выше таблицах, приведена классификационная структура с энергосберегающими мероприятиями, которые могут является рекомендаций по оптимизации технологии производства и потребления энергоресурсов. А также в таблицах приведены значения годового экономического эффекта от внедрения данных мероприятий (данные СРО НП «Союз энергоаудитов»).

## 2 Энергосберегающие мероприятия в различных энергетических системах

### 2.1 Типовые мероприятия по энергосбережению

Системы электроснабжения и электропотребления. Часто, системы электроснабжения эксплуатируются не в номинальных режимах. Недогруженные или перегруженные электрооборудование и распределительные сети, приводят к увеличению доли потерь в трансформаторах, электродвигателях, и к снижению коэффициента мощности в системе электроснабжения. Экономия потребляемой мощности достигается через снижение потерь электрической энергии в системе трансформирования, распределения и преобразования (трансформаторы, распределительные сети, электродвигатели, системы электрического внешнего и внутреннего освещения), а также через оптимизацию режимов эксплуатации оборудования, потребляющего эту энергию.

*Системы учета расхода электрической энергии.* При постоянном учете расхода электроэнергии осуществляется входной коммерческий учет на линии разграничения с энергосбытом, технический учет расхода электроэнергии в крупных узловых точках системы электроснабжения, на наиболее мощных электроустановках и т.д. При хорошо отлаженной системе коммерческого учета, техническому учету обычно уделяется мало внимания. Это выражается в виде устаревших приборов учета, не способных отображать информацию в реальном режиме времени, отсутствии систематических проверок электросчетчиков.

Таким образом, отсутствие достоверной информации об объемах потребления электроэнергии, оперативный учет и контроль за потреблением электроэнергии, не позволяет своевременно принимать меры к незапланированному потреблению энергоресурсов.

*Системы трансформирования.* Как отмечено ранее, что при недогрузках и перегрузках оборудования, наблюдаются неоправданные потери в трансформаторах. Когда потребляемая мощность значительно ниже номинальной мощности трансформатора, работающего в режиме, близком к режиму холостого хода, потери составляют 0,2 – 0,5% от номинальной мощности трансформатора [2]. Экономия электроэнергии обеспечивается за счет отключения ненагруженных трансформаторов, увеличивая степень загрузки остальных трансформаторов.

*Системы регулирования коэффициента мощности.* Асинхронные электродвигатели и трансформаторы являются основными источниками реактивной мощности на предприятиях. При работе электродвигателей и трансформаторов генерируется реактивная нагрузка. В сетях и трансформаторах циркулируют тока ре-

активной мощности, которые приводят к дополнительным активным потерям. Для компенсации реактивной мощности, применяются батареи статических конденсаторов и синхронные электродвигатели, работающие в режиме перевозбуждения.

Для большей эффективности компенсаторы располагают как можно ближе к источникам реактивной мощности, чтобы эти токи не циркулировали в распределительных сетях и не вносили дополнительные потери электрической энергии.

*Системы преобразования электрической энергии.* Самыми распространенными потребителями электрической энергии являются электродвигатели. На них приходится около 70% потребления электроэнергии[3]. Большую долю установленной мощности составляют асинхронные электродвигатели.

Для разработки мероприятий по энергосбережению во время проведения энергоаудита необходимо проверять соответствие мощности электродвигателя потребляемой мощности нагрузки, т.к. завышение мощности приводного электродвигателя приводит к снижению КПД и коэффициента мощности. К снижению коэффициента мощности приводит создание магнитного поля системы, с уменьшением степени загрузки двигателя возрастает доля потребляемой реактивной мощности. При завышенной мощности электродвигателя следует произвести замену электродвигателя на меньшую мощность. Целесообразность капитальных затрат на замену одного двигателя другим двигателем с соответствующей номинальной мощностью определяется следующими положениями:

1. Целесообразно производить замену при загрузке менее 45%.
2. При загрузке 45 – 70% для замены требуется проводить экономическую оценку мероприятия.
3. При загрузке более 70% замена нецелесообразна.

В установках с регулированием числа оборотов (насосы, вентиляторы, воздуходувки) широко применяются регулируемые электроприводы, в основном с преобразователями частоты для асинхронных и синхронных электродвигателей. Такие электропривода применяются в системах с переменным расходом (жидкости, воздуха).

*Системы освещения.* На освещение, в электропотребление предприятия, приходится до 8% расхода электрической энергии. Энергетический эффект определяется степенью использования энергоэффективных источников света. На данном этапе развития светотехнического оборудования наиболее энергоэффективными являются:

- светодиодные (СД);
- натриевые высокого давления (ДНаТ);

- металлогалогенные (ДРИ);
- люминесцентные (ЛБ) лампы.

Выбор того или иного типа ламп определяется двумя обстоятельствами: экологическими аспектами и энергоэффективностью.

Замена ламп накаливания на энергоэффективные позволяет получить следующие величины экономии электрической энергии (средние значения), которые представлены на рисунке 1[3]. На Рисунке 2 представлены величины экономии электрической энергии (средние значения), при замене ртутных ламп типа ДРЛ на энергоэффективные.

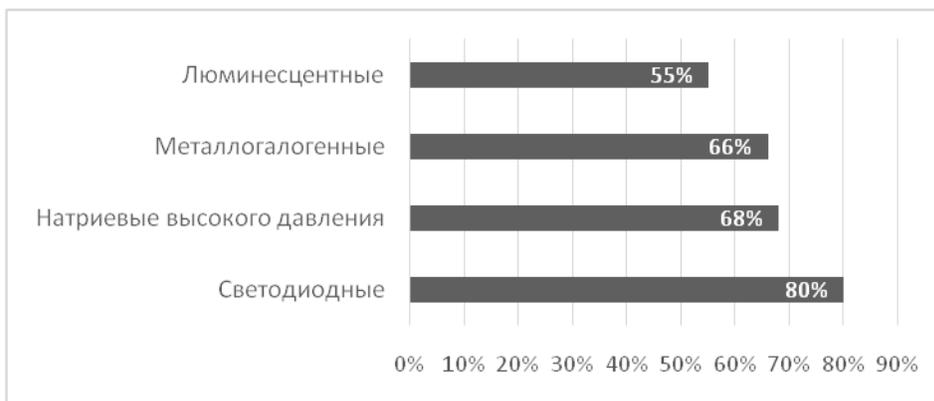


Рисунок 6 – Экономия электрической энергии (средние значения) при замене ламп накаливания на энергоэффективные

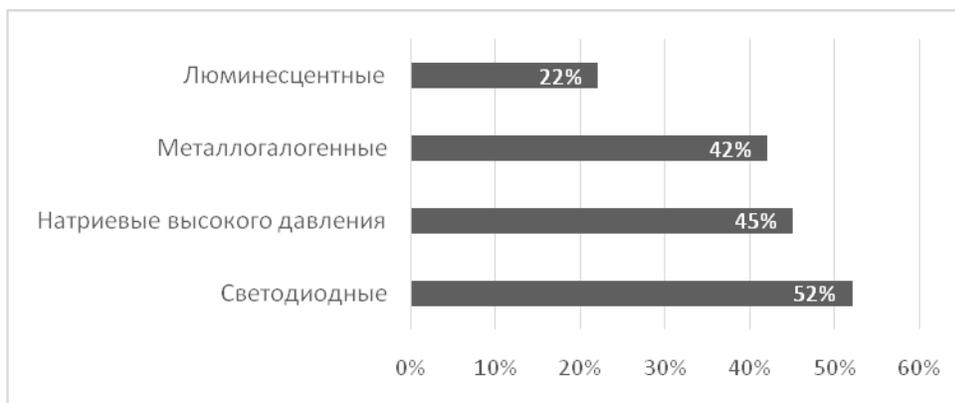


Рисунок 7 – Экономия электрической энергии (средние значения) при замене ртутных ламп типа ДРЛ на энергоэффективные

состоит из теплогенерирующей установки (котельная или теплоэлектроцентраль), системы магистральных теплотрасс, разводящих тепло к центральным тепловым пунктам, разводящих теплотрасс, индивидуальных тепловых пунктов и системы отопления цехов и зданий.

*Системы учета расхода тепловой энергии.* На предприятиях ведется, как учет расхода тепловой энергии, так и когда система учета основана на приблизительном распределении тепловой энергии между подразделениями. Но, такой подход не позволяет получить достоверную информацию по теплопотреблению.

Таким образом, отсутствие достоверная информация об объемах потребления тепловой энергии не позволяет своевременно принимать меры к незапланированному потреблению энергоресурсов.

*Котельное оборудование.* Раз в 3 – 5 лет в котельных проводятся пусконаладочные работы и тепловые балансовые испытания, в которых проверяется КПД котлов, подбирается оптимальный, по результатам газового анализа, коэффициент избытка воздуха на различных режимах нагрузки котлов. Составляются режимные карты работы котлов. Эти работы проводятся специализированными наладочными организациями.

*Системы водопотребления, вентиляции.* Основным элементом систем водоснабжения и водоотведения являются насосы. От их правильного выбора, эффективного регулирования зависит, как экономия электрической энергии, так и перерасход воды через неплотности (утечки) системы и потребителем вследствие превышения давления перед водоразборными вентилями. Резервы экономии по электроэнергии оцениваются по величине потерь напора на насосных станциях при дросселировании избыточного давления на задвижках после насосов и у потребителя, по продолжительности работы насосов в неэкономичных режимах.

Основным мероприятием, обеспечивающим энергоэффективные режимы работы насосных установок, является применение частотно-регулируемого электропривода с автоматической системой стабилизацией давления при переменном расходе или с автоматической системой стабилизацией уровня в емкости (зумпфе) при переменном притоке жидкости в емкость, например, в канализационных системах. Экономия по электроэнергии в этих системах составляет 25 – 35% по сравнению с неэкономичным режимом работы насосной установки[2].

Проведя анализ различных энергетических систем, можно выделить следующие энергосберегающие мероприятия, которые представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Энергосберегающие мероприятия энергетических систем

Энергетические системы		Энергосберегающие мероприятия
Система электроснабжения	Для электрического освещения	Применение светильников с энергоэффективными лампами, светильников с отражателями; секционирование систем электрического освещения, комбинированного искусственного освещения (общее + местное), газоразрядных ламп ДНаТ (для наружного освещения).
	Для электрических сетей	Компенсация реактивной мощности, регулировка двигателей ступенчатыми трансформаторами. Применение электрических балластов (дресселей) в светильниках с трубчатыми и кольцевыми люминесцентными лампами, тиристорных регуляторов мощности, частотно-регулируемых приводов. А также системы бесперебойного питания и архитектура питания на основе постоянного тока.
Система теплоснабжения	Для снижения трансмиссионных тепловых потерь	Установка коммерческих узлов учета тепловой энергии; снижение трансмиссионных тепловых потерь: (утепление стен; утепление кровель; устранение мостиков холода). Применение стеклопакетов с энергоэффективными пластиковыми профилями, газонаполненных стеклопакетов, стеклопакетов с нанесением селективного отражающего покрытия, утепленных дверей и ворот, а также утепление внутренних перегородок, разделяющих помещения с разницей температур более 6 °С.
	Для снижения инфильтрационных тепловых потерь	Установка стеклопакетов с регулируемым микропроветриванием и воздушных завес на входных дверях. Применение автоподъемников на входных дверях, ветрозащитных пленок в конструкциях стен и устройство тамбуров на входах.
	Для повышения эффективности регулирования систем отопления и вентиляции (ликвидация перетопов в помещениях)	Гидравлическая балансировка системы отопления, регулирование теплоотдачи отопительных приборов, пофасадное регулирование системы отопления и задание суточной и недельной программы систем вентиляции.
	Для утилизации тепла вытяжного воздуха	Применение пластинчатых рекуператоров, роторных регенераторов, тепловых насосов для утилизации тепла вытяжного воздуха.
<b>Системы ГВС и холодной воды</b>		Применение автоматических смесителей, экономичных сливных бачков, аэраторов и установок водоподготовки для многократной циркуляции воды в бассейне.
<b>Система кондиционирования воздуха</b>		Изоляция коридоров, «фрикулинг" использование холода внешней среды. Использование внутрирядных кондиционеров и энергии тригенерации.

## 2.2 Энергосберегающие мероприятия для системы электроснабжения

### 2.2.1 Энергосберегающие мероприятия для электрических сетей

*Компенсация реактивной мощности.* Компенсатор реактивной мощности (КРМ) является одним из видов электроустановочного оборудования, снижающий значения полной мощности, и может быть, как индуктивного характера, так и емкостного (индуктивный реактор и конденсатор соответственно).

Индуктивные реакторы используют, как правило, для компенсации емкостной составляющей мощности (линий электропередач большой протяженности).

Конденсаторные батареи используют для компенсации реактивной составляющей индуктивной мощности, что ведет к снижению полной мощности (печи индуктивности). На рисунке 3 показан компенсатор реактивной мощности с конденсаторными батареями.

Реактивная составляющая протекающего тока при наличии индуктивной нагрузки является одним из факторов, приводящие к возникновению потерь в электрических сетях промышленных предприятий. Соответственно, из электрической сети происходит потребление как активной, так и реактивной энергии.

Реактивная энергия расходуется на создание электромагнитных полей в электродвигателях, трансформаторах, индукционных печах, сварочных трансформаторах, дросселях и осветительных приборах.



Рисунок 8 – Компенсатор реактивной мощности с конденсаторными батареями

Реактивная энергия может производиться непосредственно в месте потреб-

ления. Уменьшение реактивной составляющей в общей мощности электроэнергии широко распространено и известно под термином «компенсация реактивной мощности» (КРМ), как одно из наиболее эффективных средств обеспечения рационального использования электроэнергии. КРМ позволяет:

- разгрузить от реактивного тока распределительные сети (распределительные устройства, кабельные и воздушные линии), трансформаторы и генераторы;
- снизить потери мощности и падение напряжения в элементах систем электроснабжения;
- сократить расходы на электроэнергию;
- ограничить влияние высших гармоник и сетевых помех;
- уменьшить асимметрию фаз.

Основными потребителями реактивной мощности являются:

- электрические двигатели вентиляторов, насосов ИТП, станков;
- системы электроосвещения с люминесцентными лампами.

Установка КРМ целесообразна в электрических сетях с низким коэффициентом мощности. Для подбора КРМ необходим расчет электрических нагрузок.

*Применение электронных балластов (дросселей) в светильниках с трубчатыми и кольцевыми люминесцентными лампами.* Дроссели для люминесцентных ламп совместно со стартерами обеспечивают режим зажигания и стабилизацию разряда люминесцентных ламп при включении их в сеть переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 220 В.

Традиционно электропитание ламп производится током сетевой частоты 50 Гц от электромагнитных пускорегулирующих аппаратов (ПРА). Электромагнитные ПРА из-за своих известных недостатков (мерцающего света, нестабильности освещенности при колебаниях напряжения сети, повышенного уровня шума, низкого коэффициента мощности, отсутствия возможности управления светом), не позволяют в полной мере раскрыть все возможности освещения с использованием люминесцентных ламп. Устранить эти недостатки и получить дополнительные возможности энергосбережения позволяют электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА), второе название которых – электронные балласты[4].

Современные электронные балласты (дроссели) обеспечивают:

- мгновенное (без мерцаний и шума) зажигание ламп;
- комфортное освещение (приятный немерцающий свет без стробоскопических эффектов и отсутствие шума) благодаря работе в высокочастотном диапазоне;

- стабильность освещения независимо от колебаний сетевого напряжения;
- отсутствие миганий и вспышек неисправных ламп, отключаемых электронной системой контроля неисправностей;
- высокое качество потребляемой электроэнергии – близкий к единице коэффициент мощности благодаря потреблению синусоидального тока с нулевым фазовым сдвигом.

Электронные балласты (рис. 4) являются более дорогими по сравнению с электромагнитным ПРА устройствами, однако начальные затраты компенсируются их высокой экономичностью, которая характеризуется:

- уменьшенным на 20–30 % энергопотреблением (при сохранении светового потока) за счет повышения светоотдачи лампы на повышенной частоте и более высокого КПД;
- увеличенным на 50 % сроком службы ламп благодаря щадящему режиму работы и пуска;
- снижением эксплуатационных расходов за счёт сокращения числа заменяемых ламп и отсутствия необходимости замены стартеров;
- дополнительным энергосбережением до 80 % при работе в системах управления светом;
- стабилизация мощности и светового потока ламп при колебаниях напряжения питающей сети от 110 до 254 В.



Рисунок 9 – Электронный балласт (дроссель) в светильнике с трубчатыми люминесцентными лампами

Потери мощности в дросселях составляют от 10 до 50 % от мощности лампы (чем больше мощность ламп, тем меньше доля потерь).

*Применение тиристорных регуляторов мощности.* Тиристорный регулятор мощности (ТРМ) – электронная схема, позволяющая изменять мощность, путём задержки включения тиристора на полупериоде переменного тока. Применяется

для управления мощностью универсального коллекторного двигателя (УКД), ламп накаливания (диммер) и некоторых других видов нагрузок переменного тока.

Тиристорный регулятор мощности (рис. 10) содержит детали, нагревающиеся при работе. Этому недостатка лишены симисторные регуляторы (симистор – симметричный триодный тиристор).



Рисунок 10 – Тиристорный регулятор мощности

ТРМ позволяет плавно регулировать мощность, в отличие от ступенчатых трансформаторов, в системах механической приточной и вытяжной вентиляции, в электрических отопительных приборах и в системах электрического освещения, оборудованных лампами накаливания.

*Применение частотно-регулируемых приводов.* Частотное регулирование привода(ЧПР) осуществляется при помощи преобразователей частоты. Данный вид регулирования позволяет снизить потребление электрической энергии насосами, вентиляторами и компрессорами, обладающими параметрами, значительно превышающими минимально необходимую рабочую точку. Регулирование работы двигателя осуществляется посредством изменения частоты переменного тока в цепи обмотки статора. Эффект экономии достигает 20–50 %.

Частотный преобразователь – это устройство, состоящее из выпрямителя (моста постоянного тока), преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный и инвертора (иногда с ШИМ), преобразующего постоянный ток в переменный требуемых частоты и амплитуды(рис. 11). Выходные тиристоры (GTO) или транзисторы IGBT обеспечивают необходимый ток для питания электродвигателя[5].

Дополнительным преимуществом преобразователя частоты является возможность повышения частоты электрического тока выше 50 Гц, что позволяет в случае необходимости повысить напор и подачу насоса или вентилятора.



Рисунок 11 – Частотный преобразователь

Основанием для внедрения ЧРП служит гидравлический расчет систем отопления, водоснабжения, вентиляции и оценка необходимых величин подачи и напора. Расчеты и оценки должны быть выполнены квалифицированным специалистом по вентиляции.

*Системы бесперебойного электропитания.* Сократить затраты на бесперебойное питание и снизить мощность оборудования для кондиционирования позволяет применение ИБП с повышенным КПД. Учитывая, что КПД в большой степени зависит от нагрузки на данный ИБП, оптимально, когда нагрузка составляет 70–90 %. Но часто этот показатель оказывается ниже, ИБП работают при нагрузке 15-25%, что и, следовательно, с низким КПД.

В этом случае необходимо обеспечить контроль программ на частичное отключение некоторых ИБП с целью поддержания более высокого уровня загрузки и увеличения КПД работающих устройств.

Особый контроль, также нужен за функционированием аккумуляторных батарей (АКБ). Срок службы АКБ, входящих в состав системы бесперебойного электроснабжения, зависит от температуры окружающего их воздуха.

Наиболее оптимальным является диапазон 20–22 °С, а повышение температуры на каждые 10 °С снижает срок службы в два раза. Такие негативные процессы, как сульфация и коррозия решеток, снижающие емкость батарей, катализируются при повышенных температурах и при перегреве на 10°С протекают в два раза быстрее. Учитывая достаточно высокую стоимость АКБ (в зависимости от времени резервирования она составляет от 25 до 50% стоимости системы бесперебойного питания), обеспечение их максимального срока службы важно для снижения эксплуатационных расходов.

Кроме того, техническое состояние аккумуляторных батарей со временем может изменяться неравномерно.

## 2.2.2 Энергосберегающие мероприятия для систем электрического освещения

*Применение светильников с энергоэффективными лампами.* Энергоэффективными лампами можно считать, лампы с меньшим потреблением электрической энергии (по сравнению с лампами накаливания). К ним относятся люминесцентные, галогеновые и светодиодные лампы.

Люминесцентная лампа (рис. 12) – газоразрядный источник света, в котором видимый свет излучается в основном люминофором, который в свою очередь светится под воздействием ультрафиолетового излучения разряда; сам разряд тоже излучает видимый свет, но в значительно меньшей степени [4]. Световая отдача люминесцентной лампы в несколько раз больше, чем у ламп накаливания аналогичной мощности. При обеспечения достаточного качества электропитания и соблюдения числа включений и выключений, срок службы люминесцентных ламп может в 20 раз превышать срок службы ламп накаливания. Имеют световую отдачу 60 100 лм/Вт.

Галогеновые лампы (рис. 13) производят большее количество света по причине высокой температуры нити накаливания. Ультрафиолетовое излучение при этом уменьшено, что сводит риск выцветания объектов освещения к нулю. В случае необходимости возможно изменение светового потока лампы (диммирование).



Рисунок 12 – Компактные люминесцентные лампы с цоколем E27

Новым направлением развития ламп являются IRC-галогенные лампы (сокращение IRC обозначает «инфракрасное покрытие»). На колбах таких ламп находится специальное покрытие, которое пропускает видимый свет, но задерживает инфракрасное (тепловое) излучение и отражает его назад, к спирали. За счет этого

уменьшаются потери тепла и, как следствие, увеличивается эффективность лампы.



Рисунок 13 – Галогеновая лампа с цоколем E27

Светодиодная лампа (рис. 14) – источник света с использованием сверхъярких светодиодов. Световая отдача светодиодных систем освещения достигает 120 лм/Вт. Средний срок службы светодиодных систем освещения может быть доведен до 100 тысяч часов, при оптимальной схемотехнике источников питания и применении качественных компонентов [6].



Рисунок 14 – Светодиодная лампа с цоколем E27

Подбор ламп для внутреннего освещения осуществляется в процессе расчета освещенности рабочих мест в зависимости от класса работы.

*Применение светильников с отражателями.* Многие виды ламп, испускают всенаправленное излучение, где часть светового излучения поглощается корпусом. Для снижения доли поглощенного светового излучения светильники могут комплектоваться отражателями различных типов (параболическим, плоским листовым, М-образным, асимметричным и т. д.).

По форме отражатели светильников условно делят на:

1) осесимметричные параболические (сферические, конусные), создающие в зависимости от глубины параболы концентрированные, глубокие, широкие и равномерные формы кривой силы света (рис. 15);

2) симметричные в двух плоскостях (рис. 16) – рефлекторы параболоцилиндрической формы, ограничивающие телесный угол распределения светового потока в поперечной плоскости при широкосветораспределении в продольной плоскости.

В зависимости от глубины параболы (сферы, конуса) такие светильники могут быть узколучевыми, заливающими и рассеивающими (при перфорированном отражателе), однако распределение светового потока симметрично относительно поперечной и продольной плоскостей, проходящих через оптическую ось светового прибора; – симметричные в одной плоскости, но ассиметричные в другой, или ассиметричные параболоцилиндрические отражатели-кососветы, изменяющие направление светового потока в одной из плоскостей, проходящих через оптическую ось светового прибора.



Рисунок 15 – Светильник с трубчатыми люминесцентными лампами и осесимметричными отражателями сложной формы

Светильники с ассиметричными отражателями (кососветы) широко используются в интерьерном освещении, как для акцентированной подсветки, так и формирования общего отраженного освещения, а также в случае необходимости локальной освещенности рабочих мест.



Рисунок 16 – Светильник с галогеновыми лампами и симметричными в двух плоскостях параболическими отражателями

На основании результатов компьютерного моделирования системы электрического освещения, можно произвести подбор светильников с отражателями. В результате чего, после их внедрения, удастся сократить количество светильников и уставленную мощность системы электрического освещения на 20–30%. Для наиболее равномерной освещенности рабочих мест и поверхностей можно рекомендовать к применению в качестве общего освещения светильники с симметричными отражателями.

Для освещения локальных поверхностей и оборудования, предназначенного для демонстрации предпочтительно использование светильников с асимметричными отражателями. Данная рекомендация связана с высокими требованиями к освещенности поверхности оборудования и, в то же время, для исключения эффекта ослепления.

*Секционирование систем электрического освещения.* Нормативная освещенность рабочих поверхностей составляет от 300 до 500 Лк. Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения, управление рабочим освещением должно обеспечивать включение и отключение светильников группами или рядами по мере изменения естественной освещенности помещений.

Для достижения наибольшей энергетической эффективности возможно использование автоматического управления освещением при помощи фотоэлектрических датчиков, включающего группы светильников в зависимости от изменения естественной освещенности [2].

При включении светильников рекомендуется осуществлять питание каждого ряда светильников от различных фаз и предусмотреть отдельный выключатель для местного освещения каждой классной доски.

*Применение комбинированного искусственного освещения.* Комбинированным называется освещение, при котором общее освещение (напр. потолочные све-

тильники) дополняется местным (напр. настольные лампы).

Экономия электрической энергии посредством применения комбинированного освещения возможна благодаря различным требованиям к освещенности рабочих поверхностей и поверхности пола. В случае применения только общего освещения освещенность поверхности пола будет значительно превышать нормативную.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах, не менее 75 лк при лампах накаливания.

Создавать освещенность от общего освещения в системе комбинированного более 500 лк при разрядных лампах и более 150 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

### **2.2.3 Энергосберегающие мероприятия для системы наружного освещения**

*Применение газоразрядных ламп ДНаТ для наружного освещения.* В уличных светильниках широко применяются ртутные лампы высокого давления ДРЛ, как наиболее простые и доступные, но они обладают низкой светоотдачей, а вследствие этого, низкой экономичностью.

При отсутствии требований к качеству уличного освещения, целесообразна замена ламп ДРЛ натриевыми лампами высокого давления – ДНаТ. Светоотдача ламп ДНаТ достигает 150 Лм/Вт.

Лучшая светоотдача ламп ДНаТ среди газоразрядных ламп (рис. 17) является их единственным преимуществом перед лампами ДРЛ. Недостатки ламп ДНаТ – монохроматичность излучения, видимая пульсация и ограничения по температуре окружающей среды.



Рисунок 17 – Газоразрядные лампы ДНаТ

Лампы ДНаТ светят желтым или оранжевым светом, что нарушает цветопередачу освещаемых объектов, а в конце срока службы лампы спектр излучения изменяется и варьируется от темно-оранжевого до красного.

Электрические параметры ламп ДНаТ и ДРЛ существенно отличаются друг от друга. Следовательно, что при замене ламп ДНаТ требуется и замена пускорегулирующего аппарата (рис. 18) или, как минимум, оборудование существующего пускорегулирующего аппарата импульсным зажигающим устройством (рис. 19), так как, их работа с одним и тем же пускорегулирующим устройством невозможна.



Рисунок 18 – Пускорегулирующие аппараты ламп ДНаТ



Рисунок 19 – Импульсное зажигающее устройство

#### **2.2.4 Двухтарифная система учета расхода электроэнергии**

Технологии энергосбережения вполне доступны для любого человека и одним из способов экономии электрической энергии стало применение в быту двухтарифной системы учёта электроэнергии.

Электрические счётчики (двухтарифные) дают возможность значительно снизить расходы по оплате финансовых счетов за электроэнергию. Применяя

двухтарифную (дифференцированную) систему учёта, по времени суток, электроэнергии, люди имеют возможность оплачивать потребляемую электроэнергию в ночное время по меньшему тарифу. С 23–00 часов вечера и до 7–00 часов утра (включительно) цена потраченных киловатт электроэнергии до 4 раз меньше тарифа дневного.

Двухтарифная система учета электроэнергии связана, в первую очередь, с некоторыми особенностями работы электростанций. Как правило, электрические станции функционируют в 2 основных режимах, это пониженный режим работы и пиковый. Самое большое потребление электроэнергии приходится на период утренних часов (с 7–00 и до 10–00 часов - это время начала работы большинства промышленных предприятий) и вечернее время с 19–00 до 23–00 часов (время максимального потребления электроэнергии в быту). После 23–00 часов потребление электрической энергии в жилых домах резко снижается[7].

Учет расхода электрической энергии делается с помощью специальных двухтарифных электросчетчиков.

Двухтарифные счетчики с внешним тарификатором устанавливаются в домах, оборудованных автоматизированной системой учета электроэнергии (система АСКУЭ – Автоматизированная Система Коммерческого Учета Электроэнергии). АСКУЭ предоставляет возможность производить учет потребленной электроэнергии дифференцированно по времени суток, программировать приборы учета и снимать их показания дистанционно.

Если же дом не оборудован автоматизированной системой учета, то воспользоваться преимуществами двухтарифной системы можно, установив двухтарифный счетчик со встроенным тарификатором (но данная услуга платная).

Средняя цена двухтарифного электросчетчика не на много отличается от обычного однотарифного (или трёхфазного). Имеющаяся разница в цене может довольно быстро окупиться сэкономленными деньгами за расходующую электрическую энергию (даже, при среднем потреблении электроэнергии).

*Достоинства и недостатки.* Если в квартире не установлены счетчики на электричество, то месячную плату за свет считают так: норматив потребления (кВт.ч в среднем за этот период) умножается на тариф (стоимость 1 кВт.ч). Норматив зависит от ряда критериев: от числа комнат, типа плиты (электрическая, газовая), этажности дома, есть ли в нем лифт, количества прописанных жильцов в квартире.

*Одним из недостатков* старых однотарифных индукционных счетчиков является – неправильный подсчёт расхода электроэнергии при нагрузке выше номи-

нальной, а номинальная нагрузка на старые счётчики превышает повсеместно.

*Другой недостаток* - это повышенная опасность. При эксплуатации старого счётчика, особенно при нагрузке сверх номинальной, велика опасность выхода его из строя и возгорание электропроводки.

Двухтарифный счетчик выглядит так же, как и обычный счетчик, только в установленные часы меняется табло с показаниями. Электронные двухтарифные счётчики не только соответствуют современным требованиям и стандартам, но и обладают исключительной точностью, погрешность отдельных моделей электронных счётчиков достигает 0,5%.

Новые двухтарифные счётчики компактны, имеют ряд дополнительных функций, такие как отображение текущей потребляемой мощности, "запоминание" результатов прошлого расчётного периода, дистанционный съём показателей с использованием цифровых интерфейсов.

*Наряду с достоинствами новых счетчиков у них есть и недостатки:*

1. Обычный счетчик стоит примерно от 600 руб., то многотарифный от 1500 руб. и выше.

2. Кроме того, сам по себе такой счетчик – весьма сложный прибор с автономным энергопитанием от литиевой батарейки. Срок между государственными поверками таких счетчиков 16 лет, также, как и у однотарифных, но вероятнее всего, раньше этого срока потребуются замена литиевой батарейки.

Поскольку это электронный прибор, есть вероятность выхода его из строя, в случае полного отключения электроэнергии в вашем доме, в этом случае если вы приобретали прибор самостоятельно, то замена, и покупка нового ложится на ваши плечи, если же вы приобретали и устанавливали прибор через управляющую компанию, то у вас есть 5-летняя гарантия.

## **2.3 Энергосберегающие мероприятия для системы теплоснабжения**

### **2.3.1 Снижение трансмиссионных тепловых потерь**

*Утепление стен.* Данное мероприятие может быть использовано для снижения тепловых потерь через наружные ограждения и для устранения выпадения конденсата на внутренней поверхности наружных ограждений. Может привести к изменению класса энергетической эффективности здания.

Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания является одним из нормируемых показателей тепловой защиты здания. Нормативные значения устанавливаются в зависимости от граду-

со-суток отопительного периода

Для соблюдения нормативных значений сопротивления теплопередаче применяются многослойные ограждающие конструкции с утеплителем. В качестве утеплителя могут применяться минераловатные плиты, пенополистирол, эковата и другие материалы, обладающие низкой теплопроводностью.

Для утепления наружных стен существующих зданий применяется конструкция навесного вентилируемого фасада со слоем утеплителя, с применением только негорючего утеплителя (плит из стекловолокна или базальтового волокна), разрез, которого показан на рисунке 20.



Рисунок 20 – Местный разрез многослойного ограждения с навесным вентилируемым фасадом

*Утепление кровель.* Существуют два основных типа кровель: плоские (рис. 21) и скатные (рис. 22). Структура кровли обоих типов включает в себя несущие конструкции и кровельный пирог. В ходе утепления кровли, как правило, весь кровельный пирог подлежит замене.

Если кровля будет эксплуатироваться, то стяжка выполняется поверх слоя утеплителя на плоских кровлях. А в остальных случаях возможно применение теплоизоляционных материалов, способных упруго деформироваться под весом человека с минимальными остаточными деформациями.

Допускается укладка утеплителя в два слоя: нижний – мягкий, верхний – жесткий. При наличии внутренних водостоков необходимо создавать уклон с помощью сыпучих материалов (как правило, керамзитовый гравий).

В скатной кровле утеплитель должен быть закреплен на несущих конструкциях во избежание его перемещений под собственным весом. Для крепления применяются тарельчатые дюбели или клей.

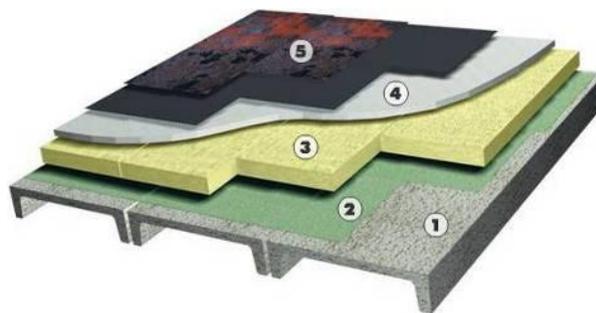


Рисунок 21 – Структура плоской кровли: 1 – плиты покрытия; 2 – слой пароизоляции; 3 – слой утеплителя; 4 – железобетонная стяжка; 5 – слой гидроизоляции (рулонной или наплавляемой)

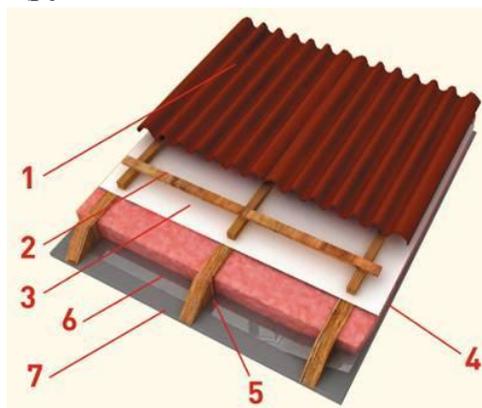


Рисунок 22 – Структура скатной кровли: 1 – черепица или другой кровельный материал; 2 – шаговая (поперечная) обрешетка; 3 – ветро- и влагозащитная мембрана; 4 – слой утеплителя; 5 – стропила; 6 – слой пароизоляции; 7 – слой внутренней отделки

*Устранение мостиков холода.* Мостики холода представляют собой ограниченные по объему части строительных элементов, через которые осуществляется повышенная теплоотдача [8]. По результатам тепловизионного обследования, в наружных многослойных ограждениях, можно выявить мостики холода (рис. 23). Визуально они не определяются.

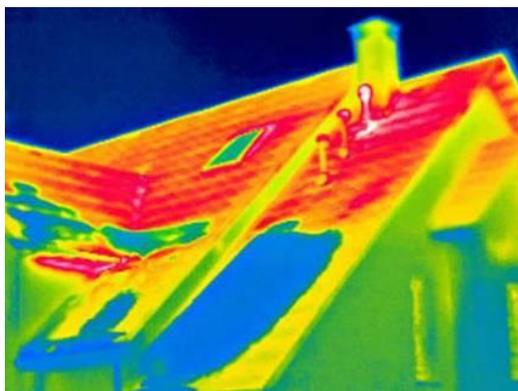


Рисунок 23 – Изображение объекта, полученное на тепловизоре

Наиболее характерные мостики холода, обусловленные особенностями конструкции:

- неутепленные оконные откосы;
- связи в многослойных ограждениях, пронизывающие слой теплоизоляции;
- неутепленные вентиляционные шахты на кровле;
- кронштейны в конструкции навесного вентилируемого фасада;
- неутепленные парапеты на кровле;
- стенки примыканий для размещения подвальных дверей и окон;
- выступающие архитектурные элементы (балконы, карнизы и т. д.).

*Применение газонаполненных стеклопакетов.* Для заполнения камер стеклопакетов могут быть использованы инертные газы (аргон, криптон, реже – ксенон), обладающие большей вязкостью и плотностью, и меньшей теплопроводностью, чем воздух. Разрез двухкамерного стеклопакета показан на рисунке 24. В камерах стеклопакетов, заполненных инертными газами, снижаются конвекционные токи. За счет снижения теплопроводности и конвекции улучшаются теплозащитные свойства стеклопакета.



Рисунок 24 – Разрез двухкамерного стеклопакета

*Применение стеклопакетов с энергоэффективными пластиковыми профилями.* Данное мероприятие может быть использовано для снижения тепловых потерь через наружные ограждения и для устранения выпадения конденсата на внутренней поверхности наружных ограждений.

Непрозрачная часть окна (рама) занимает в среднем около 15 % площади оконного проема. Теплотери через непрозрачную часть в значительной мере зависят от ее материала и профиля. Материалом для изготовления рамы могут служить алюминий и поливинилхлорид (ПВХ). ПВХ профили со стальными вкладышами (рис. 25) более устойчивы к ветровой нагрузке и механическим повреждениям, но менее эффективны. При выборе стеклопакета, следует учитывать количеством воздушных полостей широких профилей из пластика. Чем больше этих воздушных полостей, тем стеклопакет наиболее эффективен.

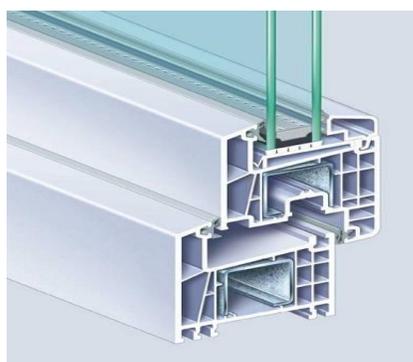


Рисунок 25 – ПВХ профиль однокамерного стеклопакета со стальными вкладышами

*Применение стеклопакетов с нанесением селективного отражающего покрытия.* Под излучательной способностью стекла (эмиссией) понимают способность стеклянной поверхности отражать длинноволновое, не видимое человеческим глазом тепловое излучение, длина волны которого меньше 16000 нм (рис. 26)[9].

Стекло, с низкоэмиссионным оптическим покрытием на поверхности имеет энергосберегающие свойства, и оно получило название низкоэмиссионное. В настоящее время для этих целей используется два типа покрытий: так называемое *К-стекло* «твердое» покрытие и *И-стекло* «мягкое» покрытие.



Рисунок 26 – Иллюстрация селективного отражения и пропускания излучения в видимом и инфракрасном диапазоне

Первым шагом в выпуске энергосберегающего стекла явилось производство *К-стекла*. Для придания флоат-стеклу теплосберегающих свойств непосредственно при изготовлении, на его поверхности методом химической реакции при высокой температуре (метод пиролиза) создается тонкий слой из окислов металлов  $InSnO_2$ , который является прозрачным, и в то же время обладает электропроводностью.

Следующим значительным шагом в производстве теплосберегающих стекол стал выпуск *И-стекла*, которое в 1,5 раза превосходит *К-стекло* (по своим теплосберегающим свойствам).

*И-стекло.* Различие между К-стеклом и И-стеклом заключается в коэффициенте излучательной способности, а также технологии его получения. И-стекло производится вакуумным напылением и представляет собой трехслойную (или более) структуру из чередующихся слоев серебра диэлектрика (BiO, AlN, TiO<sub>2</sub>, и т. п.). Технология нанесения требует использования высоковакуумного оборудования с системой магнетронного распыления.

Основным недостатком И-стекла является их сравнительно пониженная абразивная стойкость, что представляет некоторое неудобство при их транспортировке (по сравнению с К-стеклом). Но, это не сказывается на его эксплуатационных свойствах, учитывая, что такое покрытие находится внутри стеклопакета.

*Применение утепленных дверей и ворот.* Устаревшие конструкции дверей и ворот выполнены преимущественно без утеплителей, что приводит к повышенным теплотерям через них.

Современные модели могут включать себя помимо механической защиты тепловую и звуковую изоляцию (рис. 27). Каждой двери присваивается класс сопротивления теплопередаче. Наиболее утепленным дверям присваивается I класс, менее утепленным – II и III классы.

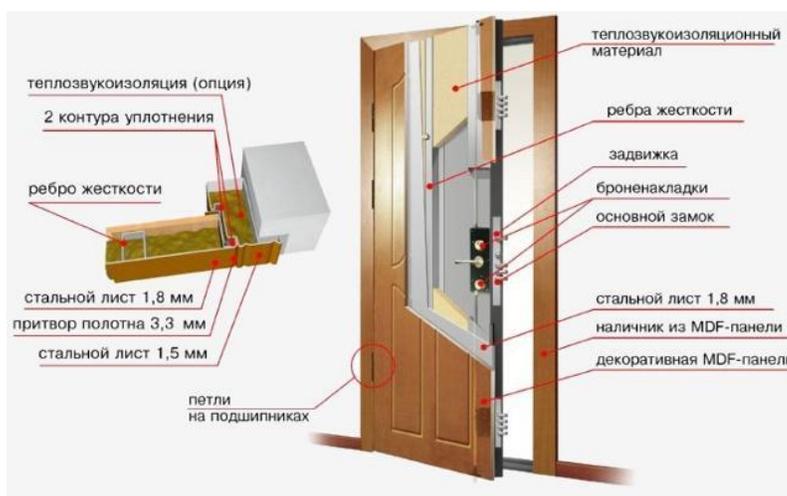


Рисунок 27 – Наружная дверь с теплозвукоизоляцией

Производителя необходимо информировать о потребностях утепленных дверей и воротах, так как, в конструкцию теплоизоляция включается опционально.

*Утепление внутренних перегородок, разделяющих помещения с разницей температур более 6 °С.* Внутреннюю перегородку необходимо утеплять при разнице температур в помещениях, разделяемых ей, от 6 С и более (рис. 28). Данное

мероприятие позволяет избежать самопроизвольных теплоперетоков из помещений с комфортными условиями в помещения с более низкими требованиями к микроклимату.

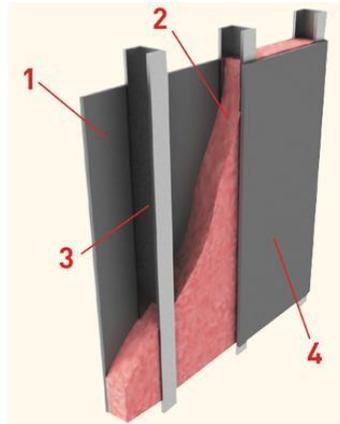


Рисунок 28 – Утепленная перегородка: 1, 4 – листы из гипсокартона, 2– тепловая изоляция, 3 – каркас из металлического профиля

Экономия тепловой энергии происходит лишь в том случае, когда за счет перетоков тепла температура в холодном помещении превышает нормативную.

### **2.3.2 Снижение инфильтрационных тепловых потерь**

*Установка стеклопакетов с регулируемым микропроветриванием.* Для ограничения инфильтрации служит микропроветривание в пределах санитарной нормы воздухообмена. Применяется только в зданиях, не оборудованных механической приточной вентиляцией.

Микропроветривание — возможность фурнитуры, позволяющая открыть створку таким образом, чтобы образовалась щель размером в 0,5-1,0 см по ее периметру[2]. Окно при этом остается закрытым и не откроется сквозняком или от порыва ветра. Микропроветривание возможно установить только на поворотно-откидную створку (рис. 29), при ее отсутствии следует использовать для микропроветривания встраиваемые инфильтрационные клапаны (рис. 30).

Оконные конструкции с функцией микропроветривания необходимо использовать в помещениях, оборудованных вытяжной вентиляцией без компенсации притока воздуха. Встраиваемые инфильтрационные клапаны нужно подбирать по пропускной способности, для обеспечения, требуемого воздухообмена в помещениях.



Рисунок 29 – Микропроветривание через приоткрытую створку



Рисунок 30 – Микропроветривание через встраиваемый инфильтрационный клапан

*Установка воздушных завес на входных дверях.* Защита помещения от холодного воздуха, проникающего внутрь через открытые проемы, происходит благодаря тепловым завесам (рис. 31). Струйная защита проемов бывает двух типов: смешительного и шиберующего.

Завесы смешительного типа не создают противодействия врывающемуся холодному воздуху, они просто разбавляют холодный поток теплыми струями, повышая его температуру до требуемой. Обычно тепловые завесы смешительного типа устанавливаются в тамбуре.

Завесы шиберующего типа формируют струйное противодействие втеканию наружного холодного воздуха в проем. При этом струи завес должны быть

направлены под углом к плоскости проема наружу. Соприкасаясь с массами холодного воздуха, струи создают эффект "отталкивания" этих масс, после чего струи разворачиваются и затекают обратно в проем. Таким образом, через открытый проем постоянно проходит поток воздуха с расходом, равным сумме расходов воздуха через завесу и частично струями, а также прорвавшегося снаружи. Подогревая воздух в завесе, можно добиться того, чтобы температура смеси, поступающей через проем в помещение, соответствовала нормативным требованиям.

Струя, направленная вертикально вниз из тепловой завесы, установленной горизонтально над проемом, искривляется под действием разности давлений и затекает внутрь помещения. От скорости истечения из сопла завесы и от ширины сопла зависит, как степень искривления, так и количество врывающегося под струей холодного воздуха. Защита верхней завесой эффективнее, когда струя направлена под углом к плоскости проема наружу.



Рисунок 31 – Горизонтальные тепловые завесы над входными дверями

*Применение автодоводчиков на входных дверях.* Доводчики наружных дверей (рис. 32) предназначены для автоматического их закрывания, что исключает неограниченную инфильтрацию через дверной проем.

Альтернативой данному мероприятию может быть установка автоматических дверей.



Рисунок 32 – Доводчик двери

*Устройство тамбуров на входах.* Тамбуры на входах применяются для снижения инфильтрации холодного воздуха через входные двери с большим потоком людей. Тамбур может быть, как наружным (рис. 33), так и внутренним (рис.34).



Рисунок 33 – Наружный тамбур



Рисунок 34 – Внутренний тамбур

*Применение ветрозащитных пленок в конструкциях стен.* Для уменьшения инфильтрационной составляющей тепловых потерь и для предотвращения эмиссии волокон теплоизоляции в конструкции навесного вентилируемого фасада применяются ветровлагозащитные пленки. Кроме этого, ветровлагозащитная пленка защищает слой утеплителя от осадков (ветрозащитная пленка не обеспечивает такой защиты).

Применение ветровлагозащитных пленок только в случаях:

- использования теплоизоляционных материалов, подверженных эмиссии волокон (как правило, это минераловатные плиты с малой длиной волокон или с малым количеством связующего);
- малого сопротивления воздухопроницанию материалов наружной стены (пустотелый кирпич, пенобетон, газосиликат и т. д.).

Недостатки ветровлагозащитных пленок: горючесть материала (группа Г2).

Альтернативное решение – нанесение на внутреннюю поверхность стены слоя штукатурки из цементно-песчаного раствора толщиной 20 мм дает эффект снижения воздухопроницаемости стены, сравнимый с использованием ветрозащитной пленки.

Ветрозащитная пленка устанавливается поверх утеплителя, вплотную к нему. Она не должна перегораживать воздушную прослойку, как это происходит в случае установки пленки между направляющими вентфасада. Ширина воздушного зазора должна составлять не менее 40–60 мм. Местный разрез многослойного ограждения с навесным вентилируемым фасадом приведен на рисунке 35.



Рисунок 35 – Местный разрез многослойного ограждения с навесным вентилируемым фасадом

Ветрозащитная пленка должна обладать высокой паропроницаемостью во избежание скапливания влаги в слое утеплителя. В качестве ветрозащитных пле-

нок не годятся к применению пленки, с высоким сопротивлением паропроницаемости. Во избежание распространения огня при пожаре устанавливать противопожарные металлические рассечки.

### 2.3.3 Повышение эффективности регулирования систем отопления и вентиляции (ликвидация перетопов в помещениях)

*Гидравлическая балансировка системы отопления.* Недогрев и перегрев в системе отопления может наблюдаться, при отсутствии балансировочных клапанов. Устранение недогрева без балансировки системы отопления возможно только за счет повышения расхода теплоносителя. Одновременно с этим усугубляется перегрев.

Балансировка системы отопления позволяет отрегулировать расход воды через каждый стояк, через отдельные ветки и при необходимости, через каждый отопительный прибор, что позволяет соблюдать температурный режим помещений и снижать общий расход теплоносителя, что косвенно приводит к экономии электрической энергии на циркуляцию и продлению срока службы насоса. Трехступенчатая гидравлическая балансировка системы отопления показана на рисунке 36.

Для балансировки требуется выставить расходы на каждом стояке таким образом, чтобы температура обратной воды в стояках лежала в достаточно узком диапазоне и соответствовала проектному температурному графику. При невозможности выполнить балансировку отдельных стояков необходимо выдать рекомендации по их прочистке или замене (в т. ч. с изменением диаметра трубы).

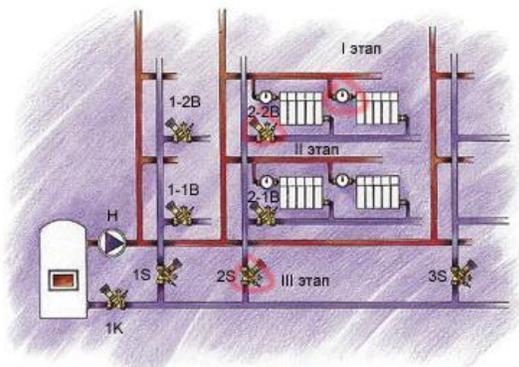


Рисунок 36 – Трехступенчатая гидравлическая балансировка системы отопления

Результат гидравлической балансировки системы отопления следует под-

твердить:

- измерением температур теплоносителя в обратном трубопроводе каждого стояка после последнего по ходу движения теплоносителя отопительного прибора;
- измерением температур в помещениях здания и сравнением их значений с нормативными.

*Регулирование теплоотдачи отопительных приборов.* Тепловой баланс отапливаемого помещения складывается из теплопоступлений и теплопотерь, при этом каждая из сторон теплового баланса состоит из множества составляющих. Некоторые составляющие теплового баланса динамически изменяются в процессе эксплуатации (например, теплопоступления с солнечной радиацией через окна, теплопоступления от осветительных и бытовых электроприборов, инфильтрационные теплопотери, и т. д.)

Автоматическое регулирование теплоотдачи отопительного прибора служит для обеспечения постоянной температуры. Наиболее простой и доступный способ – установка термостатических клапанов.

Термостатические клапаны могут устанавливаться в существующие узлы присоединения радиаторов, или поставляться встроенными в радиатор, что удобно при полной замене радиаторов (рис. 37).



Рисунок 37 – Радиатор со встроенным терморегуляционным клапаном

В гидравлически сбалансированной системе отопления эффективны только термостатические клапаны, которые обладают относительно небольшим диапазоном регулирования.

*Пофасадное регулирование системы отопления.* Данное энергосберегающее мероприятие эффективно для протяженных зданий и является альтернативой установкой термостатических клапанов на отопительных приборах. Коррекция температурного графика каждой из систем производится по температурным датчикам, установленным в сборных вытяжных воздуховодах. Тепловая схема ИТП с

пофасадным регулированием систем отопления приведена на рисунке 38.

Данное мероприятие позволяет компенсировать инфильтрационные потери, вызываемые сильным ветром или теплоизбытки, вызванные солнечной радиацией. По эффективности немного уступает термостатическому регулированию системы отопления.

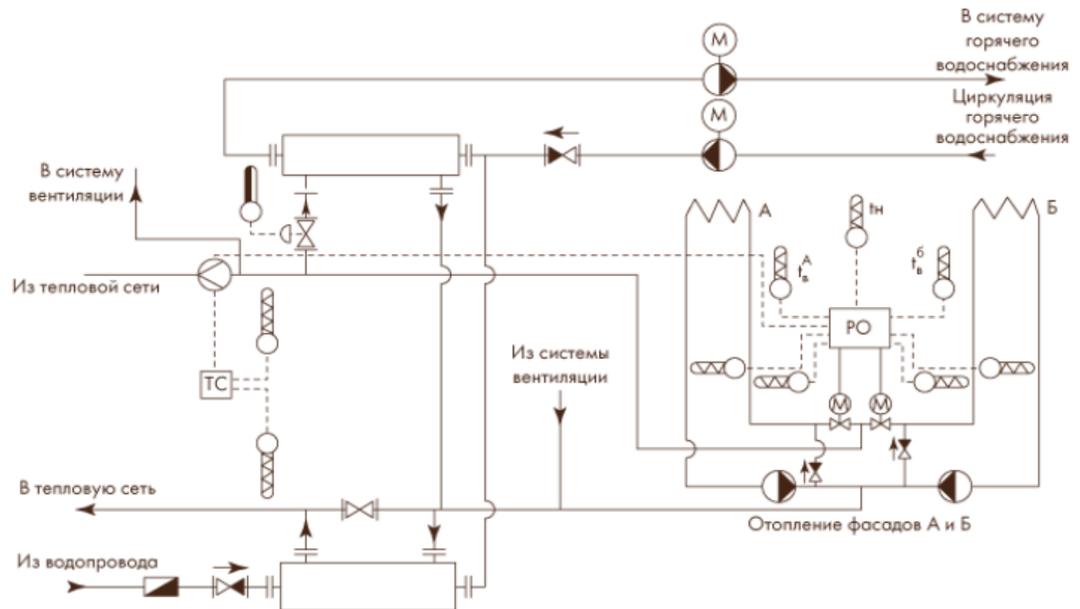


Рисунок 38 – Тепловая схема ИТП с пофасадным регулированием систем отопления

*Задание суточной и недельной программы систем вентиляции.* Время включения и выключения систем вентиляции и кондиционирования определяется временем использования помещения (за исключением помещений с круглосуточным выделением вредных / влаги / тепла). Круглосуточно работающие системы вентиляции также позволяют снизить расход тепловой энергии за счет снижения температуры приточного воздуха в допустимых пределах.

Средства автоматизации систем вентиляции, позволяют задавать дневные и недельные программы автоматического управления системами вентиляции, и представлены на рисунке 39.



Рисунок 39 – Средства автоматизации систем вентиляции

Экономия тепловой энергии происходит благодаря значительному снижению расхода приточного воздуха и энергии на его подогрев.

Недостатком данного мероприятия является невозможность использования помещений учреждения в незапланированное время. При наличии помещений, требующих круглосуточную вентиляцию, обслуживающая их приточная установка должна быть укомплектована резервным вентилятором или электродвигателем к нему.

### **2.3.3 Утилизация тепла вытяжного воздуха**

*Применение пластинчатых рекуператоров*(рис. 40). Рекуперация – один из способов утилизации тепла вытяжного воздуха. Тепловая энергия отбирается из вытяжного воздуха и передается приточному, при этом вытяжной и приточный воздух отделены пластинами теплообменника, что исключает их смешивание. Приточно-вытяжная установка с рекуператором представлена на рисунке 41.

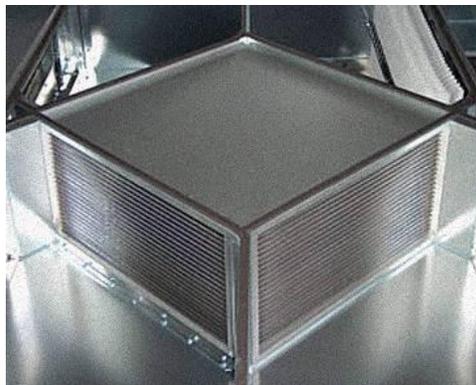


Рисунок 40 – Пластинчатый рекуператор приточно-вытяжной установки

Недостаток технологии: при высоком влагосодержании вытяжного воздуха на пластинах образуется конденсат, есть опасность обмерзания пластин.

Экономия тепловой энергии при использовании пластинчатых рекуператоров может составлять от 30 до 60 %. Эта характеристика зависит от конструкции рекуператора и условий его применения.

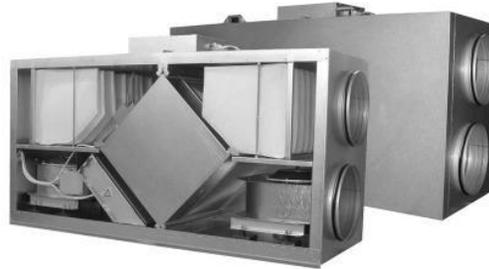


Рисунок 41 – Приточно-вытяжная установка с рекуператором

*Применение роторных регенераторов (рис.42).* Регенерация – один из способов утилизации тепла вытяжного воздуха. Приточно-вытяжная установка с регенератором представлена на рисунке 43.

Тепловая энергия отбирается из вытяжного воздуха теплообменной поверхностью регенератора, передается приточному, при этом вытяжной и приточный воздух отделены пластинами теплообменника, что исключает их смешивание.



Рисунок 42 – Роторный регенератор приточно-вытяжной установки

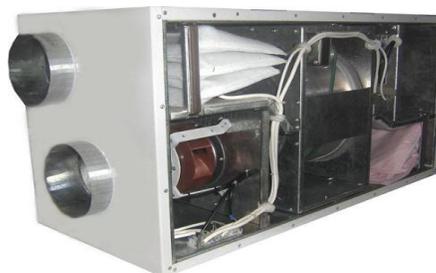


Рисунок 43 – Приточно-вытяжная установка с регенератором

Недостатки технологии:

- при высоком влагосодержании вытяжного воздуха на пластинах образуется конденсат, есть опасность обмерзания пластин;
- повышенные требования к очистке приточного и вытяжного воздуха от пыли;
- возможно частичное смешивание приточного и вытяжного воздуха;
- более высокая цена по сравнению с пластинчатым рекуператором.

*Применение тепловых насосов для утилизации тепла вытяжного воздуха.*

Применение тепловых насосов для утилизации тепла вытяжного воздуха может применяться в сборных шахтах вытяжной вентиляции с естественным побуждением. Преимущество данного способа утилизации тепла состоит в возможности использования отобранной тепловой энергии не только для подогрева приточного воздуха, но и для других целей (например, для системы горячего водоснабжения). Схема теплоснабжения системы горячего водоснабжения за счет утилизации тепла вытяжного воздуха и тепла грунта показана на рисунке 44.

Недостатки технологии:

- сложность практической реализации;
- зависимость от обеспечения электроэнергией;
- более высокая цена по сравнению с рекуператорами и регенераторами.

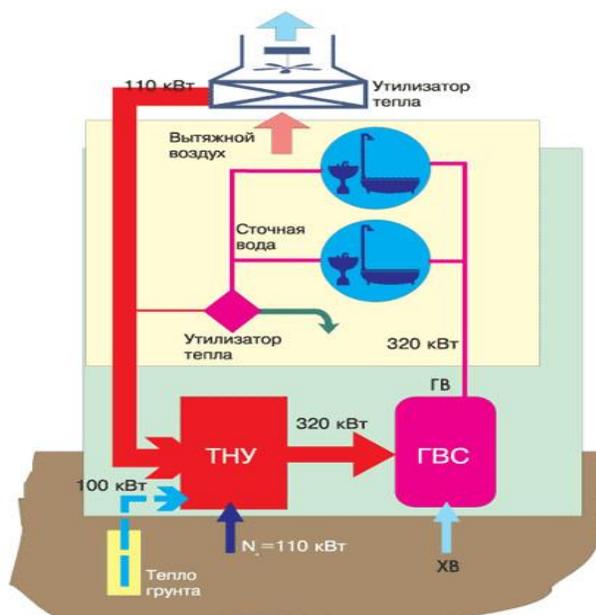


Рисунок 44 – Схема теплоснабжения системы горячего водоснабжения за счет утилизации тепла вытяжного воздуха и тепла грунта

## 2.4 Энергосберегающие мероприятия по повышению энергетической эффективности для систем кондиционирования воздуха

*Изоляция коридоров.* Установка герметичных дверей по торцам коридоров и специальных потолочных панелей реализует изоляцию холодных или горячих коридоров (рис. 45). В итоге, энергоэффективность системы кондиционирования примерно возрастает на 30 %, а холодный воздух не смешивается с горячим потоком и не нагревается.

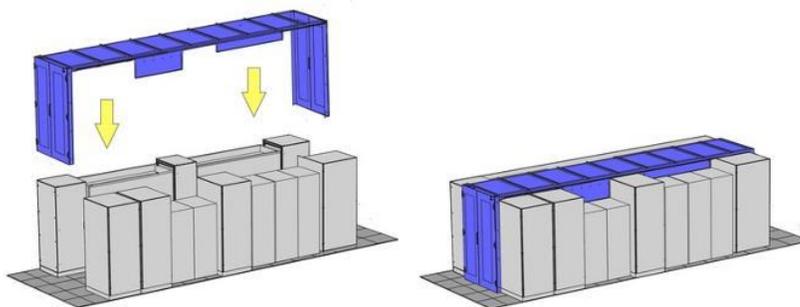


Рисунок 45 – Изоляция коридоров в ЦОД

Существует два вида изоляции коридоров:

- изоляция горячих коридоров (например, APC);
- изоляция холодных коридоров (например, Emerson).

Изоляция холодных коридоров обеспечивает снижение энергопотребления за счет отсутствия необходимости охлаждения поверхности стен и других сторонних поверхностей. При изоляции холодного коридора, температура горячего коридора будет равна средней температуре помещения в целом, а холодного примерно на 15 °С ниже, например, 27 °С и 12 °С соответственно [10]. При изоляции горячего коридора температура в помещении будет равна температуре холодного коридора, а горячего — на 15 °С выше, например, 20 °С и 35 °С.

*Использование внутрирядных кондиционеров.* Тенденция увеличения мощности стоек переводит задачу охлаждения в число приоритетных. Например, итальянский производитель Uniflair SPA гарантирует отвод тепла вплоть до 40 кВт со стойки при использовании изолированных коридоров и модулей активного пола. Энергоэффективный подход к решению проблемы: установка внутрирядных кондиционеров (рис. 46).



Рисунок 46 – Внутривы рядный кондиционер в ЦОД

Таким образом, использование внутривы рядных кондиционеров при мощности стойки выше 10 кВт позволяет еще больше снизить эксплуатационные затраты на содержание ЦОД.

*Повышение эффективности системы охлаждения.* Традиционные методики избыточного давления в помещении ЦОД, холодных и горячих коридоров зарекомендовали свою значимость. Однако есть принципы, учет которых может помочь в проектировании более эффективной системы:

- повышение качества теплоизоляции и влагоизоляции ЦОД. Использование современных материалов позволит защитить ЦОД от влияния внешнего тепла летом;
- размещение охлаждающего оборудования как можно ближе к источникам тепла. Это позволит избежать неэффективного охлаждения площадей и создания "длинных" градиентов температур в помещении;
- размещение внешних теплообменников в «теневого» части, на северной стороне помещения, избегание установки на черных поверхностях;
- использование аккумуляторов холода (например, бассейнов охлажденной воды), которые могут включаться в систему охлаждения при прохождении пиковых нагрузок. При этом система активного охлаждения может работать, не выходя из нормального режима, накапливая холод в бассейне ночью и забирая его днем.

*«Фрикулинг» — использование холода внешней среды.* Основная часть электроэнергии в ЦОД расходуется на питание ИТ-оборудования и системы охлаждения, которая переносит тепло от работающих серверов (СХД, коммутаторов) за пределы здания, где это тепло и рассеивается.

Повысить энергоэффективность ЦОД можно за счет использования холода внешней среды. Более того, организовать охлаждение для ЦОД можно за счет бросового тепла, вырабатываемого производственным циклом.

При помощи естественного теплоносителя происходит подача внешнего хо-

лода в помещение, в роли которого выступает воздух. В России большую часть года температура наружного воздуха значительно ниже  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (согласно ГИА-942, это максимальный рекомендуемый показатель для подачи на воздухозаборники ИТ-оборудования).

В этой связи для охлаждения ИТ-оборудования целесообразно использовать внешний воздух. Применение такого охлажденного воздуха и подача (либо подмес) его в серверное помещение получили название «фрикулинг» (англ. free-cooling — свободное охлаждение) (рис. 47).



Рисунок 47 – Схема работы Киото-кулинга

*Использование энергии тригенерации.* Для нужд охлаждения ЦОД можно использовать вырабатываемое им же тепло, превращая его в холод. Для этого используются специальные абсорбционные чиллеры, в которых циркуляция хладагента (чаще всего дистиллированной воды) происходит за счет растворения (абсорбции) хладагента в жидкости-абсорбенте, в роли которого чаще всего выступает раствор бромистого лития. Цикл абсорбционного охлаждения использует эффект поглощения тепла хладагентом при его переходе из парообразного состояния в жидкое. При этом сам процесс называется уже тригенерацией и подразумевает получение не только электроэнергии, но и тепла и холода.

## **2.5 Энергосберегающие мероприятия для систем ГВС и холодной воды**

*Применение автоматических (сенсорных) смесителей.* Автоматические сенсорные смесители (рис. 48) служат для автоматического включения и отключения подачи воды к мойкам и раковинам и для термостатического регулирования ее температуры[11].



Рисунок 48 – Автоматический сенсорный смеситель с термостатическим клапаном

Их применение экономически оправдано в общественных зданиях. Функция термостатического регулирования защищает от ожогов. Функция автоматического отключения прекращает поток воды сразу после прекращения использования.

Отсутствие ручного регулирования исключает возможность поломки приложением чрезмерного усилия. У данной технологии есть существенный недостаток: сенсорный смеситель не позволяет регулировать расход воды.

Автоматические смесители с термостатическими клапанами могут внедряться в новые и в существующие системы внутреннего водопровода.

*Отключение циркуляции ГВС в ночное время.* Циркуляция воды в системе горячего водоснабжения осуществляется для поддержания постоянной температуры горячей воды.

В общественных зданиях в ночное время горячее водоснабжение не используется. Поддержание температуры горячей воды в ночное время приводит к неоправданным тепловым потерям через неизолированную поверхность труб системы горячего водоснабжения.

Для отключения циркуляции в системе горячего водоснабжения достаточно установка циркуляционного насоса с реле времени со шкалой на 24 часа, или оснащение реле существующего насоса. Использование реле времени позволяет отказаться от использования в системе термостата. Для этого необходимо настроить периодическое включение/выключение насоса в рабочее время и отключение в ночное время.

Альтернативное мероприятие, позволяющее снизить самопроизвольные тепловые потери системами ГВС – тепловая изоляция трубопроводов.

*Применение экономичных сливных бачков.* Существуют две технологии эко-

НОМИЧНЫХ СЛИВНЫХ БАЧКОВ:

- двухкнопочные сливные бачки с полным и частичным сливом;
- сливные бачки со стоп-кнопкой (WC-stop) (рис. 49).

Наиболее распространены двухкнопочные сливные бачки (рис. 50). При нажатии кнопки частичного слива из бачка вытекает от двух до четырех литров воды, при нажатии кнопки полного слива – весь объем бачка – от шести до девяти литров.



Рисунок 49 – Двухкнопочный сливной механизм



Рисунок 50 – Сливной механизм с технологией WC-stop

Технология WC-stop менее распространена. Сливной бачок оснащен одной кнопкой, при первом нажатии на которую происходит слив, при повторном нажатии слив прекращается.

Экономичные сливные механизмы могут быть внедрены как с заменой сливных бачков, так и без замены, если это позволяют габаритные и присоединительные размеры существующих бачков.

Сливные механизмы, поставляющиеся отдельно от бачков, как правило, регулируются по высоте, но в небольшом диапазоне. Размеры кнопки и клапана не регулируются, и поэтому должны совпадать с размерами соответствующих отверстий в сливном бачке.

*Применение аэраторов.* Аэраторы (рис. 51) – небольшое приспособление,

которое крепится на «носике» крана и ограничивает поток воды без снижения интенсивности струи, а также для смешивания воды с воздухом. При использовании крана без аэратора расход воды может достигать 15 литров в минуту. Установка аэратора позволяет сократить расход воды до 6 литров в минуту. Существуют насадки-аэраторы для душа. Аэраторы могут комплектоваться регуляторами расхода воды (рис. 52).



Рисунок 51 – Аэратор для крана



Рисунок 52 – Регулятор расхода воды

Устройство и принцип действия регулятора расхода воды приведен на рисунке 53. Вода протекает между звездочкой и свободно лежащим эластичным кольцом. При открытии водопроводного крана эластичное кольцо вдавливается в пропускные отверстия и по мере возрастания давления в системе ограничивает поток воды, тем самым обеспечивая постоянный расход жидкости. При закрытии водопроводного крана происходит обратный процесс. Эластичность кольца и размеры конструкции выполнены таким образом, что позволяют сохранять фиксированный расход воды для каждого устройства, независимо от давления в водопроводной сети. Скорость движения воды между звездочкой и эластичным кольцом

увеличивается при уменьшении зазора, что приводит к визуальному и осязательному ощущению хорошего напора воды.

Насадка-аэратор подбирается по размеру «носика» крана, с учетом наличия и расположения резьбы. Не следует применять аэраторы на кранах, предназначенных для набора воды в емкости для влажной уборки, т. к. аэраторы значительно снижают скорость истечения воды.

Аэраторы с регуляторами расхода воды следует применять в системах водоснабжения с частыми перепадами давления воды.

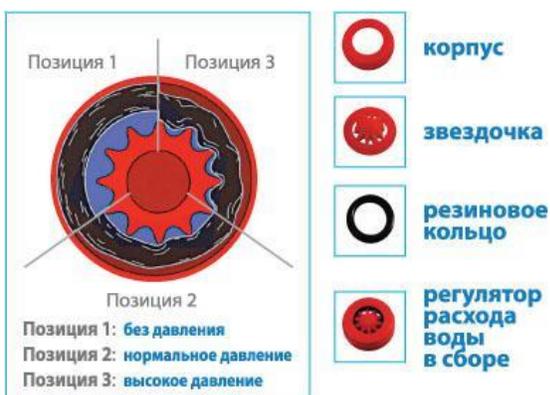


Рисунок 53 – Устройство и принцип действия регулятора расхода воды

### **3 Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий**

#### **3.1 Показатели оценки эффективности от реализации мероприятий по энергосбережению**

Эффективность – это категория, которая характеризуемая системой показателей, отражающих соотношение затрат и результатов применительно к интересам соответствующего учреждения [14].

Можно выделить следующие результаты, на достижение которых должна быть направлена реализация энергосберегающих мероприятий:

- экономия энергетических ресурсов в натуральном и стоимостном выражении;
- сокращение удельного потребления энергетических ресурсов;
- обеспечение приборами учета по всем видам энергетических ресурсов;
- сокращение расходов на оплату энергетических ресурсов и коммунальных услуг.

Расчет эффекта от комплекса мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности базируется на методе расчета эффекта от отдельного мероприятия:

- определяются значения показателей потребления за базовый год;
- рассчитываются значения коэффициентов сопоставимых условий;
- выполняется расчет индикаторов;
- выполняется расчет показателей эффективности программы ЭС.

Необходимо конкретизировать последовательность и условия применения показателей, для обоснования лучшего выбора на основе сопоставления финансовых затрат на реализацию мероприятий и для эффекта в виде экономии энергетических ресурсов при их обращении (производстве, транспорте, потреблении).

В данной методике представлены способы расчета следующих показателей:

- простой срок окупаемости капиталовложений,
- годовая экономия энергетических ресурсов по мероприятию в натуральном выражении,
- годовая экономия энергетических ресурсов по мероприятию в стоимостном выражении.

### 3.2 Методика расчета оценки срока окупаемости мероприятия

Для оценки инвестиционной привлекательности мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности нужно использовать такой критерий, как срок окупаемости.

Срок окупаемости (англ. Pay-Back Period) – период времени, необходимый для того, чтобы доходы, генерируемые инвестициями, покрыли затраты на инвестиции [15].

Однако, в области инвестиционной привлекательности, у срока окупаемости есть недостаток. Заключается он в том, что этот показатель не учитывает все поступления денежных средств после момента полного возмещения первоначальных расходов. При выборе из нескольких инвестиционных проектов, если исходить только из срока окупаемости инвестиций, не будет учитываться объём прибыли, созданный проектами.

Простой срок окупаемости определяется по следующей формуле:

$$DP = Inv/Et, \quad (1)$$

где  $Et$  – денежные поступления от реализации проекта (на этапе  $t$ );

$Inv$  – инвестиции (капитальные вложения) в проект.

### 3.3 Методика расчёта эффективности мероприятия «Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы»

*Описание мероприятия.* Использование ламп накаливания для освещения помещений приводит к значительному расходу электрической энергии (по сравнению с люминесцентными или светодиодными лампами). Люминесцентные или светодиодные лампы, потребляют в 4-9 раз меньше электроэнергии. Соответствие мощностей ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп приведено на рисунке 54. Срок службы люминесцентных ламп в 2-3 раза больше, чем у ламп накаливания.



Рисунок 54 – Соответствие мощностей ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп

Пошаговая методика расчёта. **Шаг 1.** Расчетное потребление электроэнергии на освещение помещений с временным пребыванием людей составляет, кВт\*ч:

$$W_{лн} = N \cdot P_{лн} \cdot \tau \cdot z \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где  $N$  [шт.] – количество ламп накаливания в местах с временным пребыванием людей;

$P_{лн}$  [Вт] – мощность лампы накаливания;

$\tau$  [ч] – время работы системы освещения;

$z$  – число рабочих дней в году.

А также, установка датчиков движения позволит сократить число часов работы системы освещения до 1-2 часов. Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы позволит снизить использование электроэнергии на работу осветительных установок.

**Шаг 2.** Расход электроэнергии на освещение мест с временным пребыванием людей после внедрения системы автоматического регулирования и замены ламп составит, кВт\*ч:

$$W_{клл} = N \cdot P_{клл} \cdot \tau_a \cdot z \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где  $P_{клл}$  [Вт] – мощность компактной люминесцентной лампы;

$\tau_a$  [ч] – время работы системы освещения после установки датчиков движения и присутствия [14].

**Шаг 3.** Экономия электроэнергии при внедрении мероприятий рассчитываем по формуле [кВт\*ч]:

$$\Delta W = W_{лн} - W_{клл}. \quad (4)$$

**Шаг 4.** Годовая экономия в денежном выражении составит, тыс. руб.:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta W \cdot T_{\mathcal{E}\mathcal{E}} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где  $T_{\mathcal{E}\mathcal{E}}$ [руб./кВт\*ч] – тариф на электрическую энергию.

### 3.4 Методика расчёта эффективности мероприятия «Установка частотно-регулируемого привода» для одного насоса (вентилятора)

По статистике, на долю электропривода приходится 30-40%, в общем балансе электропотребления страны [15]. Соответственно, здесь нужно уделять больше внимания на экономию электроэнергии. Нерациональные потери в электроприводе вызваны, главным образом, несоответствием его параметров, требуемым.

Регулируемый привод также позволяет:

- регулировать выходные параметры;
- осуществлять плавный пуск электродвигателя.

Современные преобразователи частоты (ПЧ) содержат регулятор технологического процесса, которого достаточно для стабилизации выходного показателя системы (давления, температуры и др.). Если жечастотно-регулируемый привод (ЧРП) включён в систему управления более высокого уровня, то обеспечивается и более сложное управление необходимым параметром.

*Пошаговая методика расчета. Шаг 1.* Величина потребляемой из сети мощности насоса [кВт] равна

$$P_{нас} = (2,72 \cdot G \cdot H \cdot \rho \cdot 10^{-3}) / (\eta_{мех} \cdot \eta_{эл.прив}), \quad (6)$$

где  $G$  [кг/ч] – массовый расход жидкости,

$H$  [м] – напор. Напор механизма представляет собой разность давлений на его выходе и входе:  $H = p_{вых} - p_{вх}$ ,

$\rho$  [кг/м<sup>3</sup>] – плотность рабочей среды. Ее величина зависит от температуры и давления, но можно для воды приближённо считать  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

$\eta_{мех}$ ,  $\eta_{эл.прив}$  – КПД механический и электрического привода соответственно. При работе от ПЧ уменьшаются магнитные потери в двигателе и изменяются электрические потери [14]. Но поскольку оценить изменение электрических потерь сложно (зависят от законов регулирования технологического параметра и преобразователя), целесообразно считать и при работе с ПЧ КПД электродвигателя постоянным и равным номинальному, а при отсутствии данных по конкретному типу ПЧ принимать  $\eta_{преоб} = 0,98$ .

Для газодувных машин:

$$P_{гдм} = (2,72 \cdot V \cdot 10^{-3}) / (\eta_{мех} \cdot \eta_{эл.прив}) \quad (7)$$

где  $V$  [м<sup>3</sup>/ч] – объемный расход газа.

Здесь расходы жидкости (газа)  $G$  ( $V$ ) определяются технологическим процессом и от установки ЧРП не меняются.

До установки ЧРП давление на выходе механизма либо снижается до необходимого уровня в дросселирующем устройстве (задвижка, клапан, направляющий аппарат), либо при отсутствии регулирования определяется характеристикой механизма и изменяется в зависимости от расхода рабочей среды.

В последнем случае следует определить необходимое (требуемое –  $H_{\text{треб}}$ ) давление на выходе механизма, исходя из свойств технологического процесса.

При установке ЧРП КПД электропривода изменяется в известное число раз ( $\eta_{\text{преоб}} = 0,98$ ) и остаются две составляющие изменения потребляемой мощности: изменение напора и КПД механизма.

**Шаг 2.** Влияние ЧРП на КПД насоса качественно иллюстрирует рисунке 2. В первом режиме работы с подачей  $G_1$ , напором  $H_1$  или КПД  $\eta_1$ , соотношения между которыми определяются заводскими (каталожными) характеристиками  $H_0(G_0)$ ,  $\eta(G_0)$ , давление после нерегулируемого насоса снижается в дросселирующем устройстве до  $H_{\text{треб}1}$  [15].

После установки преобразователя частоты рабочая точка  $G_1, H_{\text{треб}1}$  по теории подобия перемещается на характеристику  $H_i(G_i)$  по параболе, проходящей через начало координат. КПД при этом определяется величиной  $G_{01}$  и равен  $\eta_{\text{пч}1}$ , который больше  $\eta_1$ . Аналогично для режима 2 с подачей, превышающей номинальную, на рисунке 55 показано, что после установки ПЧ КПД уменьшается с  $\eta_2$  до  $\eta_{\text{пч}2}$ . Поскольку, как правило, приводимые механизмы работают без превышения номинальных расходов, установка ЧРП приводит к повышению КПД.

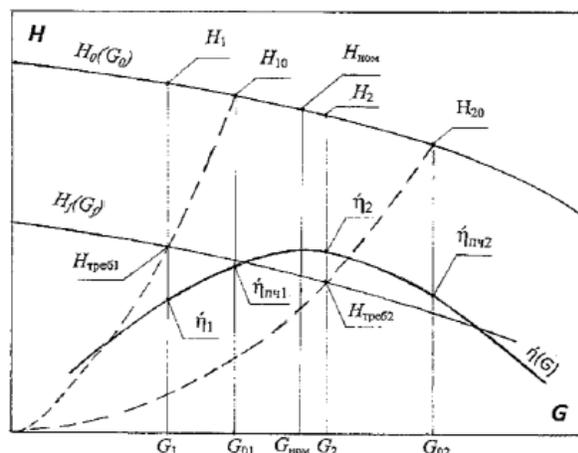


Рисунок 55 – Графические построения для определения КПД регулируемого насоса по его характеристикам

Определить количественные изменения КПД при переходе на работу с регулируемым приводом можно графически, как показано на рисунке выше. Но такие достаточно громоздкие построения уместны в проекте установки конкретного ПЧ. Для энергоаудита целесообразно пользоваться приведённой ниже упрощенной методикой.

Обозначим исходные величины (до установки ПЧ) индексом «0» ( $P_0$ ,  $N_0$  и т.д.), а после установки ПЧ – «пч» ( $P_{пч}$  и т.д.). С учётом принятого выше соотношения  $\eta_{эл.прив.пч}=0,98 \cdot \eta_{эл.прив 0}$ :

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{P_{пч} - P_0}{P_0} = 1,02 * \frac{\frac{N_{пч}}{\eta_{пч}}}{\eta_0} - 1, \quad (8)$$

Следовательно, величина относительного изменения мощности равна увеличенному в 1,02 раза частному от деления относительного изменения напора  $N_{пч}/N_0$  на относительное изменение КПД  $\eta_{пч}/\eta_0$  минус единица. Если при расчёте учитывать не обобщённый КПД преобразователя частоты 0,98, а фактический для известного типа, следует заменить коэффициент 1,02 на действительную величину  $1/\eta_{преобр}$ .

Фактический напор  $N_0$  измеряется при обследованиях, а после установки ПЧ принимается равным требуемому технологическим процессом с учётом давления на входе механизма, т.е.  $N_{пч} = N_{треб}$ .

При сложностях с измерением расхода можно воспользоваться заводскими характеристиками, определяя по ним и измеренной мощности  $P_0$  расход  $G_0$  и КПД  $\eta_0$  (по характеристике насоса графически определять расход по напору не следует, так как получается очень большая погрешность).

При отсутствии характеристик приближенный расчёт расхода и КПД можно выполнить при аппроксимации характеристик напора и КПД квадратичными зависимостями. Для насоса, имеющего, как правило, наибольший напор при нулевом расходе:

$$H = H_{G=0} - (H_{G=0} - H_{ном}) \cdot (G/G_{ном})^2, \quad (9)$$

$$\eta = \eta_{ном} - (\eta_{ном}/G^2) \cdot (G/G_{ном})^2 = \eta_{ном} \cdot (1 - (G/G_{ном} - 1)^2), \quad (10)$$

где  $H_{G=0}$  напор при нулевом расходе.

Значение  $H_{G=0}$  можно вычислить по известным значениям напора и расхода в каком-либо режиме, например, во время обследования  $H_{обсл}$ ,  $G_{обсл}$ .

$$H_{G=0} = \frac{H_{обсл} - H_{ном} * \left(\frac{G_{обсл}}{G_{ном}}\right)^2}{\left(1 - \frac{G_{обсл}}{G_{ном}}\right)^2}, \quad (11)$$

Из выражений (9), (10) следует:

$$\frac{G}{G_{ном}} = \sqrt{\frac{H_{G=0} - H}{H_{G=0} - H_{ном}}}, \quad (12)$$

$$\dot{\eta}/\dot{\eta}_{ном} = 1 - (G/G_{ном} - 1)^2, \quad (13)$$

При регулировании частоты вращения механизма КПД определяется расчетным расходом  $G_{расч}$ , находящемся на пересечении заводской характеристики  $H(G)$  и параболы, проходящей через начало координат и точку  $G_{пч}$ ,  $H_{пч}$

$$H = H_{пч} * G^2 / G_{пч}^2, \quad (14)$$

Приравниванием правые части выражений (9) и (14) получаем:

$$G_{расч} = \sqrt{\frac{H_{G=0}}{\frac{H_{пч}}{G_{пч}^2} + \frac{H_{G=0} - H_{ном}}{G_{ном}^2}}} \quad (15)$$

или

$$\frac{G_{расч}}{G_{ном}} = \sqrt{\frac{H_{G=0}}{H_{пч} * \frac{G_{ном}^2}{G_{пч}^2} + H_{G=0} - H_{ном}}}, \quad (16)$$

Для газодувных машин (ГДМ) в отличие от насосов максимум напора приходится не на нулевой расход газа, а примерно на расход  $V_{Hmax} = (0,3 - 0,5) V_{ном}$ . При этом аналитическая зависимость напора от расхода оказывается несколько более громоздкой:

$$H = H_{max} + ((H_{ном} - H_{max}) \cdot (V - V_{Hmax})^2 / (V_{Hmax} - V_{ном})^2), \quad (17)$$

где  $H_{max}$ ,  $V_{Hmax}$ ,  $H_{ном}$ ,  $V_{ном}$  берутся из характеристик ГДМ, причём, точкой номинального режима следует считать входящую на максимум КПД.

Соответственно вместо формул для насосов для ГДМ  $V_{расч}$  вычисляется по формуле:

$$V_{расч} = \alpha * \frac{V_{Hmax}}{\alpha - b} + \sqrt{\left(\frac{\alpha * V_{Hmax}}{\alpha - b}\right)^2 - \frac{H_{max} + \alpha * V_{Hmax}}{\alpha - b}}, \quad (18)$$

где  $a = (H_{ном} - H_{max}) / (V_{Hmax} - V_{ном})^2$ ;  
 $b = H_{пч} / V_{пч}^2$ .

**Шаг 3.** Если механизм имеет несколько характерных режимов, например, для сетевого насоса зимний и летний, то, соответственно, вычисляются относительные, затем и абсолютные изменения мощностей для каждого режима.

Снижение электропотребления за год от регулирования электропривода

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P_1 \cdot T_1 + \Delta P_2 \cdot T_2 + \dots + \Delta P_n \cdot T_n, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (19)$$

где  $T_i$  – продолжительность периода в часах и  $\sum T_i = 8760$  час.

Стоимость сэкономленной электроэнергии рассчитывается по установленным для потребителя тарифам.

**Шаг 4.** Тогда годовая экономия в денежном выражении составит:

$$\mathcal{E} = \Delta \mathcal{E} \cdot T, \text{ руб.} \quad (20)$$

где  $\mathcal{E}$  [руб.] – экономия в денежном выражении,

$\Delta \mathcal{E}$  [кВт·ч] - снижение электропотребления за год от регулирования электропривода,

$T$  [руб/кВт·ч] – тариф на электрическую энергию.

### 3.5 Методика расчёта эффективности мероприятия «Применение автоматических сенсорных смесителей»

Эффективным энергосберегающим мероприятием является установка автоматических сенсорных смесителей, так как, позволяет сэкономить до 50% горячей и холодной воды. Экономический эффект достигается благодаря значительному сокращению времени протекания воды.

Автоматические сенсорные смесители (рис. 56) служат для автоматического включения и отключения подачи воды к мойкам и раковинам, а также для термо-

статического регулирования ее температуры. Главное отличие сенсорные смесители от обычных смесителей, это отсутствие вентиля для регулировки воды.

Экономически оправданное их применение, в общественных зданиях, а также в учебных заведениях. Функция термостатического регулирования защищает детей младшего возраста от ожогов. Функция автоматического отключения перекрывает поток воды сразу после прекращения использования. Отсутствие ручного регулирования исключает возможность поломки приложением чрезмерного усилия.



Рисунок 56 – Автоматический сенсорный смеситель с термостатическим клапаном

При этом необходимо учитывать, что коэффициент экономии автоматических сенсорных смесителей, заявляемый производителями (до 50%) - является несколько завышенным. Фактический коэффициент экономии составит при этом около 20%.

*Пошаговая методика расчета.* **Шаг 1.** Годовое сокращение потерь воды с установленным автоматическим сенсорным смесителем определяется, м<sup>3</sup>:

$$\Delta V = K_{eff} \cdot V_n, \quad (21)$$

где  $k_{eff}$  – коэффициент экономии автоматических сенсорных смесителей;

$V_n$  [м<sup>3</sup>] – объем воды, потребленной через существующие смесители за базовый период (считается отдельно для горячей и холодной воды).

**Шаг 2.** Общая годовая экономия в денежном выражении определяется по формуле, руб.:

$$\mathcal{E} = \Delta V_g \cdot T_{гор} + \Delta V_x \cdot T_{хол}, \quad (22)$$

где  $\Delta V_g$  [м<sup>3</sup>] – годовая экономия горячей воды;

$\Delta V_x$  [м<sup>3</sup>] – годовая экономия холодной воды;

$T_{гор}$  [руб./ м<sup>3</sup>] – тариф на горячую воду;

$T_{хол}$  [руб./ м<sup>3</sup>] – тариф на холодную воду.

**Шаг 3.** Затраты на замену всех смесителей определяются по формуле:

$$C_{\Sigma} = N_{смес} \cdot C_1, \quad (23)$$

где  $N_{смес}$  – количество установленных в здании смесителей,

$C_1$  [руб.] – затраты на установку одного автоматического сенсорного смесителя с учетом материалов и стоимости работ.

### 3.6 Методика расчёта эффективности мероприятия «Улучшение теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания (кровля)»

Данное мероприятие может быть использовано для снижения тепловых потерь через наружные ограждения и для устранения выпадения конденсата на внутренней поверхности наружных ограждений. Может привести к изменению класса энергетической эффективности здания.

Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания является одним из нормируемых показателей тепловой защиты здания. Нормативные значения устанавливаются в зависимости от градусо-суток отопительного периода и представлены в таблице 7.

Для соблюдения нормативных значений сопротивления теплопередаче применяются многослойные ограждающие конструкции с утеплителем. В качестве утеплителя могут применяться минераловатные плиты, пенополистирол, эковата и другие материалы, обладающие низкой теплопроводностью.

Таблица 7 – Влажностный режим внутри помещений

Режим	Влажность внутреннего воздуха; %при температуре		
	До 12°С	От 12 до 24°С	Выше 24°С
Сухой	До 60	До 60	До 60
Нормальный	От 60 до 75	От 50 до 60	От 40 до 50
Влажный	Свыше 75	От 60 до 71	Свыше 75
Мокрый		Свыше 75	

Существуют два основных типа кровель: плоские (рисунке 57) и скатные (рисунке 58). Структура кровли обоих типов включает в себя несущие конструк-

ции и кровельный пирог. В ходе утепления кровли, как правило, весь кровельный пирог подлежит замене.

Стяжка поверх слоя утеплителя на плоских кровлях выполняется в том случае, если предполагается, что кровля будет эксплуатируемой. В остальных случаях оправдано применение теплоизоляционных материалов, способных упруго деформироваться под весом человека с минимальными остаточными деформациями. Допускается укладка утеплителя в два слоя: нижний – мягкий, верхний – жесткий.

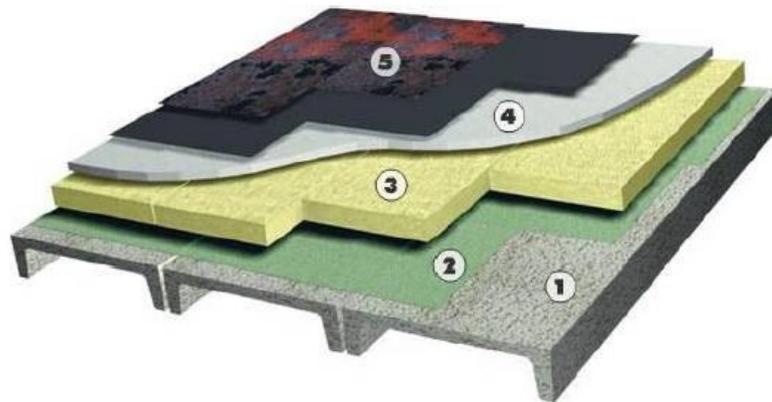


Рисунок 57 – Структура плоской кровли: 1 – плиты покрытия; 2 – слой пароизоляции; 3 – слой утеплителя; 4 – железобетонная стяжка; 5 – слой гидроизоляции (рулонной или наплавляемой)

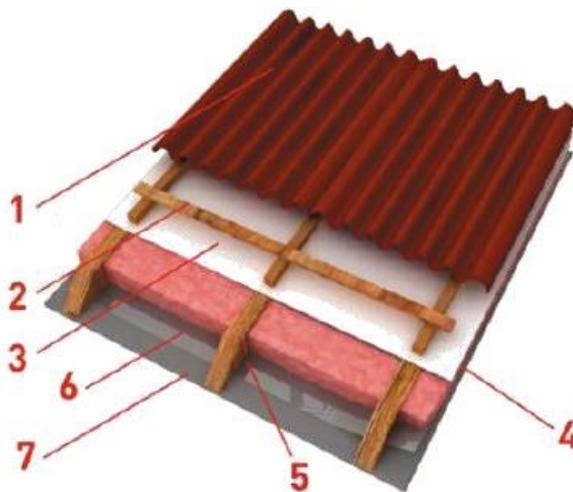


Рисунок 58 – Структура скатной кровли: 1 – черепица или другой кровельный материал; 2 – шаговая (поперечная) обрешетка; 3 – ветро- и влагозащитная мембрана; 4 – слой утеплителя; 5 – стропила; 6 – слой пароизоляции; 7 – слой внутренней отделки

При наличии внутренних водостоков необходимо создавать уклон с помощью сыпучих материалов (как правило, керамзитовый гравий).

В скатной кровле утеплитель должен быть закреплен на несущих конструкциях во избежание его перемещений под собственным весом. Для крепления применяются тарельчатые дюбели или клей.

*Пошаговая методика расчёта. Шаг 1.* Средняя за отопительный период тепловая мощность, передаваемая через кровлю, определяется по формуле, Вт:

$$Q = (t_{в} - t_{нар}^{ср}) * \frac{F}{R}, \quad (24)$$

где  $t_{в}$  [°C] - средняя температура воздуха в помещении;

$t_{нар}^{ср}$  [°C] – средняя температура наружного воздуха за отопительный период;

$F$  [м<sup>2</sup>] – площадь кровли;

$R$  [м<sup>2</sup>·°C/Вт] – термическое сопротивление, определяется по формуле 2:

$$R = \frac{1}{\alpha_{внутр}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{нар}}, \quad (25)$$

где  $\alpha_{внутр}$  [Вт/м<sup>2</sup>·°C] - коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к кровле (см. таблица 8);

$\delta$  [м] – толщина теплоизоляционного слоя;

$\lambda$  [Вт/м·°C] - коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя;

$\alpha_{нар}$  [Вт/м<sup>2</sup>·°C] - коэффициент теплоотдачи от кровли в окружающей среде (см. таблица 9).

Таблица 8 – Коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждающей конструкции

Внутренняя поверхность ограждающих конструкций	$\alpha_{внутр}$ [Вт/м <sup>2</sup> ·°C]
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими рёбрами при отношении высоты рёбер $h$ к расстоянию $a$ между гранями соседних рёбер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими рёбрами при отношении высоты $h$ рёбер к расстоянию $a$ между гранями соседних рёбер $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

Таблица 9 – Коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности ограждающей конструкции к окружающей среде

Внутренняя поверхность ограждающих конструкций	$\alpha_{нар}$ [Вт/м <sup>2</sup> ·°С]
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми поёмами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых поёмов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными выше уровня земли	6

**Шаг 2.** Средняя за отопительный период тепловая мощность, передаваемая через кровлю, определяется дважды – до внедрения мероприятия и после внедрения мероприятия.

После чего рассчитывается экономия тепла за отопительный период  $\Delta Q$  как разница между тепловой мощностью, передаваемой через ограждающую конструкцию здания (кровлю) до внедрения и после внедрения мероприятия.

$$\Delta Q = (Q1-Q2) \cdot n \cdot C, \quad (26)$$

где  $\Delta Q$  [кВт·час, Гкал] – экономия тепловой энергии за год от внедрения мероприятия;

$n$  [час] – длительность отопительного периода,

$C$  – коэффициент перевода кВт·ч в Гкал равный  $0,86 \cdot 10^{-3}$ .

**Шаг 3.** Годовая экономия в денежном выражении, руб.:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta Q \cdot T_{т.э}, \quad (27)$$

где  $T_{т.э}$  [руб./Гкал] - тариф на тепловую энергию.

## **4 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятий в денежном выражении**

### **4.1 Порядок расчета эффекта от мероприятия в натуральном и денежном выражении в сопоставимых условиях**

С целью уменьшения объемов потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и воды реализуются мероприятия по энергосбережению и по повышению энергетической эффективности.

Достигнутый эффект от реализации мероприятий (экономия) может быть оценен как в натуральном, так и в стоимостном выражении. Для расчета срока окупаемости мероприятий, для сравнения плановых показателей энергосбережения с фактическими, а также при проведении энергетического обследования необходимо определение достигнутой экономии.

Мероприятия, проведенные в рамках программы по энергосбережению, могут быть направлены как на увеличение потенциальной экономии потребления ресурсов в общем, так и на экономию отдельных видов ТЭР либо на экономию ТЭР на различные цели, например, отопление или освещение.

В качестве мероприятий, направленных непосредственно на экономию ТЭР и воды можно выделить следующие группы мероприятий:

1. Мероприятия по уменьшению потерь (замена окон на энергосберегающие пластиковые или ремонт тамбуров в зданиях).

2. Мероприятия по уменьшению потребления ресурсов (оптимизация расписания для уменьшения потребления электрической энергии на цели освещения, установка индивидуального теплового пункта и узла автоматики погодного регулирования).

При определении размера экономии, достигнутой в результате реализации мероприятий по энергосбережению, должны учитываться следующие факторы:

1) изменение режимов функционирования и (или) функционального назначения энергопотребляющих установок;

2) изменение количества потребителей энергоресурсов (например, изменение численности учащихся за счет поглощения одним образовательных учреждений другим);

3) изменение площади и объемов помещений (например, при вводе в эксплуатацию новых или реконструированных зданий и выводе из эксплуатации ветхих и аварийных зданий);

4) существенное изменение погодных условий - среднесуточной температуры наружного воздуха, среднесуточной температуры наружного воздуха в отопительный период;

5) изменение продолжительности отопительного периода (в соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»).

Расчет выполняется в следующей последовательности:

1) определяются значения показателей потребления за базовый и отчетный год;

2) рассчитываются значения коэффициентов сопоставимых условий;

3) выполняется расчет индикаторов;

4) выполняется расчет показателей эффективности программы энергосбережения.

При этом расчеты выполняются только для тех объектов, на деятельность которых влияет мероприятие.

Мероприятие по замене ламп накаливания на энергосберегающие оказывает влияние на потребление электрической энергии на цели освещения только в тех помещениях, в которых была проведена замена. При этом, в большинстве случаев в образовательном учреждении нет возможности выделить долю электрической энергии, расходуемой на цели освещения в указанных выше помещениях, в связи с отсутствием индивидуальных приборов учета. В таком случае оценка энергосберегающего эффекта от мероприятия может быть проведена только для здания в целом, на основании показаний общедомового прибора учета.

#### **4.2 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятия «Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы»**

Пример расчёта:

В 10 помещениях временное пребывание установлено 30 ламп накаливания, единичной мощностью 95 Вт.

Система освещения в помещениях работает в течение всего рабочего дня, который составляет 8 часов. Тариф на электрическую энергию (г.Иркутска)  $T = 0,97$  руб./кВт·ч. Число рабочих дней этих помещений в году – 250 дней.

Решение:

Расход электроэнергии на освещение помещений с временным пребыванием людей до замены ламп и установки датчиков движения, кВт·ч:

$$W_{лн} = N \cdot P_{лн} \cdot \tau \cdot z \cdot 10^{-3} = 30 \cdot 95 \cdot 8 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = 5700 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

При внедрении системы автоматического управления освещением в помещениях с временным пребыванием людей время использования светильников, согласно опытным данным, уменьшится до 2,5 часа.

Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы позволит получить расход электроэнергии, кВт·ч:

$$W_{клл} = N \cdot P_{клл} \cdot \tau_{\alpha} \cdot z \cdot 10^{-3} = 30 \cdot 16 \cdot 2,5 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = 300 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Экономия электроэнергии при внедрении мероприятий будет равна, кВт·ч:

$$\Delta W = W_{лн} - W_{клл} = 5700 - 300 = 5400 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовая экономия в денежном выражении составит, тыс. руб.:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta W \cdot T_{\text{ээ}} \cdot 10^{-3} = 5400 \cdot 0,97 \cdot 10^{-3} = 5,24 \text{ тыс. руб}$$

При реализации мероприятий «Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы» в г. Иркутск, достигается экономия в размере 5240 руб.

Объем инвестиций в данные мероприятия, исходя из совокупных затрат на покупку и установку датчиков движения и присутствия, а также компактных люминесцентных ламп, составит, тыс. руб.:

$$Inv = N_{клл} \cdot C_{клл} + (1 + k) \cdot N_{\alpha} \cdot C_{\alpha} ,$$

где  $N_{клл}$  – требуемое количество ламп, шт.;

$C_{клл}$  – стоимость одной компактной люминесцентной лампы, руб.;

$k$  – доля затрат на монтаж датчиков движения в стоимости оборудования, руб.;

$N_{\alpha}$  – требуемое количество регуляторов системы освещения (количество помещений), шт.;

$C_{\alpha}$  – стоимость одного регулятора системы освещения, руб.

При условии, что стоимость монтажных работ составит 50% от стоимости оборудования, инвестиции в проект, руб.:

$$Inv = 30 \cdot 200 + (1 + 0,5) \cdot 10 \cdot 650 = 15750 \text{ руб},$$

Таким образом, используя формулу, находим срок окупаемости мероприятия:

$$DP = \frac{Inv}{\Delta \mathcal{E}} = \frac{15750}{5240} = 3 \text{ года.}$$

Срок окупаемости составляет 3 год. Срок службы компактных люминесцентных ламп составляет 2 года. Срок службы датчиков движения – 5 лет.

#### **4.3 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятия «Установка частотно-регулируемого привода»**

Пример расчёта

Необходимо произвести оценку годовой экономии от внедрения мероприятия в натуральном и денежном выражении для ЦТП, на котором в системе ХВС установлены повысительные насосы типа К 100-65-200 с электродвигателями мощностью 30 кВт.

Характеристики насоса:

Мощность электродвигателя  $P_{ном}=30$  кВт.

Подача насоса  $G_{нас}= 100$ м<sup>3</sup>/ч.

Напор  $H_{нас}= 50$ м.

КПД насоса  $\eta_{нас}=0,69$ .

Ток электродвигателя  $I_{ном} = 55,7$  А,  $\cos\phi=0,91$ , КПД  $\eta_{дв}=0,90$ .

Самый высокий дом в микрорайоне – 16-ти этажный, схема ГВС - циркуляционная. Одноставочный тариф на момент обследования  $T=4,177$ руб./кВт·ч.

*Обследованиями получены следующие средние показатели:*

Расход воды  $G_0=G_{пч}= 50$ м<sup>3</sup>/ч,

Давление на входе насоса  $H_{вх}= 20$ м,

- на выходе - 75м,

- давление после подогревателя ГВС – 73м,

Ток электродвигателя  $I= 29$ А,

Напряжение на двигателе  $U=380$ В.

В работе 1 насос.

Решение:

По току и напряжению электродвигателя с допущением постоянных и равных номинальным величинах КПД и  $\cos\phi$  получаем его мощность, кВт:

$$P = 1,73 \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi = 1,73 \cdot 29 \cdot 0,38 \cdot 0,91 = 17,4;$$

или

$$P = (I / I_{ном}) \cdot (U / U_{ном}) \cdot P_{ном} / \eta_{дв} = (29/55,7) \cdot 1 \cdot 30 / 0,9 = 17,4.$$

Требуемый напор насоса, м, равен:

$$\begin{aligned} H_{треб} &= 3 \cdot n_{эт} + \Delta H_{внеш.сети} + \Delta H_{стояка} + \Delta H_{т/о ГВС} + H_{своб} - H_{вх} = \\ &= 3 \cdot 16 + 2 + 6 + (75 - 73) \cdot 1,62 + 3 - 20 = 44. \end{aligned}$$

Таким образом, для дальнейших расчётов имеем

$$H_0 = 75 - 20 = 55 \text{ м};$$

$$G_0 = G_{пч} = 50 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$H_{пч} = H_{треб} = 44 \text{ м};$$

$$P_0 = 17,4 \text{ кВт},$$

По преобразованной формуле

$$\eta_0 = 2,72 \cdot 50 \cdot 55 \cdot 10^{-3} / (17,4 \cdot 0,9) = 0,48.$$

Определим напор при нулевом расходе по формуле:

$$H_{G=0} = (55 - 50 \cdot (50/100)^2) / (1 - (50/100)^2) = 56,67 \text{ м}.$$

Отношение расчетного расхода к номинальному по формуле:

$$G_{расч} / G_{ном} = \sqrt{56,67 / (44 \cdot \left(\frac{100}{50}\right)^2 + 56,67 - 50)} = 0,557$$

Отношение КПД по формуле:

$$\eta_{пч} / \eta_{ном} = 1 - (0,557 - 1)^2 = 0,804,$$

т.е.  $\eta_{пч} = 0,804 \cdot 0,69 = 0,555$  – на 16% выше исходного (0,48).

Относительное изменение мощности по формуле:

$$\Delta P / P_0 = (P_{пч} - P_0) / P_0 = 1,02 \cdot (44/55) / (0,555/0,48) - 1 = -0,294$$

Уменьшение средней потребляемой мощности:

$$\Delta P = 0,294 \cdot 17,4 = 5,12 \text{ кВт}.$$

Насосы ХВС работают непрерывно, следовательно, годовое снижение электропотребления:

$$\Delta \mathcal{E} = 5,12 \cdot 8760 \cdot 10^{-3} = 44,85 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{час.}$$

Тогда годовая экономия в денежном выражении составит:

$$\mathcal{E} = \Delta \mathcal{E} \cdot T = 44,85 \cdot 4,177 = 187 \text{ тыс. руб.}$$

При реализации мероприятия «Установка частотно-регулируемого привода» за год достигается экономия в размере 187 000 руб. Объем инвестиций в данное мероприятие составляет 385 000 руб. (таб.10).

Таблица 10 – Расчет объёма инвестиций

Расходы	Цена	Кол-во	Стоимость, тыс. руб.
ПЧ	110 тыс. руб./шт.	1	110
Дополнительные расходы (250% от стоимости ПЧ)	275 тыс. руб./шт.	1	275
		<b>Итого:</b>	<b>385</b>

Таким образом, находим срок окупаемости мероприятия:

$$DP = Inv/E_t = 385000/187000 = 2,06 \text{ года}$$

Срок окупаемости рекомендуется округлять до целых чисел, т.е. в данном случае срок окупаемости составляет 3 года.

#### **4.4 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятия «Применение автоматических сенсорных смесителей»**

Пример расчёта

Тарифы г.Иркутск:

- на горячую воду  $T_{гор} = 84,9 \text{ руб./ м}^3$

- на холодную воду  $T_{хол} = 12,37 \text{ руб./ м}^3$

Фактическое потребление горячей воды на все смесительные устройства за год  $V_{гор.смес.} = 1500 \text{ м}^3$

Фактическое потребление холодной воды на смесительные устройства за год  $V_{хол.смес.} = 3000 \text{ м}^3$

В здании установлено 15 смесителей.

Затраты на установку одного автоматического сенсорного смесителя с учетом материалов и стоимости работ 7000 руб. Коэффициент экономии автоматических сенсорных смесителей  $k_{eff}$  составляет 20%.

Решение:

Годовая экономия горячей воды с установленным автоматическим сенсорным смесителем, м<sup>3</sup>:

$$\Delta V_g = k_{eff} \cdot V_{гор.смес.} = 0,2 \cdot 1500 = 300 \text{ м}^3.$$

Годовая экономия холодной воды с установленным автоматическим сенсорным смесителем, м<sup>3</sup>:

$$\Delta V_x = k_{eff} \cdot V_{хол.смес.} = 0,2 \cdot 3000 = 600 \text{ м}^3.$$

Тогда годовая экономия в денежном выражении составит, руб.:

$$\mathcal{E} = \Delta V_g \cdot T_{гор} + \Delta V_x \cdot T_{хол} = 300 \cdot 84,9 + 600 \cdot 12,37 = 32892 \text{ руб.}$$

При реализации мероприятия «Применение автоматических сенсорных смесителей» достигается экономия в размере 32892 руб.

Затраты на замену всех смесителей составят:

$$\Sigma = N_{смес.} \cdot \text{Затраты}_1 = 15 \cdot 7000 = 105\,000 \text{ руб.},$$

что определяет общий объем инвестиций в данное мероприятие.

Таким образом, находим срок окупаемости мероприятия:

$$DP = Inv / E_t = 105\,000 / 32\,892 = 3,2 \text{ года}$$

Как видно из приведенного расчета, мероприятие «Применение автоматических сенсорных смесителей» окупится за три года.

#### **4.5 Расчет годовой экономии от внедрения мероприятия «Улучшение теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания (кровля)»**

Пример расчёта:

Площадь кровли  $F = 620 \text{ м}^2$ .

Материал кровли до внедрения мероприятия – плиты жёсткие минераловатные на органофосфатном связующем. Толщина – 50 мм, коэффициент теплопроводности 0,09 Вт/м·°С.

Нормативное термическое сопротивление кровли  $R_0 = 4,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°С Вт}$ .

Расчётная температура внутреннего воздуха  $t_v = 23 \text{°С}$ .

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период  $t_{\text{нар}}^{\text{ср}} = -25 \text{°С}$ .

Средняя продолжительность отопительного периода,  $n = 210$  суток.

Тариф на тепловую энергию  $T_{\text{т.э.}} = 1157,24 \text{ руб./Гкал}$  (на примере г.Иркутска).

Решение:

Рассчитаем термическое сопротивление теплоизоляционного слоя кровли до внедрения мероприятия:

$$R_{\text{ст}} = 1/\alpha_{\text{внутри}} + \delta/\lambda + 1/\alpha_{\text{нар}} = 1/12 + 0,05/0,09 + 1/8,7 = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Средняя за отопительный период тепловая мощность, передаваемая через кровлю, до внедрения мероприятия:

$$Q_1 = (t_v - t_{\text{нар}}^{\text{ср}}) \cdot F/R = 1/0,75 \cdot 620 \cdot (23 - (-25)) = 39680 \text{ Вт} = 39,7 \text{ кВт}.$$

Средняя за отопительный период тепловая мощность, передаваемая через кровлю, после внедрения мероприятия:

$$Q_2 = t_v - t_{\text{нар}}^{\text{ср}} \cdot F/R_0 = 1/4,83 \cdot 620 \cdot (23 - (-25)) = 6161,5 \text{ Вт} = 6,2 \text{ кВт}.$$

Экономия тепла за отопительный период:

$$\Delta Q = (Q_1 - Q_2) \cdot n \cdot C = (39,7 - 6,2) \cdot 210 \cdot 24 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3} = 67 \text{ 145 Гкал}.$$

Годовая экономия в денежном выражении при тарифе  $T_{\text{тэ}} = 1157,24 \text{ руб./Гкал}$ :

$$\Delta \text{Э} = \Delta Q \cdot T_{\text{тэ}} = 145 \cdot 1157,24 = 167 \text{ 799,8 руб.}$$

При реализации мероприятия «Улучшение теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания (кровля)» за отопительный период достигается экономия в размере 167 800 руб.

Определим затраты на реализацию мероприятия:

Наиболее распространенным из материалов, используемых для утепления кровли, является пенополистирол. Данный материал обладает низкой теплопроводностью, соответственно для достижения термического сопротивления  $R_0$  понадобятся плиты с небольшой толщиной, что в целом удешевляет стоимость мероприятия. Коэффициент теплопроводности пенополистирола равен  $\lambda$  пенополистирол = 0,028 [Вт/м·°С]. Определим из этого условия толщину плит  $\delta$  [м], необходимых для достижения термического сопротивления  $R_0$ .

$$R_0 = 1/\alpha_{\text{внутр}} + \delta/\lambda + 1/\alpha_{\text{нар}} \rightarrow \delta = (R_0 - 1/\alpha_{\text{внутр}} - 1/\alpha_{\text{нар}}) \cdot \lambda = \\ = (4,83 - 1/12 - 1/8,7) \cdot 0,028 = 4,64 \cdot 0,028 = 0,13 \text{ м}$$

Необходимая толщина плиты пенополистирола составляет  $\delta = 0,13$  м.

Цена пенополистирола – 440 руб/м<sup>2</sup>.

Стоимость материала составляет – 272800 руб за 620 м<sup>2</sup>. Данная стоимость включает в себя также стоимость работ по демонтажу старого утеплителя и по монтажу нового.

Затраты на утепление с учетом материалов и стоимости работ составляют 272 800 руб., что определяет общий объем инвестиций в данное мероприятие. Таким образом, находим срок окупаемости мероприятия:

$$DP = Inv/Et = 272\ 800/167\ 800 = 1,63 \text{ лет}$$

Как видно из приведенного расчета, мероприятие «Улучшение теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания (кровля)» окупится примерно за 2 года.

## Список использованных источников

1. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. А.И. Колесников, Е.М. Авдолимов, М.Н. Федоров. МДК 1-01.2002. Методические указания по проведению энергоресурсаудита в жилищно-коммунальном хозяйстве//Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. - № 81.- 2001 г. 102 с.
3. Я.М. Щелоков. Энергетическое обследование: справочное издание: В 2-х томах. Том 2. Электротехника. Екатеринбург, 2011 г. 150 с.
4. Ю. Давиденко. Проектирование электронных пускорегулирующих аппаратов для люминесцентных ламп. - Радио, №7/2004, с. 41.
5. Материалы [energoeducation.ru](http://energoeducation.ru)
6. Полищук А.Г., Туркин А.Н. Перспективы применения светильников со светодиодами для энергосберегающего освещения //Энергосбережение. – 2008. – № 2. – С. 52.
7. Материалы <http://elektrikpro.ru>
8. Плотников, В.В. Современные технологии повышения теплозащиты зданий / В.В.Плотников, Ботаговский, М.В. – Брянск: БГИТА, 2009. – 134 с.
9. Шеина, Т.В. Архитектурное материаловедение: учебное пособие // Т.В. Шеина; Самарск. гос. арх.-строит.ун-т.– Самара, 2011. – 360 с.
10. Хомутский Ю. Шесть шагов для снижения расходов на эксплуатацию ЦОД //«Журнал сетевых решений/LAN», – Москва:ноябрь 2010. - № 11.– 57 с.
11. Бухмиров В.В., Нурахов Н.Н., Косарев П.Г., Фролов В.В. Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий // Институт качества высшего образования НИТУ «МИСиС», - Москва: 2014. – 96 с.
12. Хейфец Р. Г. Термодинамические процессы и холодильные циклы // Конспект лекций по дисциплине «Системы производства и распределения энергоносителей» предназначен для студентов теплоэнергетиков. НМетАУ. – Днепропетровск: 2000. – 201 с.
13. Манташов А.Т. Теплотехника. Часть II. Теплотехническое обеспечение объектов сельскохозяйственного назначения; Учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПГСХА, 2011 – 116 с.
14. Бухмиров В.В., Нурахов Н.Н. Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий - Томск: ИД ТГУ, 2014. – 96 с.

15. Методические рекомендации по разработке программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства или муниципальных образований. – М.: ФГБУ «РЭА», 2010