



**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«МИНСКИЙ ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ»**

**В.М. Беляев, В.В. Ивагин**

# **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

*Учебно-методический комплекс*



Минск  
Изд-во МИУ  
2004

**УДК 620.9(076.6)**  
**ББК 31.47**  
**Б**

**Рецензенты:**

**Р.И. Есьман**, доктор технических наук, профессор кафедры "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" БНТУ

Беляев В.М., Ивашин В.В.

**Б** Основы энергосбережения: Учеб-метод, комплекс / В.М. Беляев, В.В. Ивашин - Мн.: Изд-во МИУ, 2004, с.

ISBN

Учебно-методический комплекс предназначен для оказания помощи в изучении дисциплины "Основы энергосбережения" студентам экономических специальностей дневной и заочной форм обучения.

**УДК 620.9(076.6)**  
**ББК 31.47**

ISBN

© В.М. Беляев, В.В. Ивашин, 2004  
© МИУ, 2004

## Введение

Настоящий учебно-методический комплекс предназначен для оказания методической помощи в изучении дисциплины «Основы энергосбережения» студентам экономических специальностей дневной и заочной форм обучения.

В первой части УМК сформулированы цели и задачи изучения дисциплины, требования к знаниям и умениям студентов, показана взаимосвязь этой дисциплины с другими дисциплинами учебного плана. Во второй части приведена общая характеристика лекционного курса, дано краткое изложение тем в соответствии с учебной программой дисциплины. В третьей части приведены методические материалы, необходимые для практического освоения материала и контроля знаний и умений. Методические материалы по проведению практических занятий включают цель занятия и его содержание, общие теоретические сведения, методический разбор решения типовой задачи, которыми следует руководствоваться при подготовке к практическим занятиям. Вопросы к зачету могут быть использованы студентами как форма самоконтроля. В четвертой части приведен развернутый список литературы.

## **ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНО-ВОСПИТАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

### **Цель преподавания дисциплины.**

Целью преподавания дисциплины является формирование у специалиста правильного подхода к постановке и решению проблемы эффективного использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на основе мирового опыта и государственной политики в области энергосбережения.

### **Задачи изучения дисциплины.**

Задачи дисциплины:

- дать студентам основные знания по источникам энергии, вопросам производства, распределения и потребления энергии, экономике энергетики, экологическим аспектам энергосбережения;
- ознакомить студентов с мировыми и государственными показателями, программами и мероприятиями по эффективному использованию энергетических ресурсов;
- ознакомить студентов с приоритетными направлениями энергосбережения по различным отраслям народного хозяйства;
- дать знания по организации и управлению энергосбережением на производстве путем внедрения энергетического менеджмента, по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия на основе анализа затрат.

### **В результате изучения дисциплины студент должен:**

**знать:**

- современные приемы и средства управления энергоэффективностью и энергосбережением;
- основные приемы по выявлению и внедрению новых энергоэффективных технологий в различных отраслях народного хозяйства, а также нетрадиционные и экологически чистые энергоисточники;
- организацию контроля и учета использования энергоресурсов, а также проблемы формирования задач автоматизированной обработки технико-экономической и организационной информации;

**уметь:**

- использовать основные приемы осуществления энергетического анализа технологических процессов и устройств;
- оценить их функционально-экономическую эффективность, а также эффективность энергосберегающих мероприятий;
- пропагандировать идеи энергосбережения на всех уровнях управления производством и в различных слоях населения.

### **Связь дисциплины с другими учебными дисциплинами.**

Изучение дисциплины основано на использовании знаний, полученных студентами по следующим дисциплинам «Производственные технологии», «Основы экологии и экономика природопользования» и будут использованы при изучении дисциплин «Экономика предприятий», «Организация производства» и «Охрана труда».

### **СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ.**

Первая тема дает студентам понятия о дисциплине «Основы энергосбережения», роли энергетики в развитии человеческого общества и уровня его цивилизации, а также эффективность использования и потребления энергии в различных странах и в Республике Беларусь. Приводятся сравнительные характеристики энергоёмкости ВВП по отраслям в мире и Республике Беларусь.

Раздел 2 включает в себя две темы. Первая тема посвящена изучению энергетических ресурсов и их классификации, составу основных источников энергии. Во второй теме приведено описание основных видов топлива (твёрдое, жидкое, газообразное, ядерное), их калорийность. Рассмотрены вопросы, касающиеся топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь, перспективы его развития, и анализ потребления ТЭР по отраслям в Республике Беларусь.

Раздел 3 посвящен вопросам понятия энергии и ее основным видам. Приведены преимущества электрической энергии перед другими видами энергии. Рассмотрены традиционные способы получения энергии на тепловых, атомных и гидроэлектростанциях. Рассмотрены новые перспективные направления повышения КПД тепловых станций за счет введения на них в работу газотурбинных и парогазовых установок. Эти установки и мини ТЭЦ являются наиболее экономичными и перспективными способами получения энергии.

Нетрадиционные способы получения и использования энергии рассмотрены в разделе 3. В нем анализируются различные способы преобразования солнечной энергии в тепловую (солнечные водоподогреватели, коллекторы, теплонагревательные станции и солнечные электростанции), а также прямое преобразование солнечной энергии в электрическую. Рассматриваются проблемы и возможности использования в Республике Беларусь ветроэнергетики, малой гидроэнергетики. Подробно рассмотрены вопросы преобразования энергии биомасс в потребные виды энергии и получение энергии от других природных явлений (приливов и отливов, волн, геотермальных процессов).

Раздел 5 посвящен вопросам энергосбережения в Республике Беларусь. Детально рассмотрены вопросы использования и потребления энергии в Республике Беларусь, основные резервы и принципы энергосбережения, основные направления потребления энергии. и. организационно-технические мероприя-

тия по энергосбережению. Приводятся основные положения Республиканской программы «Энергосбережение».

Уделяется достаточно внимания одному из эффективных мероприятий по энергосбережению - вторичным энергетическим ресурсам (ВЭР), их классификации, объемам выхода и использования ВЭР. Приводятся примеры использования ВЭР. Разобраны принципы работы тепловых насосов и трансформаторов тепла и эффективность их использования в народном хозяйстве.

Основным направлениям энергосбережения в промышленности, строительстве и АПК уделено внимание в разделе 6. Рассмотрены наиболее эффективные направления деятельности по энергосбережению в этих отраслях народного хозяйства. Особенно много внимания уделено вопросам потерь тепла в зданиях и сооружениях, тепловой изоляции стен и оконных проемов, изоляционными характеристикам стеклопакетов и регулирование теплового режима зданий и сооружений. Обращено внимание на энергосберегающие мероприятия в АПК, экономическую эффективность этих мероприятий и потенциал энергосбережения в АПК.

Раздел 7 посвящен вопросам экономии электрической и тепловой энергии в быту. На примерах использования широко распространенных бытовых приборов показаны пути и направления энергосбережения. Уделено внимание практическим приемам правильного пользования электробытовыми приборами для повышения их энергетической эффективности. Рассмотрены вопросы экономии электроэнергии за счет рационального пользования осветительными приборами, замене ламп накаливания компактными люминесцентными лампами.

Вопросам экономики энергетики и энергосбережения посвящен раздел 8. В нем сформулированы требования к энергетической безопасности страны и проанализирована ситуация с энергобезопасностью в Республике Беларусь. Рассмотрены вопросы качества электрической энергии и влияние отдельных показателей качества на работу потребителей электроэнергии. Изучены вопросы экономической и тарифной политики в государстве, проанализированы тарифы на тепловую и электрическую энергию. Проведен анализ недостатков в тарифной политике и проведено сравнение с тарифами, используемыми в зарубежных странах.

Вопросы энергетического аудита и менеджмента рассмотрены в разделе 9. Приведены понятия энергоменеджмента, аудита и энергобаланса, основные цели, задачи и их функции. Рассматриваются вопросы связанные с различными формами учета энергии, этапами и последовательностью проведения энергоаудита, анализируются резервы экономии энергии и методы составления мероприятий по устранению недостатков и эффективному использованию энергетических ресурсов.

Раздел 10 посвящен изучению мирового опыта в области энергосбережения. Анализируются вопросы эффективности использования и потребления энергии в таких странах как Россия, США, Япония и Дания. Уделяется внима-

ние в работе этих стран по проведению планирования энергосберегающих мероприятий в условиях рыночной экономики, созданию и реализации инновационных проектов в области энергосбережения.

### СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ пп	Наименование тем	Лекции	Практические занятия
1	2	3	4
1	Введение		
2	Энергетические ресурсы современного производства		
2.1	Виды энергетических ресурсов		
2.2	Топливо-энергетический комплекс РБ		
3	Виды и традиционные способы получения энергии		
3.1	Энергия и ее основные виды		
3.2	Традиционные способы получения энергии		
4	Нетрадиционные способы получения и использования энергии		
4.1	Гелиоэнергетика		
4.2	Ветро- и биоэнергетика		
5	Организация энергосбережения в Республике Беларусь		
5.1	Эффективность использования и потребления энергии в Республике Беларусь		
5.2	Вторичные энергетические ресурсы		
6	Основные направления энергосбережения в промышленности, строительстве и АПК		
7	Экономия электрической и тепловой энергии в быту		
8	Экономика энергетики и энергосбережения		
9	Основы энергетического аудита и менеджмента		
9.1	Энергетический баланс предприятия		
9.2	Энергетический аудит		
9.3	Энергетический менеджмент		
10	Мировой опыт в области энергосбережения		

## РАЗДЕЛ 1. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ ЛЕКЦИЙ И ИХ СОДЕРЖАНИЕ

### **Тема 1. Введение**

Предмет, его задачи и содержание, распределение учебного времени. Необходимость знаний проблем энергетики будущим специалистам.

Роль энергетики в развитии человеческого общества и уровня его цивилизации.

Эффективность использования и потребления энергии в различных странах и Республике Беларусь. Сравнительные характеристики энергоёмкости ВВП по отраслям в мире и Республике Беларусь.

Литература: [2, с. 6-7, 11-18]; [3, с. 11-14]; [4, с. 4, 8-11].

### **Раздел 2. Энергетические ресурсы современного производства**

#### **Тема 2.1. Виды энергетических ресурсов**

Классификация энергетических ресурсов. Первичные энергетические ресурсы. Возобновляемые и невозобновляемые энергетические ресурсы. Основные источники энергии.

Литература: [2, с. 18-20]; [3, с. 15-19]; [4, с. 5-8].

#### **Тема 2.2. Топливо-энергетический комплекс Республики Беларусь**

Виды топлива (твёрдое, жидкое, газообразное, ядерное). Соотношение и калорийность. Условное топливо.

Топливо-энергетический комплекс Республики Беларусь, перспективы его развития. Характеристика топливо-энергетический комплекс РБ. Электроэнергетика и теплоэнергетика. Энергетическая безопасность. Гидроэнергетические ресурсы РБ. Анализ потребления ТЭР по отраслям в Республике Беларусь.

Литература: [2, с. 9, 12-14, 57-66]; [3, с. 24-37, 81-94]; [4, с. 6-9].

### **Раздел 3. Виды и традиционные способы получения энергии**

#### **Тема 3.1. Энергия и ее основные виды**

Понятие энергии. Основные виды энергии. Энергия макромира и взаимодействия тел. Энергия молекулярного взаимодействия и энергия, заключенная в ядрах атомов. Назначение и использование энергии. Преимущества электрической энергии.

Литература: [2, с. 8-14]; [3, с. 38-47]; [4, с. 12, 13].

### **Тема 3.2. Традиционные способы получения энергии**

Тепловые и атомные электрические станции (ТЭС и АЭС), гидроэлектростанции (ГЭС). Типовые схемы ТЭС и АЭС. Паротурбинные конденсационные электростанции (КЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с комбинированной выработкой тепла и электрической энергии.

Электростанции с газотурбинными (ГТУ) и парогазовыми установками (ПГУ), мини ТЭЦ – как наиболее экономичные и перспективные способы получения энергии. Графики электрических и тепловых нагрузок.

Литература: [2, с. 25-28]; [3, с. 48-53]; [4, с. 12-20].

## **Раздел 4. Нетрадиционные способы получения и использования энергии**

### **Тема 4.1. Гелиоэнергетика**

Прямое преобразование солнечной энергии в тепловую энергию (солнечные водоподогреватели, коллекторы, теплонагревательные станции и солнечные электростанции). Примеры использования солнечной энергии в разных странах. Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую энергию (фотоэлектрические преобразователи)

Литература: [2, с. 28-30, 33-37]; [3, с. 53-56, 58-61]; [4, с. 21-28].

### **Тема 4.2. Ветро- и биоэнергетика**

Ветроэнергетика и малая гидроэнергетика (потенциал и возможности использования в Беларуси). Энергия биомассы. Понятие биомассы, потенциал биоэнергоресурсов в Республике Беларусь. Источники биомассы. Биоконверсия и термохимическая конверсия биомассы. Использование бытовых отходов. Энергия других природных явлений (приливов и отливов, волн, геотермальных процессов).

Литература: [2, с. 30-33, 37-46]; [3, с. 56-58, 61-63, 64-67]; [4, с. 28-32, 34-38].

## **Раздел 5. Организация энергосбережения в Республике Беларусь**

### **Тема 5.1. Управление энергосбережением в Республике Беларусь**

Система и структура управления энергосбережением в Беларуси. Направления совершенствования системы управления энергетическим сектором. Цели и средства реализации энергетической политики. Общие направления и приоритеты энергосберегающей политики.

Принципы государственной политики энергосбережения. Методы реализации государственной политики энергосбережения (социально-психологические, административные, финансово-экономические и др.).

Общая характеристика программ энергетики и энергосбережения в Республике Беларусь. Республиканская программа «Энергосбережение».

Литература: [2, с. 83-100, 130-137]; [3, с. 117-145].

### **Тема 5.2. Вторичные энергетические ресурсы**

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР), их классификация, объем выхода и использования ВЭР. Экономия топлива за счет использования ВЭР.

Использование тепла отходящих газов, вторичного пара, вентиляционных выбросов. Тепловые насосы и трансформаторы тепла.

Литература: [2, с. 21-23]; [3, с. 20-24]; [4, с. 47-51, 54-59].

## **Раздел 6. Основные направления энергосбережения в промышленности, строительстве и АПК**

Наиболее эффективные направления деятельности по энергосбережению. Проблемы энергосбережения в промышленности. Экономическая эффективность энергосберегающих мероприятий в промышленности.

Тепловые потери в зданиях и сооружениях. Тепловая изоляция зданий. Изоляционные характеристики остекления, стеклопакеты. Регулирование теплового режима зданий и сооружений.

Энергосберегающие мероприятия в АПК. Экономическая эффективность этих мероприятий. Потенциал энергосбережения в АПК.

Литература: [2, с. 48-50, 140-149]; [3, с. 199-241].

## **Раздел 7. Экономия электрической и тепловой энергии в быту**

Информационно-пропагандистская и экономическая работа с населением Республики Беларусь по вопросам энергосбережения.

Экономические источники света. Электробытовые приборы и их эффективное использование.

Бытовые приборы регулирования, учета и контроля тепла. Учет холодной и горячей воды, учет газа. Повышение эффективности систем отопления. Автономные энергоустановки.

Литература: [2, с. 157-162]; [3, с. 241-248]; [4, с. 84-93].

## **Раздел 8. Экономика энергетики и энергосбережения**

Определение себестоимости выработки энергии. Структура затрат на производство энергии. Определение себестоимости энергии методом «отключения».

Энергетические тарифы, одноставочные и двухставочные тарифы. Тарифы на тепловую и электрическую энергию. Недостатки тарифной системы Республики Беларусь.

Механизм формирования тарифов в условиях регулируемой рыночной экономики. Экономическая и тарифная политика в энергетике.

Литература: [2, с. 74-82]; [3, с. 147-162].

## **Раздел 9. Основы энергетического аудита и менеджмента**

### **Тема 9.1. Энергетический баланс предприятия**

Понятие энергетического баланса предприятия. Составляющие части энергобаланса. Виды энергобалансов. Цели и задачи энергобаланса. Показатели энергобалансов. Анализ энергобалансов.

Формы учета энергии.

Литература: [2, с. 104-109]; [3, с. 178-186]; [4, с. 95, 96].

### **Тема 9.2. Энергетический аудит**

Общие сведения об энергетическом аудите. Основные задачи и проблемы энергоаудита. Цели энергоаудита. Этапы проведения энергоаудита. Объекты энергоаудита.

Энергетический паспорт потребителя.

Литература: [2, с. 109-114]; [3, с. 186-198]; [4, с. 96-99].

### **Тема 9.3. Энергетический менеджмент**

Понятие энергетического менеджмента. Задачи и функции энергетического менеджмента. Уровни энергетического менеджмента.

Основы нормирования расхода энергетических ресурсов. Понятие норм расхода энергоресурсов. Классификация и разработка норм расхода энергоресурсов.

Литература: [2, с. 114-122]; [3, с. 163-170, 171-178]; [4, с. 94-95].

## **Раздел 10. Мировой опыт в области энергосбережения**

Эффективность использования и потребления энергии в других странах. Планирование энергосберегающих мероприятий. Создание и реализация инновационных проектов в области энергосбережения. Государственная поддержка инновационной деятельности.

Литература: [2, с. 180-196]; [3, с. 250-284].

## Раздел 2. Семинарские (практические) занятия

### Практические занятия и их объем в часах

№ п/п	Темы практических занятий	Цель занятия
1	2	3
1.	Приборы учета и контроля энергоресурсов, тепловой и электрической энергии	Изучить устройство и работу приборов учета и контроля расхода, воды, тепловой и электрической энергии
2.	Традиционные способы получения и использования энергии	Ознакомиться с традиционными методами получения энергии и изучить принципиальные схемы и работу тепловых станций, атомной и гидроэлектростанциями, а также с работой газотурбинной и парогазовыми установками
3.	Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую	Изучить принципы преобразования солнечной энергии в электрическую и исследовать технические характеристики солнечного модуля
4.	Изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию	Изучить принцип преобразования энергии ветра в электрическую энергию и устройство ветроколес
5.	Изучение потерь энергии при транспортировании жидкостей и газов по трубопроводу	Определение потерь энергии на транспортирование жидкости по сложному трубопроводу
6.	Исследование работы трансформатора тепла (теплового насоса)	Изучить цикл теплового насоса. Определить отопительный коэффициент цикла и количество теплоты, передаваемой в систему отопления
7.	Исследование сравнительных характеристик электрических источников света	Изучить устройство, принцип действия и сравнить основные параметры ламп накаливания и люминесцентных ламп
8.	Расчет экономической эффективности применения тепловых насосов	Определить срок окупаемости и доходности внедрения и применения тепловых насосов в системе утилизации теплоты сточных вод
9.	Расчет экономии электроэнергии в осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита	Ознакомиться с энергоаудитом осветительных установок и возможностями экономии электроэнергии при проведении различных энергосберегающих мероприятий

## **Тема 1. Приборы учета и контроля энергоресурсов, тепловой и электрической энергии**

**Ключевые понятия:** вольтметр, амперметр, магнитоэлектрическая система, электромагнитная система, ваттметр, электрические счетчики активной энергии, термометры расширения, термометры манометрические, термopара, термометры сопротивления, пирометры, манометры пружинные, расходомеры тахометрические, ротаметр, расходомер индукционный, расходомер ультразвуковой, расходомеры ионизационные, теплосчетчики.

### **Цель работы**

1. Изучить устройство и принцип действия наиболее распространенных типов приборов учета, контроля и расхода электрической энергии.
2. Изучить устройство и принцип действия основных приборов и датчиков учета, контроля и расхода тепловой энергии.

### **Содержание работы**

1. Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.
2. Внеаудиторная работа предполагает дополнительную проработку теоретических вопросов, а также изучение дополнительной литературы.

### **Общие сведения**

Для оценки эффективности использования энергии в производстве, а также определения эффективности мероприятий по энергосбережению, необходим строгий учет расходов всех видов энергии и энергетических ресурсов. Причем, регистрацию всех видов энергии необходимо вести как получаемой, так и отпускаемой.

Одним из наиболее точных и прогрессивных методов учета является учет с помощью соответствующих контрольно-измерительных приборов. Наиболее широко в Беларуси используется электроэнергия и тепловая энергия.

В связи с этим, основное внимание будет уделено изучению приборов учета и контроля электрической и тепловой энергии.

## I. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.

Электроизмерительные приборы используют для измерения параметров электрических цепей и электрической энергии — напряжения, тока, мощности, количества электричества, а также сопротивления, емкости, индуктивности, и т. д.

По принципу действия электроизмерительные приборы классифицируются на следующие основные системы: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, электростатические, ферродинамические. Наибольшее распространение получили две первые системы.

Средства электроизмерительной техники классифицируются:

- по роду измеряемого тока (постоянный, переменный);
- по виду измеряемого параметра (ток, напряжение и т. д.);
- по способу представления результатов измерения (аналоговая или цифровая).

По назначению электроизмерительные средства подразделяют на приборы промышленного применения, приборы, входящие в сложные информационные системы, и лабораторные приборы.

Кроме того, приборы подразделяют на показывающие, регистрирующие (самопишущие) и суммирующие (счетчики, интеграторы).

В показывающих приборах отсчет значения измеряемой величины производится по положению стрелки относительно шкалы прибора.

Самопишущие приборы обеспечивают как непрерывную автоматическую запись измеряемой величины на диаграмме, так и непосредственный отсчет показаний по измерительной стрелке,

Суммирующие (интегрирующие) приборы обеспечивают суммирование (обсчет) показаний за определенный требуемый период работы.

### ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

1. Приборы магнитоэлектрической системы применяют в цепях постоянного тока для измерения тока и напряжения; они имеют целый ряд достоинств: высокую чувствительность и точность, равномерность шкалы и малое потребление мощности.

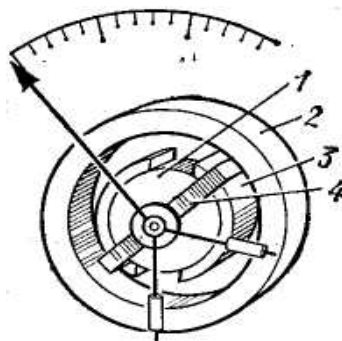


Рис.1. Прибор магнитоэлектрической системы

Прибор магнитоэлектрической системы с внутрирамочным магнитом (рис. 1) имеет постоянный магнит 1 и кольцевой магнитопровод 2, изготовленный из магнитомягкой стали.

В силу неравномерного магнитного потока постоянного магнита на различных участках воздушного зазора создавалось бы неравномерное магнитное поле. Для устранения этого недостатка устанавливают магнитомягкие стальные накладки 3, позволяющие создать равномерное радиальное магнитное поле.

В воздушном зазоре между магнитом 1 с накладками 3 и магнитопроводом 2 находится подвижная катушка 4, выполненная в виде рамки из изолированного медного провода. Рамку закрепляют на подпятниках, и она свободно вращается относительно своей оси. Спиральная пружина, связанная с осью прибора, при повороте рамки создает противодействующий момент.

При включении прибора в электрическую цепь в рамке возникает электрический ток. *Взаимодействие тока в рамке с магнитным полем постоянного магнита приводит к созданию вращающего момента рамки, пропорционального току.* Под действием вращающего момента рамка поворачивается, спиральные пружинки начинают закручиваться и создавать противодействующий момент. *При равенстве вращающего и противодействующих моментов, действующих на рамку, наступает ее равновесие.*

Приборы данной системы строго полярные и для правильного включения в электрическую цепь зажимы прибора имеют маркировку «+» и «—».

Измерение постоянного тока. Приборы для измерений тока называются амперметрами. В электрическую цепь амперметр включают последовательно, причем сопротивление прибора должно быть во много раз меньше сопротивления электрической цепи.

Для измерения токов, превышающих предельный ток прибора, используются шунты. Шунт представляет собой сопротивление  $R_{ш}$  (рис. 2), включенное параллельно измерительному прибору. В некоторых случаях для удобства измерений малых и больших токов прибор имеет несколько шунтов. Чем меньше сопротивление шунта по сравнению с внутренним сопротивлением амперметра, тем меньший ток проходит через прибор.

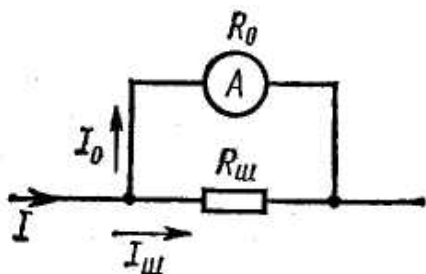


Рис. 2. Схема включения амперметра с шунтом

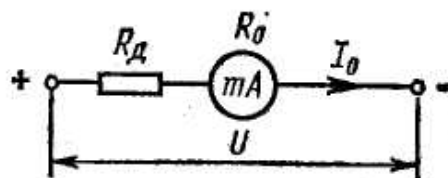


Рис. 3. Электрическая схема вольтметра

Измерение постоянного напряжения. Прибор для измерения напряжения называется вольтметром. Вольтметр для измерения постоянно-

го напряжения состоит из стрелочного прибора магнитоэлектрической системы, последовательно с которым включено добавочное сопротивление (рис. 3).

При измерении напряжения вольтметр подключается параллельно измеряемому участку электрической цепи.

**2. Приборы электромагнитной системы** широко применяют в цепях постоянного и переменного тока. Преимуществами приборов электромагнитной системы являются простота конструкции, надежность и устойчивость к перегрузкам.

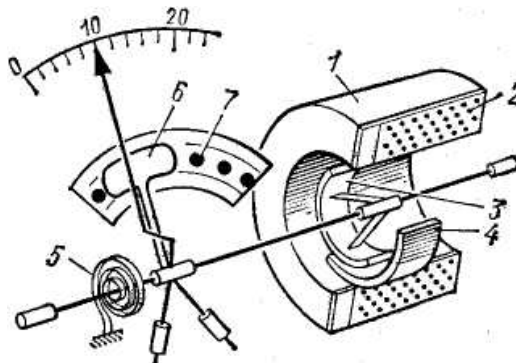


Рис. 4. Измерительный механизм электромагнитной системы

Измерительный механизм электромагнитной системы с круглой катушкой показан на рис. 4. Внутри катушки 2 с экраном 1 установлены два ферромагнитных секторных сердечника: подвижный 3, укрепленный на оси, и неподвижный 4.

При протекании по катушке 2 измеряемого тока сердечники 3, 4 намагничиваются одноименно и поэтому отталкиваются друг от друга. Вследствие этого создается вращающий момент и указательная стрелка прибора отклоняется на определенный угол.

Противодействующий момент создается пружиной 5. Магнитоиндуктивный успокоитель прибора имеет подвижный алюминиевый сектор 6 и постоянные магниты 7.

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ

Мощность цепи электрического тока можно определить косвенным методом, измерив ток и напряжение (рис. 5) и найдя их произведение

$$P = U \cdot I.$$



Рис. 5. Схема для измерения мощности амперметром и вольтметром.

Этот способ обладает рядом недостатков, заключающихся:

- 1) в необходимости при каждом измерении производить вычисление, требующее затраты времени;
- 2) в значительной относительной погрешности при измерении мощности, равной сумме относительных погрешностей измерения напряжения и измерения тока;
- 3) в невозможности производить измерение при изменяющихся значениях тока и напряжения вследствие невозможности произвести одновременный отсчет по двум приборам и др.

**Электродинамический ваттметр.** Для непосредственного измерения мощности в цепи электрического тока применяется электродинамический ваттметр.

Электродинамический ваттметр (рис. 6) представляет собой измерительный механизм электродинамической системы. Неподвижная последовательная катушка или катушка тока ваттметра соединяется последовательно с приемниками энергии. Подвижная параллельная катушка или катушка напряжения, соединенная последовательно с добавочным сопротивлением, образует параллельную цепь ваттметра, которая присоединяется параллельно приемникам энергии.

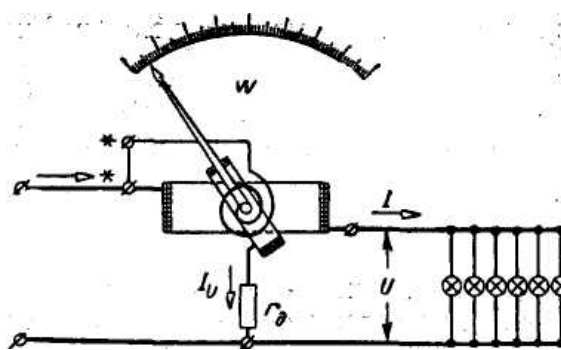


Рис. 6. Схема устройства и соединений электродинамического ваттметра.

Угол поворота подвижной части ваттметра

$$\alpha = k \cdot I \cdot I_u = k \cdot I \cdot U / r_u, \quad (1)$$

где  $I$  — ток последовательной катушки;

$I_u$  — ток параллельной катушки ваттметра.

Так как вследствие применения добавочного резистора параллельно цепи ваттметра имеет практически постоянное сопротивление  $r_u$ , то

$$\alpha = k \cdot I \cdot U / r_u = k_1 \cdot I \cdot U = k_1 \cdot P, \quad (2)$$

где  $k_1 = k / r_u$ .

Таким образом, по углу поворота подвижной части ваттметра можно судить о мощности цепи. Шкала ваттметра, как следует из уравнения (2), равномерна.

## **ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЧЕТЧИКИ.**

Электрические счетчики представляют собой интегрирующие приборы, предназначенные для измерения электрической энергии и количества протекающего электричества за некоторый промежуток времени.

Счетчики, так же как и показывающие приборы, делятся на системы. Наибольшее распространение получили счетчики электрической энергии индукционной системы для цепей переменного тока и электродинамической системы для цепей постоянного тока.

Основное отличие счетчиков от показывающих приборов заключается в том, что угол поворота подвижной части их не ограничивается пружиной, а имеет нарастающее значение, причем каждому обороту подвижной части счетчика соответствует определенное значение измеряемой величины.

Для регистрации электрической энергии или количества электричества каждый счетчик имеет счетный механизм, представляющий собой, по существу, счетчик оборотов, соединенный с подвижной частью зубчатой передачей.

### **Индукционные счетчики активной энергии одно- фазного тока.**

На рис. 7 дана схема устройства и соединения индукционного счетчика отечественного производства типа СО.

Счетчик состоит из последовательного *A* и параллельного *B* электромагнитов, алюминиевого диска *D*, укрепленного на оси, и постоянного тормозного магнита *M*.

При включении счетчика в цепь переменного тока по его последовательной обмотке (цепи) будет проходить ток потребителей энергии, вследствие чего в последовательном электромагните возникает магнитный поток  $\Phi_1$ . Напряжение  $U$  на обмотке параллельного электромагнита вызовет в ней ток  $I_u$ , и в сердечнике электромагнита будет поддерживаться магнитный поток  $\Phi_u$ , состоящий из двух частей: рабочего  $\Phi_{up}$  и вспомогательного  $\Phi_{ub}$ . Магнитный поток последовательного электромагнита и рабочий поток параллельного электромагнита, пронизывая диск, индуцируют в нем вихревые токи (рис. 7). Вращающийся момент, возникающий от взаимодействия вихревых токов с магнитными потоками заставит вращаться диск *D* счетчика.

Следовательно, числом оборотов диска счетчика можно измерять электрическую энергию.

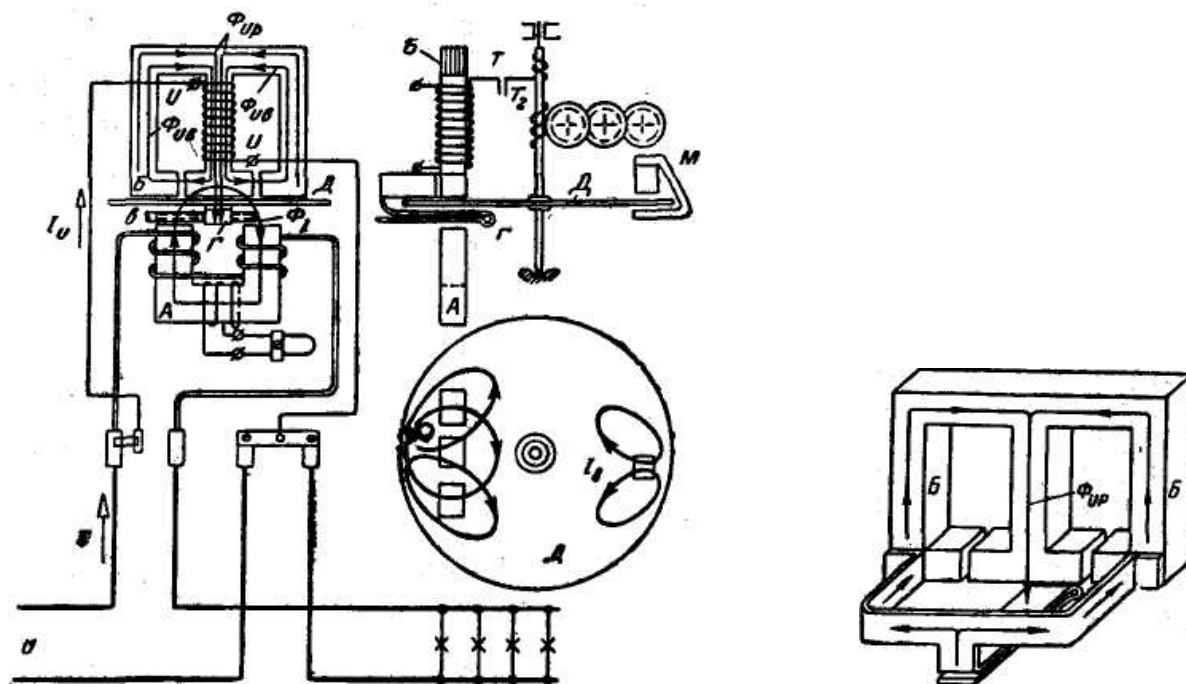


Рис. 7. Схема устройства и соединения индукционного счетчика.

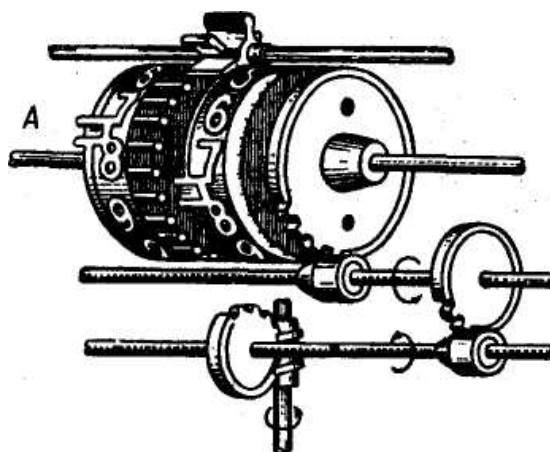


Рис. 8. Схема устройства счетного механизма.

Число оборотов диска счетчика или пропорциональная ему электрическая энергия регистрируется счетным механизмом (рис. 8). Движение диска счетчика через червячную передачу и шестерни передается пяти роликам, на боковых поверхностях которых нанесены цифры от 0 до 9. Ролики свободно надеты на ось  $A$ . Первый (на рис. 8 — правый) ролик скреплен с шестерней и при движении диска счетчика непрерывно вращается. Один оборот его вызывает поворот второго ролика на  $1/10$  часть оборота. Один оборот второго ролика вызывает поворот третьего ролика также на  $1/10$  часть оборота и т. д. Ролики прикрываются алюминиевым щитком с отверстиями, через которые видно только по одной цифре на каждом ролике. Таким образом, прочитанное

через, отверстия в щитке числовое значение даст величину энергий, зарегистрированную счетчиком за весь период его работы, начиная с момента, когда показания его соответствовали нулевому значению.

Для нахождения энергии, израсходованной за какое-то время, нужно из показания счетчика в конце измерения, вычесть показания, снятые в начале. На щитке счетчика всегда указывается передаточное число счетчика  $C$ , т. е. число оборотов диска счетчика, соответствующее единице энергии, регистрируемой счетчиком, — например,  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  равен 4 000 оборотов диска.

### Индукционные счетчики активной энергии в цепях трехфазного тока

Для измерения электрической энергии в четырехпроводных цепях применяются трехэлементные счетчики. Схема включения такого счетчика (рис. 9) принципиально та же, что и ваттметра. Как показывает название, такой счетчик имеет три электромагнитные системы, которые воздействуют или на три диска, укрепленных на одной оси (например, счетчик типа СА4-ТЧ), или на два диска, также укрепленных на одной оси (например, счетчик типа СА4-И45, в котором на один диск воздействуют две системы, на второй — одна). Счетчик имеет один счетный механизм. Устройство каждой электромагнитной системы трехэлементного счетчика ничем не отличается от устройства электромагнитной системы однофазного счетчика.

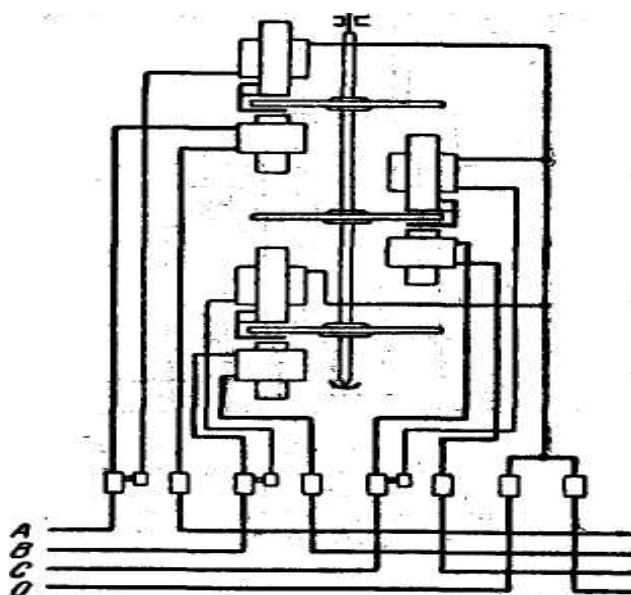


Рис. 9. Схема устройства и соединения трехэлементного трехдискового счетчика типа СА4-ТЧ.

Наиболее распространенными приборами для измерения электрической энергии в трехпроводных цепях трёхфазного тока являются двухэлементные счетчики.

Двухэлементный счетчик имеет две электромагнитные системы, которые воздействуют на два диска, укрепленных на одной оси (например, счетчик типа САЗ-И43, рис. 10).

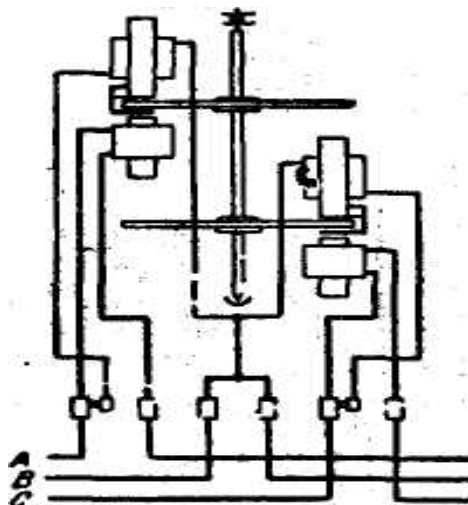


Рис. 10. Схема устройства и соединения двухэлементного двухдискового счетчика типа САЗ-И43.

## II. ТЕПЛОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Количество теплоты, отдаваемое теплоносителем потребителю, определяется по формуле

$$Q = G \cdot c \cdot (t_1 - t_2), \quad (3)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя через систему;

$c$  – удельная теплоемкость теплоносителя;

$t_1$ , и  $t_2$  – температура теплоносителя соответственно на входе и на выходе системы потребления.

Сам теплоноситель принято оценивать такими параметрами как температура и давление.

В связи с этим для учета количества тепловой энергии, расходуемой как для производственных целей, так и в быту, необходимо измерение следующих параметров – температуры, давления и расхода теплоносителя.

Все эти параметры определяются с помощью специальных приборов (датчиков), позволяющих их измерить.

### ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Единицы измерения температуры.** Температурой называется физическая величина, характеризующая степень нагретости тела. Температуру определяют косвенным путем с помощью шкалы температуры.

Исходными значениями при построении шкалы температуры и определении единицы измерения — градуса — являются температуры перехода чистых веществ из одного агрегатного состояния в другое.

Используют два типа шкал: шкалу Цельсия и шкалу Кельвина.

Для шкалы Кельвина температура абсолютного нуля соответствует  $-273,16^{\circ}\text{C}$ . Температура по шкале Кельвина обозначается  $T\text{ К}$ , при этом между температурой по шкале Кельвина ( $T\text{ К}$ ) и по шкале Цельсия ( $t^{\circ}\text{C}$ ) существует соотношение  $T\text{ К} = t^{\circ}\text{C} + 273,16^{\circ}\text{C}$ .

Основными приборами для измерения температуры объектов являются: термометры расширения, манометрические термометры, термометры сопротивления с логометрами или мостами, термопары с милливольтметрами, пирометры излучения.

Термометры расширения. Манометрические термометры.

Термометры расширения жидкостные стеклянные (рис. 11) применяют для измерения температуры от  $-100$  до  $+650^{\circ}\text{C}$ . Принцип действия термометров расширения основан на объемном расширении жидкости, находящейся внутри стеклянного расширителя, под действием окружающей температуры. Внутри корпуса 1 находится температурная шкала 2. В нижней части термометра находится расширитель 4, который соединен с капилляром 3 (трубкой с малым внутренним диаметром). Верхняя часть капилляра запаяна.

Поднимаясь вверх по капилляру, жидкость устанавливается на высоте, пропорциональной температуре нагрева. Отсчет ведется по шкале в градусах

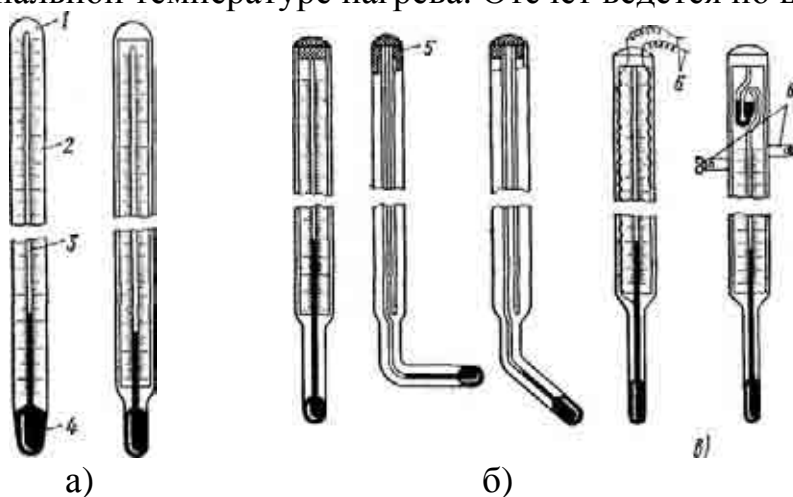


Рис. 11. Ртутные стеклянные термометры:

а — прямые типа А, б — угловые типа Б, в — контактные; 1 — корпус, 2 — шкала, 3 — капилляр, 4 — расширитель, 5 — заглушка, 6 — контакты

Цельсия. В качестве рабочей жидкости в стеклянных термометрах используют ртуть, спирт, керосин или толуол. Ртуть является лучшей рабочей жидкостью, так как она не обладает свойством смачиваемости, поэтому в стеклянном капилляре не образует вогнутого мениска, что облегчит снятие показаний с термометра.

В зависимости от формы нижней части термометры подразделяют на прямые — типа А и угловые — типа Б с углом 90 или 135 °С.

Стеклянные термометры выпускают двух видов: технические и лабораторные. Погрешность технических термометров не превышает одного деления шкалы, погрешность лабораторных — в зависимости от пределов измерений от  $\pm 0,2$  до  $\pm 5$  °С.

Манометрические термометры используют для измерения температур жидких и газовых сред в диапазоне от  $-100$  до  $+600$  °С при рабочих давлениях измеряемой среды до 6,4 МПа (64 кгс/см<sup>2</sup>) без защитной гильзы термобаллона и до 25 МПа (250 кгс/см<sup>2</sup>) с защитной гильзой.

Принцип действия приборов основан на использовании зависимости изменения давления рабочей жидкости, насыщенного пара или газа при постоянном объеме от температуры объекта.

Обязательным условием достоверности показаний манометрических термометров является полное погружение термобаллона в измеряемую среду.

В зависимости от наполнителя, заполняющего всю термосистему (термобаллон, капилляр и чувствительный элемент), манометрические термометры делятся на газовые, парожидкостные и жидкостные.

Газовые приборы заполняют инертным газом — азотом или аргоном, парожидкостные — низкокипящими жидкостями (ацетон, фреон), пары которых при измеряемой температуре частично заполняют термобаллон, жидкостные — кремнийорганической жидкостью.

Шкала манометрических газовых и жидкостных термометров равномерная; у парожидкостных термометров шкала неравномерная — сжатия в первой трети шкалы.

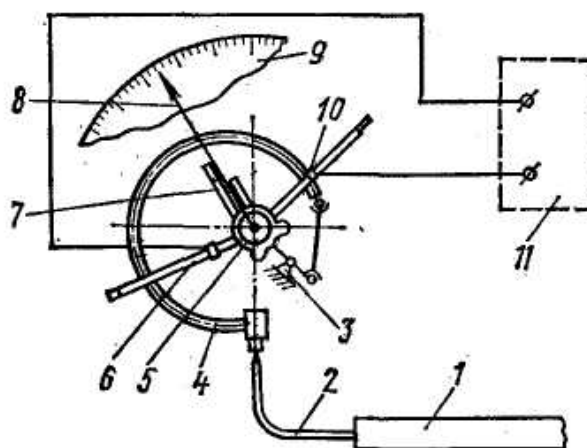


Рис. 12. Схема манометрического термометра ТПГ-СК:

- / — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — сектор, 4 — датчик (манометрическая трубка), 5 — трибка, 6, 10 — установочные контакты, 7 — поводок, 8 — стрелка, 9 — шкала,  
// — блок зажимов

Манометрический термометр ТПГ-СК (рис. 12) имеет герметично соединенные между собой термобаллоном /, капилляр 2 и манометрическую трубку 4 измерительного механизма. Термобаллон как датчик устанавливают на контро-

лируемом объекте, а его измерительный механизм (прибор) можно устанавливать в щитах и пультах. В зависимости от типов прибора длина капилляра составляет от 16 до 25 м. При изменении температуры контролируемого объекта изменяется объем рабочего вещества в замкнутом контуре, что приводит к изменению давления в этой системе. Давление преобразуется манометрической трубкой 4 в перемещение указательной стрелки 8 прибора.

К наиболее распространенным приборам данного типа относятся: электроконтактные термометры ЭКТ и ТПГ-СК (рис. 13), которые снабжены электроконтактными устройствами для сигнализации или автоматического управления по минимальному и максимальному значению температуры; термометрический сигнализатор ТС-100 (рис. 14)—для измерения и сигнализации температуры; манометрический термометр типа ТСГ — для измерения и автоматической записи температуры.

Преимущества данных приборов — малая стоимость, простота монтажа; недостатки — инерционность, сложность ремонта термосистемы, ограниченное рабочее давление измеряемой среды до 6,4 МПа (64 кгс/см<sup>2</sup>).

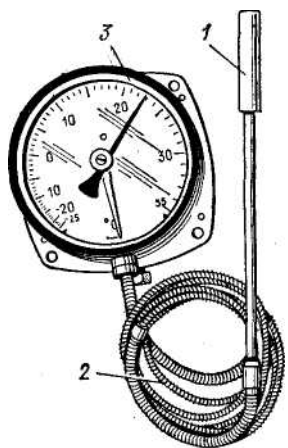


Рис. 13. Электроконтактный термометр ТПГ-СК:  
1 — термобаллоп, 2 — капилляр,  
3 — показывающий прибор

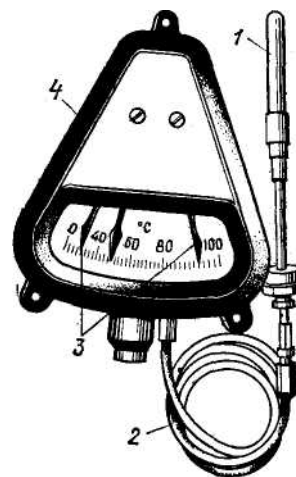


Рис. 14. Электроконтактный термометр ТС-100:  
1 — термобаллон, 2 — капилляр,  
3 — задатчики температуры,  
4 — прибор

### Термоэлектрические термометры и термометры сопротивления

Для автоматического контроля и управления температурными режимами технологических процессов и дистанционной передачи показаний в качестве датчиков применяют термометры сопротивления и термопары. Такие датчики не являются самостоятельными приборами, а работают только со специальной группой измерительных приборов.

Термопара (термоэлектрический термометр) представляет собой спай двух разнородных металлических проводников (термоэлектродов), которые предназначены для измерения температуры рабочих объектов. Конец тер-

мопары, помещаемый в объект измерения температуры, называется рабочим или «горячим» спаем, свободные или «холодные» концы термопары соединены с измерительным прибором. Термопарой осуществляется преобразование тепловой энергии в электрическую.

*Принцип работы термопары заключается в том, что при изменении температуры «горячего» спая на свободных («холодных») концах термопары изменяется термоэлектродвижущая сила (термо-э. д. с.) постоянного тока.*

Согласно явлению Зеебека, в замкнутой электрической цепи, образованной двумя разнородными проводниками, возникает термо-э.д.с, пропорциональная разности температур спаев. Величина термо-э.д.с. зависит только от температуры «горячего» и «холодного» спаев и материалов, образующих термопару.

Образование термо- э.д.с. в термопаре объясняется тем, что при нагревании электроны на «горячем» спае приобретают более высокие скорости, чем на «холодном», в результате возникает поток электронов от «горячего» конца к «холодному». На «холодном» конце накапливается отрицательный заряд, на «горячем» — положительный. Разность этих потенциалов определяет термо-э.д.с. термопары.

На рис. 15 изображена цепь, состоящая из двух разнородных проводников  $A$  и  $B$ , нижние концы которых спаяны между собой. Нижние и верхние концы термопары находятся при различной температуре. Если температура  $t_1$  «горячего» спая выше температуры «холодного» спая, то ток потечет в направлении, указанном на рис. 15, а термо-э.д.с, развиваемая термопарой, определяется разностью потенциалов спаев:  $E_{AB} = E_{ABt_1} - E_{ABt_2}$ .

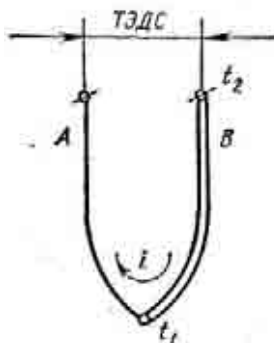


Рис. 15. Цепь термопары

Для технических измерений применяют термопары: хромель— копель (ТХК); хромель — алюмель (ТХА), платинородий (10% родия) — платина (ТПП). Реже используют термопары медь — копель, медь — константан, железо — копель.

Термометры сопротивления применяются как датчики для измерения температуры. По материалу чувствительного элемента их подразделяют на термометры сопротивления платиновые — ТСП и термометры сопротивления медные — ТСМ.

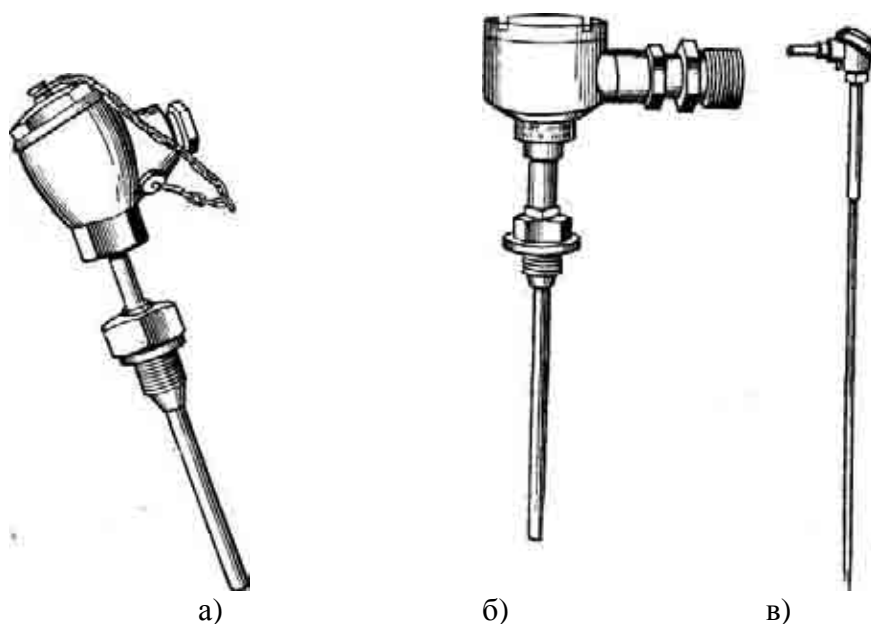


Рис. 16. Общий вид датчиков температуры — термометров сопротивления:  
а — ТСП-175, б — ТСП-972, в — ТСП-0063

Для защиты от механических повреждений и удобства монтажа термометры сопротивления заключают в защитную арматуру различных модификаций (рис. 16).

Медные термометры сопротивления используют при измерениях от  $-50$  до  $+180^{\circ}\text{C}$ , платиновые — от  $-200$  до  $+650^{\circ}\text{C}$ .

Изменение электрического сопротивления термометров связано с тем, что тепловое колебание кристаллической решетки металла термометра сопротивления (меди, платины) пропорционально температуре: чем выше температура, тем выше колебания решетки и степень подвижности свободных электронов, а следовательно, больше электрическое сопротивление. При очень низких температурах, близких к температуре «абсолютного нуля» ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), тепловые колебания кристаллической решетки и свободных электронов настолько ничтожно малы, что электрическое сопротивление практически равно нулю, т. е. наблюдается явление сверхпроводимости.

### Пирометры

Для измерения температур от  $400$  до  $4000^{\circ}\text{C}$  используют пирометры излучения. Принцип работы этих приборов основан на способности нагретого тела излучать энергию в виде световых и тепловых лучей. С повышением температуры тела интенсивность излучения возрастает, кроме того, появляются излучения различных длин волн. При большей температуре большая часть энергии излучается с меньшей длиной волны. Эталонем максимальной лучеиспускательной и лучепоглощающей способности является абсолютно черное тело. Однако ни один из материалов в природе не обладает такой способностью. Излучательная способность абсолютно черного тела равна полному количеству энергии, излучаемой с  $1\text{ м}^2$  поверхности за  $1\text{ с}$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ).

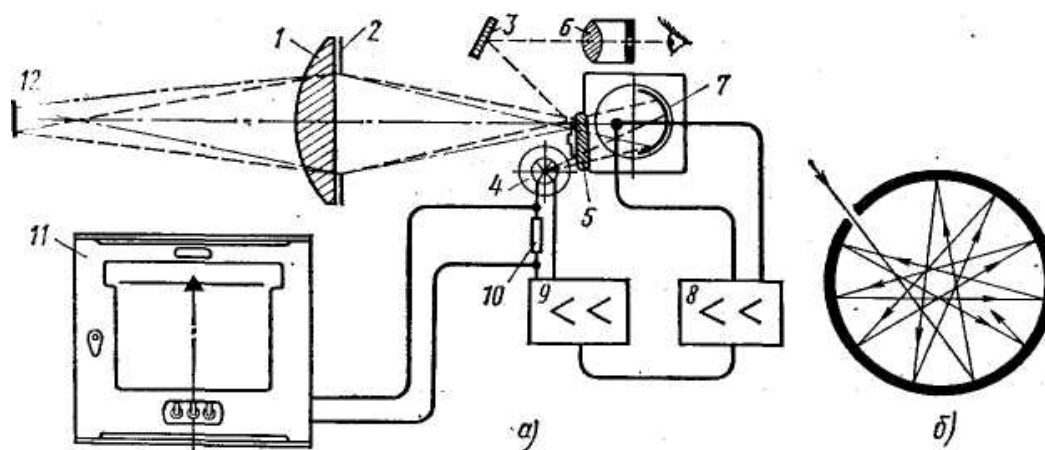


Рис. 17. Пирометр ФЭП-4:

а - схема пирометра, б — модель абсолютно черного тела; 1 — линза объектива, 2 — диафрагма, 3 — зеркало, 4 — лампа обратной связи, 5 — светофильтр, 6 — окуляр, 7 — фотозлемент, 8 — усилитель, 9 — выходной каскад, 10 — калибровочное сопротивление, 11 — потенциометр, 12 — объект измерения температуры

На рис. 64, б показана модель абсолютно черного тела. Если даже внутренняя поверхность тела имеет не очень большой коэффициент поглощения, то излучение все равно практически полностью поглотится внутренней поверхностью в результате многократных внутренних отражений.

С помощью пирометров по яркости излучения определяют температуру нагретого тела. Градуируют пирометры по интенсивности излучения искусственного черного тела.

Пирометры выпускают двух типов: оптические и радиационные.

Пирометры, основанные на яркостном методе измерения, называются оптическими или яркостными.

Пирометры, использующие радиационный метод измерения температуры, называются радиационными или пирометрами полного излучения.

К оптическим пирометрам относятся приборы ОППИР и ФЭП-4, которые являются измерителями одноцветного монохроматического излучения.

Принцип действия оптического пирометра ОППИР основан на сравнении через светофильтр яркости нагретого объекта и яркости раскаленной нити фотометрической лампы накаливания. Светофильтр пропускает излучения определенной длины волны. Прибор ОППИР позволяет измерять температуру от 800 до 6000 °С. Основная погрешность измерения 4—8 %.

Принцип действия фотоэлектрического пирометра ФЭП-4 (рис. 17, а) заключается в том, что излучение от объекта измерения 12 вместе с излучением от эталонной лампы 4 в противофазе попадает на фотозлемент 7. Разность этих световых потоков усиливается усилителем 8 и подается на выходной каскад 9, нагрузкой которого является эталонная лампа накаливания 4, последовательно с которой установлено калиброванное сопротивление 10. Падение напряжения на калиброванном сопротивлении измеряется электронным потенциометром 11, шкала которого отградуирована в единицах измерения температуры.

Пирометр выпускают на пределы измерения температуры от 500 до 4000 °С. Основная погрешность не превышает  $\pm 1\%$  при измерении температуры не выше 2000 °С и 1,5% — при температуре свыше 2000 °С.

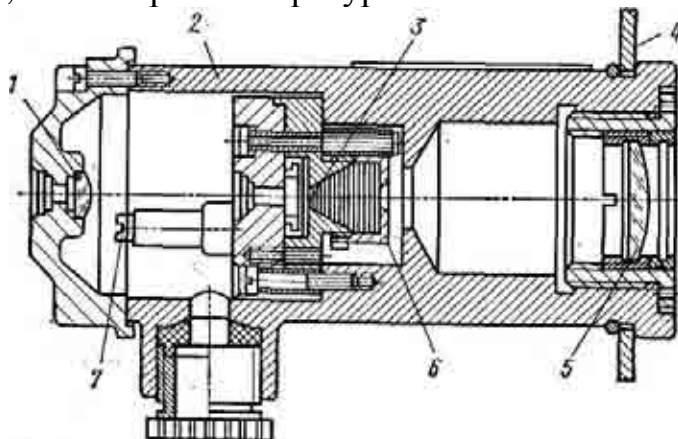


Рис. 18. Общий вид телескопа ТЭРА-50:

1 — линза окуляра, 2 — корпус, 3 — термобатарея, 4 — фланец, 5 — линза объектива, 6 — диафрагма, 7 — зажимы для подключения измерительного прибора

Радиационный пирометр РАПИР является измерителем полного излучения и предназначен для измерения температур в диапазоне 100—2500 °С. Основным элементом прибора является телескоп ТЭРА-50 (рис. 18) с термобатареей, преобразующей тепловое излучение тела в термо-э.д.с, которая измеряется вторичным прибором.

Чувствительным элементом телескопа ТЭРА-50 является термобатарея, состоящая из десяти соединенных последовательно термопар типа хромель — алюмель. При таком соединении результирующая термо-э. д. с. батареи равна сумме термо-э. д. с. составляющих ее элементов, что значительно повышает чувствительность прибора.

При измерении телескоп располагают на расстоянии 1 м от объекта измерения и наводят на него через линзу окуляра.

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ

### Понятие о давлении и разрежении

Д а в л е н и е — величина, характеризующая интенсивность сил, действующих на какую-нибудь часть поверхности тела по направлениям, перпендикулярным этой поверхности.

Существуют три понятия давлений: атмосферное, избыточное и абсолютное.

А т м о с ф е р н о е давление  $P_a$  — это гидростатическое давление, оказываемое атмосферой на все находящиеся в ней предметы. За нормальное атмосферное давление принимают давление, равное 100 кПа (760 мм рт. ст.), такая величина называется физической атмосферой.

И з б ы т о ч н о е давление  $P_{изб}$  может быть положительным и отрицательным. Отрицательное давление называется *разрежением* или *вакуумом*. Под вакуумом понимают состояние воздуха или другого газа в замкнутом объеме, если давление в нем меньше атмосферного.

Абсолютное давление  $P_{\text{абс}}$  равно сумме атмосферного и избыточного давлений:  $P_{\text{абс}} = P_{\text{изб}} + P_{\text{а}}$ .

В Международной системе единиц (СИ) давление выражается в Па (паскалях) [ $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ]. Паскаль — давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$ . Внесистемные единицы давления, которые используются для технических измерений: кгс/см<sup>2</sup>, мм вод. ст., мм рт. ст.

Приборы для измерения положительного избыточного давления называются манометрами, для измерения отрицательного избыточного давления (вакуума) — вакуумметрами.

По принципу действия приборы для измерения давления и разрежений подразделяются на следующие типы:

- жидкостные, в которых давление или разрежение уравнивается высотой столбы жидкости;
- пружинные, в которых давление уравнивается силой упругой деформации чувствительного элемента;
- поршневые, в которых давление уравнивается силой, действующей на поршень определенного сечения;
- комбинированные, принцип действия которых имеет смешанный характер.

По своему назначению приборы подразделяются на рабочие, контрольные и образцовые.

### Пружинные манометры

Пружинные манометры (рис. 19) относятся к наиболее распространенным приборам измерения давления. Они изготавливаются с трубчатой одновитковой и многовитковой пружинами. По классу точности манометры подразделяются на технические, контрольные и образцовые.

Технические манометры имеют класс точности 1,5; 2,5; 4,0; контрольные — 0,6; 1,0, образцовые — 0,16; 0,25; 0,4. По устройству и принципу действия манометры всех типов и моделей подобны друг другу.

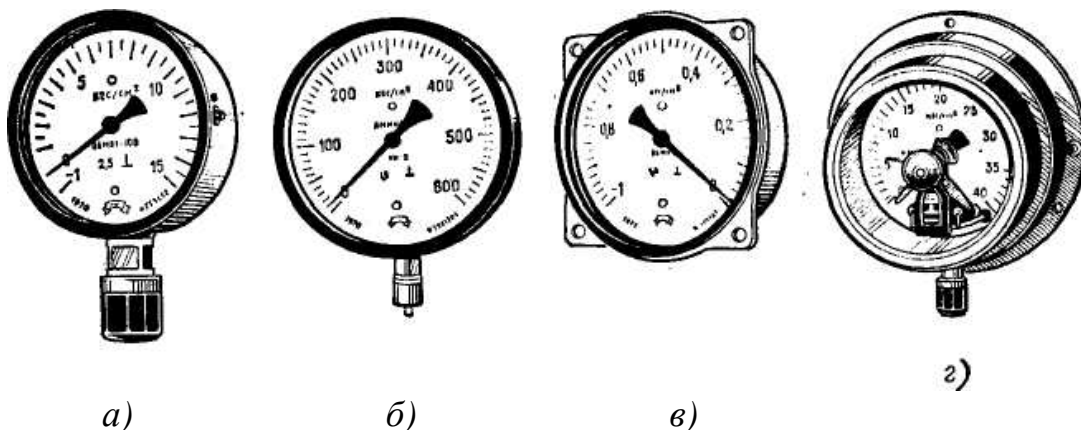


Рис. 19. Общий вид манометров:

*a* — типа ОБМВ, *б* — типа АМУ, *в* — типа МОШ, *з* — типа ЭКМ

Верхние пределы измерений манометров в зависимости от их типов составляют: 0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40; 60; 100 МПа (0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000 кгс/см<sup>2</sup>).

Манометр (рис. 20, а) имеет резьбовой штуцер 7 для подключения, трубчатую пружину 5, соединенную со штуцером, стрелку / и кинематический узел, состоящий из поводка 6, зубчатого сектора 4 и зубчатой шестерни (трибки) 2, закрепленной соосно со стрелкой, и противодействующей спиральной пружины 3. Под действием избыточного измеряемого давления трубчатая пружина деформируется (в пределах упругих деформаций), стремясь распрямиться. При этом свободный конец пружины, перемещаясь совместно с поводком 6, разворачивает относительно оси зубчатый сектор, который, в свою очередь, поворачивает на определенный угол зубчатую шестеренку 2 и стрелку прибора.

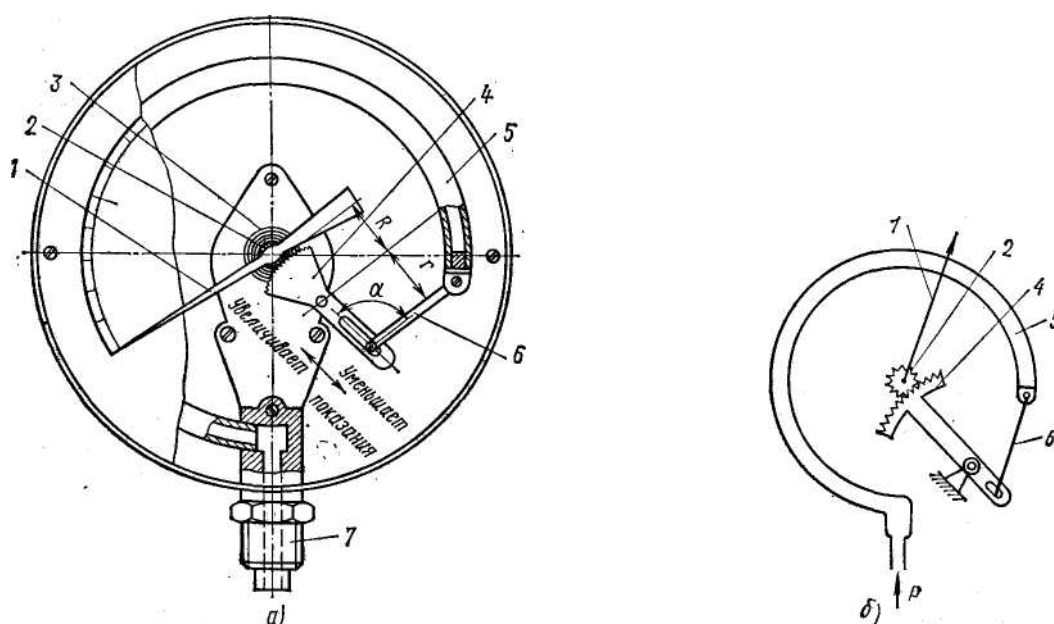


Рис. 20. Кинематическая схема манометра:

а — устройство, б — принцип действия; / — стрелка, 2 — трибка, 3 — пружина, 4 — сектор, 5 — датчик давления (трубчатая пружина), 6 — поводок, 7 — штуцер

Трубчатая пружина 5 (рис. 20, б) в сечении имеет эллипсовидную или овальную форму, которая под действием измеряемого давления газа или жидкости стремится к окружности. В металле возникают механические напряжения, приводящие к деформации пружины, вследствие этого увеличивается малая ось эллипса трубчатой пружины и сечение трубки будет стремиться к окружности.

При подаче на вход манометра избыточного давления трубка разжимается, а при подаче разрежения — сжимается.

Принцип действия манометра основан на уравнивании силы, возникающей под действием измеряемого давления, силой упругости чувствительного элемента прибора.

Обычно упругие деформации измерительной пружины незначительны (до 8—10°). Для искусственного повышения чувствительности прибора устанавливается указанный выше кинематический узел, позволяющий стрелке совершать поворот в зависимости от величины деформации от нуля до максимума шкалы. При отключении измеряемого давления упругая деформация пружины исчезнет, пружина восстанавливает свое первоначальное положение и стрелка прибора устанавливается на нулевую отметку шкалы. Наиболее распространенными приборами такого типа являются манометры ОБМ, МОШ и МТ, шкалы которых составляют 270 °.

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

### Единицы измерения расхода. Классификация приборов

Измерения расходов и количества газов и жидкостей имеют большое значение в самых различных областях науки и техники. Без правильного определения расходов компонентов невозможно провести качественные технологические процессы в химической, энергетической, бумажной и других отраслях промышленности.

Поток жидкости или газа количественно характеризуется средней скоростью и расходом.

*Расходом называется количество газа или жидкости, протекающее через поперечное сечение трубопровода в единицу времени.*

В СИ расход может быть объемный  $V$ , выражаемый в м<sup>3</sup>/с, или массовый  $G$ , выражаемый в кг/с. Внесистемной единицей измерения расхода является литр в секунду (л/с).

Массовый и объемный расходы связаны между собой зависимостью  $G = V \cdot \rho$ , где  $\rho$  — плотность газа или жидкости.

Средней скоростью потока называется отношение объемного расхода к площади поперечного сечения потока:  $v_{cp} = V / S$ , где  $V$  — объемный расход газа (жидкости),  $S$  — площадь поперечного сечения потока.

Расходомеры, применяемые для измерения расхода жидкостей и газов, подразделяются на следующие типы:

- тахометрические счетчики, работающие по принципу измерения частоты вращающихся частей прибора, находящихся в потоке измеряемой среды;
- расходомеры постоянного перепада давления, воспринимающие рабочим телом (поплавком) гидродинамическое давление измеряемого потока среды;
- расходомеры переменного перепада давления, воспринимающие перепад давления на сужающем устройстве, установленном в измеряемом потоке;
- индукционные расходомеры, работающие на принципе измерения электродвижущей силы (э.д.с), индуктированной в магнитном поле при протекании потока жидкости;

- ультразвуковые расходомеры, работающие на принципе измерения скорости распространения ультразвука в измеряемом потоке.

Кроме данных типов расходомеров внедряются новые типы расходомеров: массовые турборасходомеры и расходомеры, работающие на принципе ядерно-магнитного резонанса.

### Тахометрические приборы

Тахометрические (или турбинные) расходомеры относятся к наиболее точным приборам для измерения расхода жидкости. Погрешность этих приборов составляет 0,5—1,0%. К преимуществам приборов данного типа относятся простота конструкции, высокая чувствительность, возможность измерений больших и малых расходов. Существенными недостатками таких приборов являются износ опор и необходимость индивидуальной градуировки с помощью градуировочных расходомерных установок.

К основным элементам прибора относятся тахометрический датчик (ротор) и отсчетное устройство. Принцип действия прибора основан на суммировании за определенный период времени числа оборотов помещенного в поток вращающегося ротора, частота которого пропорциональна средней скорости протекающей жидкости, т. е. расходу.

Счетный механизм расходомера связан с помощью редуктора с тахометрическим ротором. По счетному устройству определяется значение расхода.

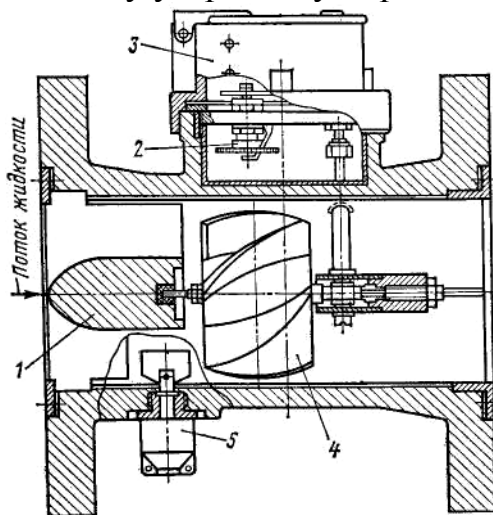


Рис. 21. Счетчик воды турбинный типа ВТ

Расходомеры (скоростные счетчики жидкости) характеризуются нижним и верхним пределами измерения и номинальным расходом. Нижний предел измерения есть минимальный расход, при котором прибор дает показания с допустимой погрешностью. Верхний предел измерения есть максимальный расход, при котором обеспечивается кратковременная работа счетчика (не более одного часа в сутки). Номинальный расход есть максимальный длительный расход, при котором обеспечивается допустимая погрешность, а потеря давления не создает усилий, приводящих к быстрому износу трущихся деталей.

Наиболее распространенными типами таких счетчиков являются счетчики типов ВК, УВТ и расходомеры бензина, толуола и ацетона типа ЩЖУ. На рис. 21 показан счетчик воды турбинный ВТ с горизонтальной вертушкой. По-

ток жидкости при входе в прибор выравнивается струевыпрямителем 1 и направляется на лопатки вертушки 4, представляющей собой многозаходный винт. Червячной парой 5 и передаточным механизмом 2 вращение вертушки передается счетному устройству 3.

Для измерения расходов очищенных горючих газов применяют ротационные объемные газовые счетчики типа РГ (рис. 22), которые работают при температуре газа в пределах 0—50°С и давлении до 100 кПа (1 кгс/см<sup>2</sup>). Наименьший расход, измеряемый счетчиком, составляет 10% от номинального расхода. Счетчик состоит из корпуса, вращающихся двухлопастных роторов, передаточного и счетного механизмов.

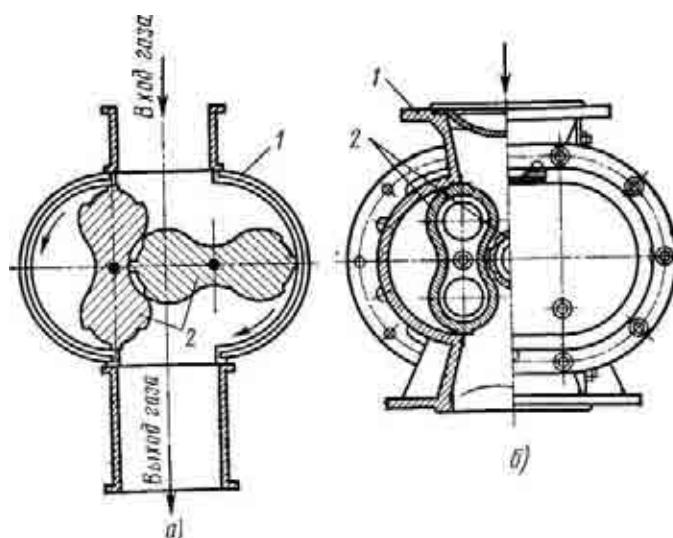


Рис. 22. Газовый счетчик типа РГ:

а — схема, б — общий вид; 1 — корпус, 2 — вращающиеся роторы

Под действием разности давлений газа на входе и выходе прибора роторы 2 приводятся во вращение и обкатываются боковыми поверхностями.

Принцип действия объемных ротационных счетчиков основан на суммировании единичных объемов газа  $V_0$ , вытесненных роторами из измерительной камеры прибора за определенный период времени. За один оборот два ротора вытесняют объем газа  $V_0$ . Частота вращения  $N$  роторов за определенный период времени фиксируется счетным механизмом.

Следовательно, формула для измерения объема газа  $V$ , прошедшего через прибор, будет иметь вид  $V = V_0 \cdot N$ .

Газовые счетчики типа РГ в зависимости от модификации выпускают на расходы 40, 100, 250, 400, 600 и 1000 м<sup>3</sup>/ч. Погрешность показаний в пределах 10—100% номинального расхода составляет  $\pm 2\%$ .

## Приборы постоянного перепада

Расходомеры обтекания, относящиеся к расходомерам постоянного перепада давления, нашли широкое применение в измерении расходов газов и жидкостей.

Название приборов (расходомеры обтекания) связано с тем, что рабочая среда (газ или жидкость) обтекает чувствительный элемент прибора — поплавок.

Расходомеры обтекания имеют: высокую чувствительность; малую стоимость, незначительные потери давления; простоту конструкции и эксплуатации; возможность использования при измерении агрессивных жидкостей и газов, а также в тех случаях, когда невозможно использовать другие приборы измерения расхода.

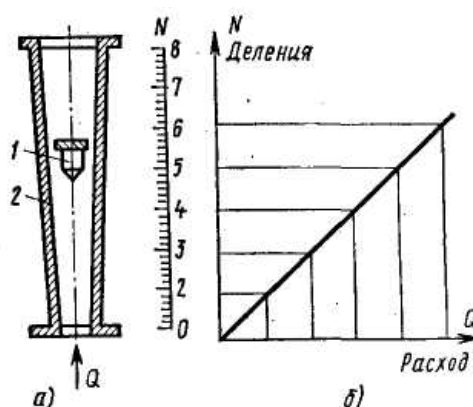


Рис. 23. Ротаметр:

а — общий вид, б — расходная характеристика прибора

Наиболее распространенным типом такого расходомера является ротаметр (рис. 23), который имеет расширяющуюся коническую трубку 2 и поплавков 1. Шкала стеклянных ротаметров имеет 100 делений, а ротаметры с электрическим и пневматическим выходным сигналом имеют дополнительно вторичные приборы для определения расхода.

В зависимости от пределов измерений поплавков изготавливают из эбонита, дюралюминия или нержавеющей стали. По типу поплавков выполняется цельным или облегченным. Поплавков имеет нижнюю коническую часть, среднюю цилиндрическую и верхнюю со скошенным бортиком и направляющими канавками, которые служат для придания вращательного движения поплавку, центрирующего его в измеряемом потоке.

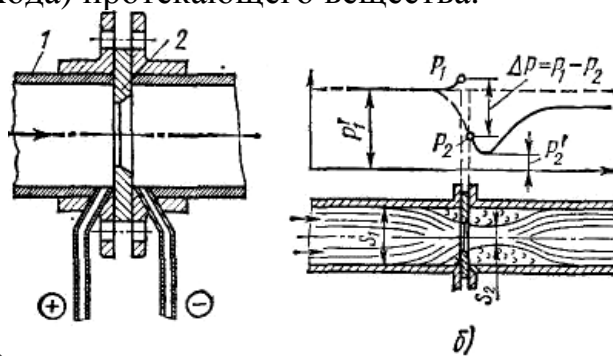
Принцип действия ротаметров состоит в том, что гидродинамическое давление измеряемого потока среды воздействует снизу на поплавок и вызывает его вертикальное перемещение. Под действием перемещения поплавок из-за конусности трубки изменяется площадь проходного сечения между поплавком и трубкой, а перепад давления по обе стороны поплавка остается постоянным. Поэтому такие приборы называют расходомерами постоянного перепада давлений.

Ротаметры всех типов и модификаций устанавливают в строго вертикальных участках трубопроводов при направлении потока снизу вверх. Рабочее давление измеряемой среды в зависимости от типа прибора составляет 0,6; 1,6; 6,4 МПа (6, 16 и 64 кгс/см<sup>2</sup>).

### Приборы переменного перепада

Для автоматического измерения расходов пара, газов и жидкостей используют различные типы расходомеров переменного перепада. Принцип действия таких приборов, объединенных общим методом измерений, основан на измерении перепада давления, образующегося в результате изменения скорости измеряемого потока на специальном сужающем устройстве, называемом диафрагмой.

Рассмотрим явления, возникающие при прохождении жидкости или газа через сужающее устройство, установленное в трубопроводе (рис. 24). При протекании жидкости или газа через сужающее устройство часть потенциальной энергии давления переходит в кинетическую энергию, при этом средняя скорость потока в суженном сечении повышается, а давление уменьшается. Таким образом, при протекании газа или жидкости образуется разность давлений до и после сужающего устройства. Разность этих давлений (перепад давлений) зависит от скорости (расхода) протекающего вещества.



а)  
К дифманометру

Рис. 24. Измерение расхода с помощью сужающего устройства: а — диафрагма; 1 — трубопровод, 2 — сужающее устройство (диафрагма); б — распределение давления у сужающего устройства;  $P'_1$  — давление в сечении  $S_1$ ,  $P_1$  — давление перед диафрагмой,  $P_2$  — давление в сечении  $S_2$ ,  $P'_2$  — давление после диафрагмы;  $\Delta P$  — перепад давления на диафрагме

Величина перепада давлений измеряется специальными устройствами, называемыми дифференциальными манометрами.

К стандартным сужающим устройствам относятся диафрагмы, сопла и трубки Вентури. Наиболее распространенным типом сужающих устройств являются диафрагмы дисковые нормальные типа ДДН и диафрагмы камерные нормального типа ДКН.

Таким образом, для измерения расхода приборами переменного перепада давлений необходимо иметь: сужающее устройство для создания перепада давлений в измеряемом потоке; первичный датчик — дифференциальный манометр, измеряющий перепад на сужающем устройстве; импульсные соедине-

тельные линии, соединяющие сужающее устройство с дифференциальным манометром; вторичный измерительный прибор.

### Индукционные и ультразвуковые расходомеры

Индукционные расходомеры обладают незначительной инерционностью показаний, что является очень существенным фактором при автоматическом регулировании расходов. В датчиках таких расходомеров нет частей, находящихся внутри рабочего трубопровода, поэтому они имеют минимальные гидравлические потери.

Принцип действия индукционного расходомера (рис. 25) основан на законе Фарадея — законе электромагнитной индукции. Если в трубопроводе течет проводящая жидкость между полюсами магнита 2, то в направлении, перпендикулярном движению жидкости, и в направлении основного магнитного потока возникает э.д.с. на электродах 3, пропорциональная скорости движения жидкости. Магнитное поле создается источником питания 6 электромагнита. Электронный усилитель 4 усиливает э.д.с., индуктированную на электродах 3, которую регистрирует вторичный измерительный электронный прибор 5 расходомера.

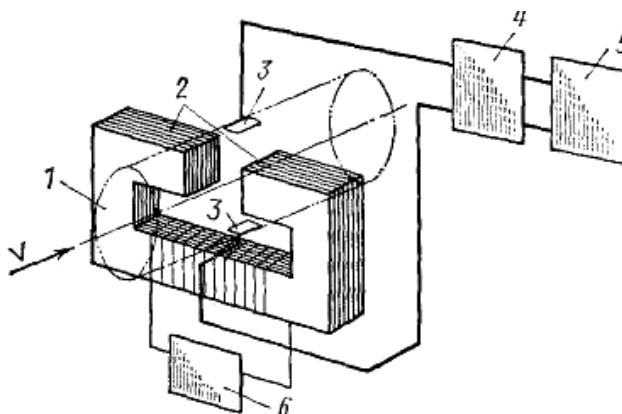


Рис. 25. Схема индукционного расходомера

Индукционные расходомеры позволяют измерять расходы абразивных жидкостей и пульп, щелочей, кислот и других агрессивных сред в широком диапазоне — от 1,25 до 400 м<sup>3</sup>/ч.

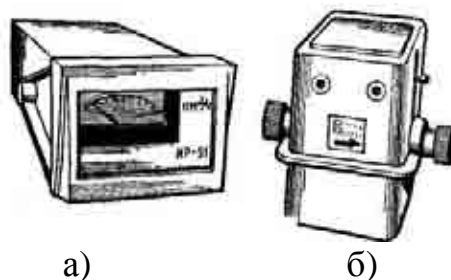


Рис. 26. Индукционный расходомер типа ИР-51:  
а — измерительный блок, б — преобразователь

В настоящее время выпускают индукционные расходомеры (рис. 26) типов ИР-51, 4РИМ, 5РИМ. Приборы имеют компенсацию трансформаторной э. д. с. В зависимости от типов приборов основная погрешность измерений не превышает 1,0—1,6%.

Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на том, что фактическая скорость распространения ультразвука в движущейся среде газа или жидкости равна геометрической сумме средней скорости движения среды и собственной скорости звука в этой среде.

Чувствительным элементом датчика (излучателя и приемника) является пьезоэлемент — прямоугольная кварцевая пластинка с плоскопараллельными гранями, которая обладает свойствами прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта. Если к одним противоположным граням пьезоэлемента подключить напряжение, то под действием электрического поля на двух других противоположных гранях возникают механические колебания. И наоборот, если на одних гранях возбуждать механические колебания, то на противоположных гранях возникает пьезо-э.д.с. Ультразвуковой расходомер ИРУ-63 имеет датчик, электронный блок и регистрирующий прибор.

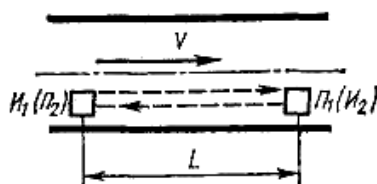


Рис. 27. Принцип действия ультразвукового расходомера

Принципиальная схема расходомера (рис. 27) включает излучатель  $I_1$ , создающий ультразвуковые колебания частотой от 20 кГц и выше, и приемник  $П_1$ , регистрирующий эти колебания, расположенный от излучателя на расстоянии  $L$ .

Если  $C$  — скорость звука в среде, а  $v$  — скорость потока жидкости, то продолжительность распространения звуковой волны по направлению движения потока от излучателя до приемника будет равна  $t_1 = L / (C+v)$ . Продолжительность распространения звуковой волны против движения потока от  $I_2$  до  $П_2$ :  $t_2 = L / (C - v)$ . Разность  $\Delta t = t_2 - t_1$ , измеренная электронным блоком, будет равна  $\Delta t = 2 \cdot L \cdot v / [C^2(1 - v^2/C^2)]$ . Так как для жидкости  $C = 1000 \dots 1500$  м/с, а  $v = 6 \dots 8$  м/с, то величиной  $v^2/C^2$  можно пренебречь.

Выражая скорость потока через расход ( $v = V/S$ ), получим уравнение измерения расхода ультразвуковых расходомеров:  $V = (S \cdot C^2 \cdot \Delta t) / (2LK)$ , где  $S$  — площадь сечения потока жидкости,  $K$  — коэффициент, учитывающий распределение скоростей в потоке,  $V$  — расход измеряемого потока.

К достоинствам приборов данного типа относят: высокое быстродействие, надежность датчиков (излучателей и приемников), принципиальная возможность измерения расходов любых жидкостей и газов, в том числе и неэлектропроводных.

## Новые методы измерения расхода жидкостей и газов

В настоящее время отечественной промышленностью успешно освоены целый ряд перспективных методов измерения расходов, среди которых необходимо выделить массовый, ионизационный и основанный на ядерно-магнитном резонансе.

В массовом турборасходомере (рис. 28) ведущая турбинка 6, вращаемая с постоянной частотой со электродвигателем 7, закручивает поток измеряемой жидкости, создавая в нем инерционный момент, пропорциональный массовому расходу  $G$ . Измеряемый закрученный поток, проходя через ведомую турбинку 5, жестко связанную с упругим элементом 2, разворачивает ее на определенный угол  $\varphi$ , пропорциональный измеряемому расходу.

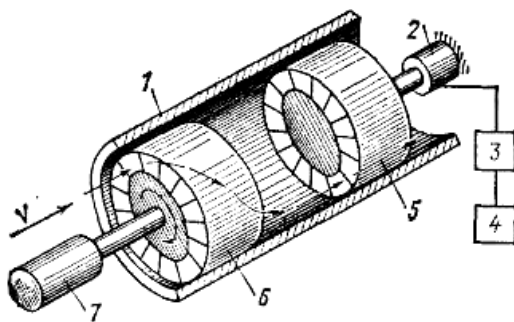


Рис. 28. Схема массового турборасходомера:

1 — корпус, 2 — чувствительный элемент (датчик), 3 — усилитель, 4 — прибор, 5 — ведомая турбинка, 6 — ведущая турбинка, 7 — электродвигатель

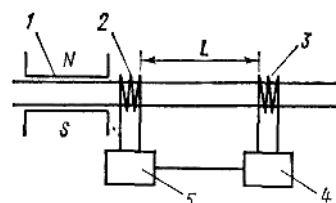


Рис. 29. Схема ядерно-магнитного расходомера

Массовый расход, определяемый по прибору, имеет вид  $\varphi = K \cdot \omega \cdot G$ , где  $K$  — постоянный конструктивный коэффициент,  $\omega$  — частота вращения ведущей турбинки.

Из формулы видно, что массовый расход характеризуется углом поворота ведомой турбинки, который преобразуется в пропорциональный электрический сигнал для вторичного прибора.

Погрешность измерения таких труборасходомеров лежит в пределах 0,5—1 % от верхнего предела измерения.

Расходомеры, основанные на ядерно-магнитном резонансе, используют явление взаимодействия поляризованных в постоянном магнитном поле атомных ядер с резонансным осциллирующим полем. При этом взаимодействии поглощается часть энергии осциллирующего поля и изменяется намагниченность ядер, т. е. магнитный момент ядер в единице объема вещества.

На рис. 29 показана схема ядерно-магнитного расходомера. Магнит 1 создает сильное магнитное поле, при прохождении через которое жидкость поляризуется. Протекая через катушку 2, питающуюся переменным напряжением резонансной частоты от источника питания 5, поляризованные ядра измеряемой жидкости поглощают часть осциллирующего поля, созданного катушкой 2, и

жидкость деполаризуется. Периодически питающее напряжение катушки 2 отключается, и в потоке на выходе из катушки создаются пакеты поляризованных молекул жидкости. Пройдя расстояние  $L$ , эти молекулы попадают в поле катушки 5, питающейся тем же переменным напряжением резонансной частоты. В момент протекания поляризованных молекул через осциллирующее поле катушки 3 в ее цепи возникает сигнал ядерно-магнитного резонанса, который воспринимается электронным измерителем 4.

Измерение расхода жидкости по данному принципу сводится к измерению времени между отключением напряжения от катушки 2 и появлением сигнала ядерно-магнитного резонанса на катушке 3. Погрешность измерений ядерно-магнитных расходомеров не превышает 1%.

Ионизационный расходомер (рис. 30). Суть его работы заключается в том, что под воздействием излучения от какого-либо источника И в потоке происходит соответствующая флуктуация, например образуется ионное облачко-метка  $O$ , движущееся вместе с потоком. Зная момент подачи  $t_1$  частотного импульса генератором Г, расстояние  $L$  и момент  $t_2$  прохождения облачком чувствительного элемента приемника-регистратора Р, определяют расход вещества  $V$ .

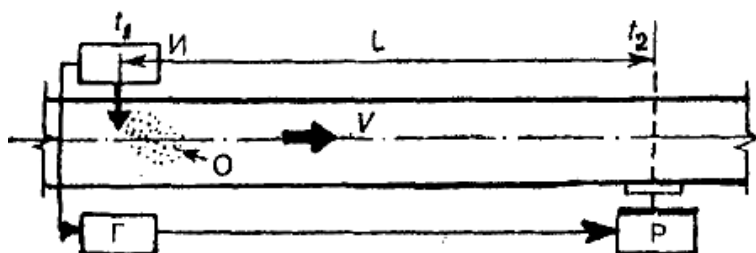


Рис. 30. Принцип действия ионизационного расходомера

Так, в газоснабжении измеряется расход газа с помощью радиоактивных меток — порций криптона или ксенона, поступающих из специального баллончика-дозатора.

Достоинствами таких расходомеров является высокая чувствительность, малая инерционность, отсутствие конструктивных элементов прибора внутри трубопровода.

## ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ

Необходимость оперативного определения расхода теплоты и теплопотерь с особой остротой выявилась в последнее время в связи с требованием экономии топливно-энергетических ресурсов. Тепловая мощность потока определяется как  $q = G \cdot h$ , где  $G$  — массовый расход теплоносителя,  $h$  — удельная энтальпия теплоносителя. Отпуск теплоты  $Q$  находят интегрированием  $q$  по времени. При этом в соответствии с видом теплоносителя энтальпия зависит от температуры и давления.

Процесс измерения сводится к комплексному измерению давлений, расходов и температур с последующими расчетными операциями.

Измерительная система теплосчетчика "Квант" (рис. 31) состоит из электромагнитного (индукционного) расходомера (ИР), платиновых терморезисторов — датчиков температуры прямого и обратного потоков и автоматического вычислительного прибора (АВП). Подающий трубопровод расположен между полюсами электромагнита М, под действием которого ионы жидкости отдают заряды измерительным электродам 3, создавая ток, пропорциональный расходу  $V$ . Измерительный блок (ИБ) трансформирует сигнал о расходе и передает на АВП, куда также поступают сигналы от терморезисторов  $RK1$  и  $RK2$ . АВП производит счетные операции с выходом на регистрирующий прибор (РП) и АСУ.

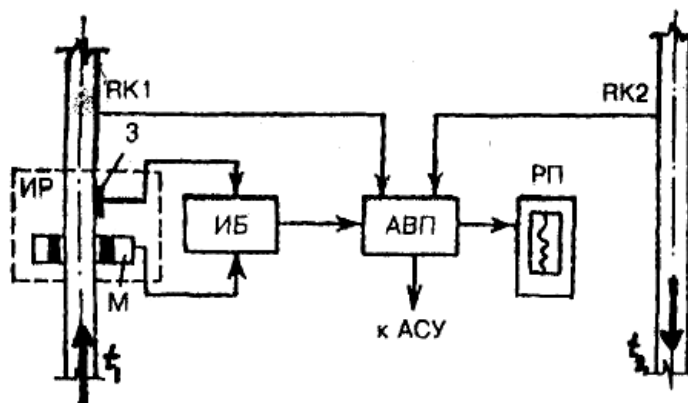


Рис. 31. Измерительная схема теплосчетчика «Квант»

На рис. 32 показан комплект приборов теплосчетчика НПТО "Термо". В состав комплекта входят: электромагнитный расходомер РОСТ-1; измерительный преобразователь ЭП-8006; термометры сопротивления КТСПР для измерения разности температур.

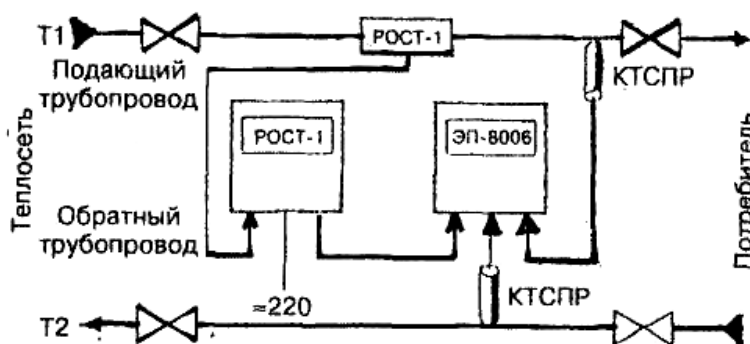


Рис. 32. Комплект приборов теплосчетчика «Термо»

Теплосчетчик отличается высокой точностью измерения, отсутствием требований к прямолинейности участков трубопровода, отсутствием подвижных элементов в потоке. Комплект имеет цифровой шестизрядный счетчик количества теплоты в гигаджоулях, цифровую индикацию расхода теплоносителя, аналоговые выходные сигналы постоянного тока, частотный выходной сигнал, телеметрический датчик для передачи данных в систему учета энергии ИИСЭ.

Индивидуальные тепломеры, широко распространенные в ряде европейских стран, оценивают расход теплоты индивидуальными потребителями, например радиаторами центрального отопления. Стеклопанная градуированная трубка, наполненная тетралином, прикрепляется к поверхности радиатора. Систематический ее нагрев приводит к испарению жидкости, по уровню которого судят о расходе теплоты.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение электроизмерительных приборов и их классификация.
2. Как включаются в электрическую цепь измерительный прибор для работы в качестве вольтметра или амперметра?
3. Опишите принцип работы приборов магнитоэлектрической системы.
4. В чем отличие приборов электромагнитной системы от магнитоэлектрической и принцип их работы?
5. Опишите косвенный метод измерения мощности.
6. Опишите устройство ваттметра.
7. Устройство и работа однофазного счетчика активной энергии.
8. Область применения и устройство термометров расширения.
9. Объясните принцип действия манометрических термометров.
10. Устройство термопары и принцип ее работы?
11. Что такое термо-э.д.с. и как она образуется?
12. Что такое термометры сопротивления и принцип их действия?
13. Назначение пирометров и принцип их действия.
14. Разновидности пирометров.
15. Понятие давления и какое соотношение связывает абсолютное, избыточное и атмосферное давления?
16. Приведите классификацию приборов для измерения давления.
17. В чем заключается принцип действия пружинного манометра?
18. Понятие расхода и связь между массовым и объемным расходом?
19. Приведите классификацию расходомеров.
20. Принцип действия тахометрического расходомера?
21. В чем заключается принцип действия расходомеров постоянного перепада?
22. Принцип действия и устройство расходомеров переменного перепада.
23. В чем заключается принцип действия индукционных расходомеров?
24. Принцип действия и преимущество ультразвуковых расходомеров.
25. Принципиальная схема, устройство и принцип действия ионизационных расходомеров.
26. Физический принцип измерения количества теплоты и измерительные системы теплосчетчиков.

## Тема 2. Традиционные способы получения энергии

**Ключевые понятия:** тепловые электростанции, конденсационные электростанции, атомные электростанции, ядерный реактор на тепловых нейтронах, газотурбинные и парогазовые установки, гидроэлектростанции.

План:

1. Понятие тепловых электростанций и принцип их работы.
2. Принципиальные схемы и работа конденсационных электростанций и теплоэлектроцентралей.
3. Принципиальные схемы и работа атомной электростанции.
4. Схема устройства ядерного реактора на тепловых нейтронах и принцип его работы.
5. Принципиальные схемы и работа газотурбинных установок.
6. Принципиальные схемы и работа парогазовых установок.
7. Принцип получения электрической энергии в гидроэлектростанциях.
8. Схемы, устройство и работа гидроэлектростанций.
9. Принцип работы и устройство гидроаккумулирующих электростанций.

## Тема 3. Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую

**Ключевые понятия:** солнечная энергия, поток излучения, световой поток, освещенность, фотоэффект, солнечный элемент, модуль, батарея, люксметр, коэффициент преобразования, вольт-амперная характеристика.

### Цель работы:

1. Ознакомиться с показателями, характеризующими солнечное излучение.
2. Изучить принцип преобразования солнечной энергии в электрическую.
3. Исследовать характеристику солнечного модуля на холостом ходу.
4. Исследовать вольт-амперную характеристику солнечного модуля.

### Содержание работы

1. Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.
2. На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчеты и построить необходимые графики.
3. Внеаудиторная работа предполагает дополнительную проработку теоретических вопросов, а также доработку и оформление результатов практических занятий.

## Общие сведения

Солнце является основным источником энергии, обеспечивающим существование жизни на Земле. Вследствие реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца достигаются температуры до  $10^7$  К. При этом поверхность Солнца имеет температуру около 6000 К. Электромагнитным излучением солнечная энергия передается в космическом пространстве и достигает поверхности Земли. Вся поверхность Земли получает от Солнца мощность около  $1,2 \cdot 10^{17}$  Вт. Это эквивалентно тому, что менее одного часа получения этой энергии достаточно, чтобы удовлетворить энергетические нужды всего населения Земного шара в течение года. Максимальная плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет примерно,  $1$  кВт/м<sup>2</sup>. Для населенных районов в зависимости от места, времени суток и погоды потоки солнечной энергии меняются от 3 до 30 МДж/м<sup>2</sup> в день.

Для характеристики солнечного излучения используются следующие основные величины.

**Поток излучения** - величина, равная энергии, переносимой электромагнитными волнами за одну секунду через произвольную поверхность. Единица измерения *потока излучения* -  $\text{Дж/с}=\text{Вт}$ .

**Плотность потока излучения (энергетическая освещенность)** - величина, равная отношению потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Единица измерения *плотности потока излучения* -  $\text{Вт/м}^2$ .

**Световой поток.** Световым потоком называется поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. Человеческий глаз неодинаково чувствителен к потокам света с различными длинами волн. Обычно при дневном освещении глаз наиболее чувствителен к свету с длиной волны 555 нм. Поэтому одинаковые по мощности потоки излучения, но разных длин волн вызывают разные световые ощущения у человека. Единицей измерения *светового потока* с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен  $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$  (или  $1 \text{ Вт}=217 \text{ лм}$ ).

**Освещенность** - величина, равная отношению светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. *Освещенность* измеряется в люксах (лк).  $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$ . Для белого света  $1 \text{ лк} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$  (или  $1 \text{ Вт/м}^2=217 \text{ лк}$ ).

Приборы, предназначенные для измерения освещенности, называются **люксметрами**.

Таблица 1

Освещенность, создаваемая различными источниками

Источники	Освещенность, лк	Освещенность, $\text{Вт/м}^2$
Солнечный свет в полдень (средние широты)	100000	460
Солнечный свет зимой	10000	46
Облачное небо летом	5000-20000	23-92
Облачное небо зимой	1000-2000	4,6-9,2
Рассеянный свет в светлой комнате (вблизи окна)	100	0,46
Светильники, создающие необходимую для чтения освещенность	30-50	0,14-0,23
Полная Луна, облучающая поверхность Земли	0,2	$0,92 \cdot 10^{-3}$

В связи с большим потенциалом солнечной энергии чрезвычайно заманчивым является максимально возможное непосредственное использование ее для нужд людей.

При этом самым оптимальным представляется прямое преобразование солнечной энергии в наиболее распространенную в использовании электрическую энергию.

Это становится возможным при использовании такого физического явления как фотоэффект.

**Фотоэффектом** называются электрические явления, происходящие при освещении вещества светом. Различают три вида фотоэлектрического эффекта: внешний, внутренний и вентильный (р-п перехода) фотоэффекты. *Внешний фотоэффект* заключается в испускании электронов с поверхности вещества на которую падает свет. *Внутренний фотоэффект* связан с изменением электрической проводимости вещества при поглощении им света. *Вентильный фотоэффект* связан с перемещением зарядов через границу раздела полупроводников с различными типами проводимости (р-п).

Наиболее распространенным полупроводником, используемым для создания солнечных элементов, является кремний.

Рассмотрим структуру солнечного элемента с р-п переходом. Она включает в себя (рис. 1): слой полупроводника с n-проводимостью и слой полупроводника с р-проводимостью. На границе разделов двух полупроводников образуется р-п переход.

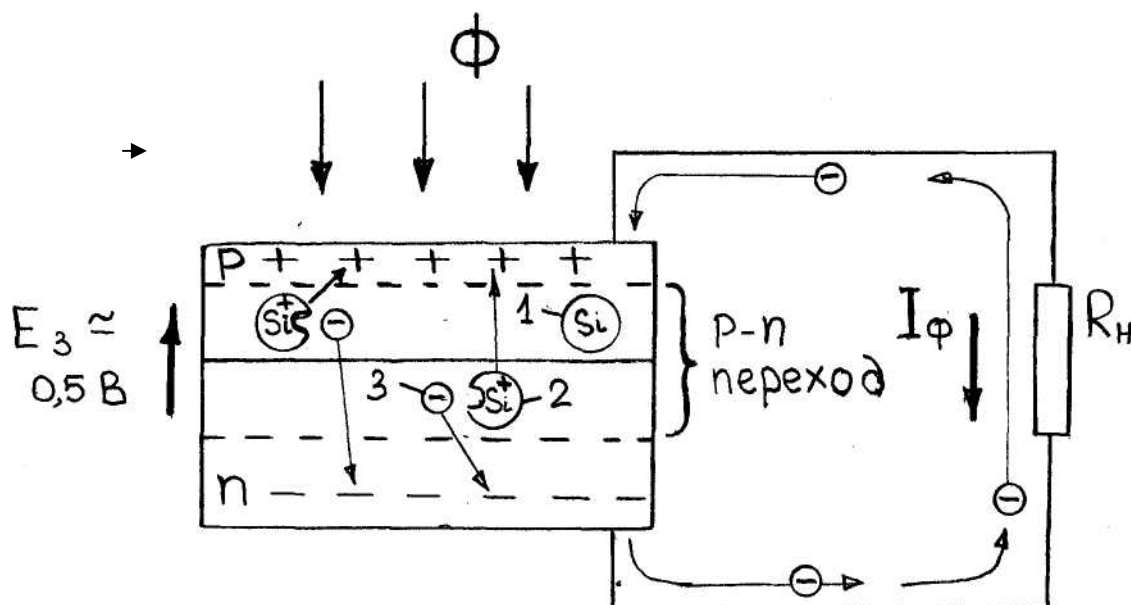


Рис. 1. Структура солнечного элемента

При освещении р-п перехода солнечным светом, фотоны света проникают через полупрозрачный слой р-полупроводника в р-п переход и ионизируют атомы кремния (Si) 1, создавая при этом новые пары носителей заряда – дырки (р) 2 и электроны (n) 3. Образовавшиеся, в зоне р-п перехода, электроны 3 под воздействием потенциального поля  $E_3$  переносятся в область n - полупроводника, а дырки, соответственно, в область р - полупроводника. Это приводит к образованию избытка дырок в слое р и электронов в слое n. Разность потенциалов между слоями n и р вызывает прохождение по внешней цепи  $R_n$  фототока  $I_\phi$ , обусловленного движением электронов из области n – полупроводника в по внешней цепи в область р-полупроводника.

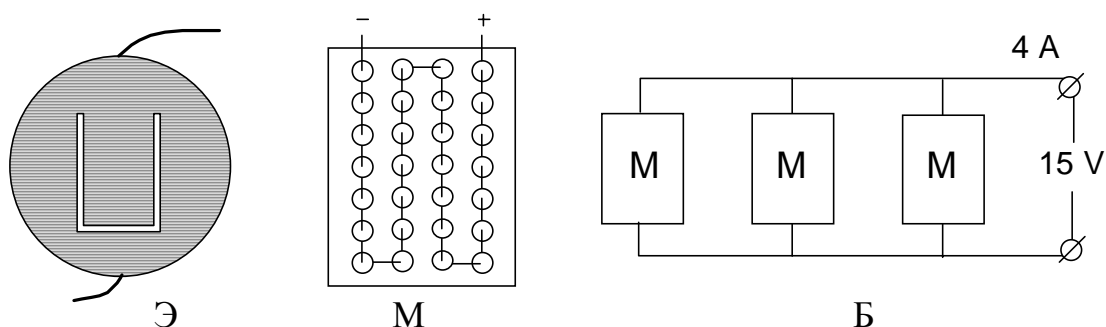
Солнечные элементы характеризуются **коэффициентом преобразования** солнечной энергии в электрическую, который представляет собой отношение падающего на элемент потока излучения к максимальной мощности вырабаты-

ваемой им электрической энергии. Кремниевые солнечные элементы имеют коэффициент преобразования 10-15 %.

Солнечные элементы последовательно соединяются в солнечные модули, которые в свою очередь параллельно соединяются в солнечные батареи как изображено на рис. 2.

В 1958 году впервые солнечные батареи были использованы в США для энергообеспечения искусственного спутника Земли Vanguard 1. В последующем они стали неотъемлемой частью космических аппаратов.

Широко известны микрокалькуляторы, часы, радиоприемники и многие другие электронные аппараты, работающие на солнечных батареях.



**Рис. 2. Э - солнечный элемент; М - солнечный модуль; Б - солнечная батарея**

За последние годы мировая продажа солнечных модулей составила по суммарной мощности 25 *MВт* в 1986 году и около 60 *MВт* - в 1991 году.

Полная стоимость солнечных элементов с 1974 по 1984 год упала примерно со 100 до 4 долларов США на 1 *Вт* максимальной мощности. Предполагается снижение этой величины до 0,8 долларов США. Однако даже при полной стоимости солнечных элементов 4 доллара США на 1 *Вт* плюс вспомогательной аппаратуры 2 доллара США на 1 *Вт* при облученности местности 20 *МДж/м<sup>2</sup>* в день и долговечности солнечных батарей 20 лет стоимость вырабатываемой ими электроэнергии составляет примерно 16 центов США за 1 *кВт·ч* (4,4 цента за *МДж*). Это вполне конкурентоспособно с электроэнергией, вырабатываемой дизельгенераторами, особенно в отдаленных районах, где стоимость доставки топлива и обслуживания резко возрастает. Ожидается, что в ближайшие несколько лет солнечные батареи будут широко использоваться развивающимися странами в сельских местностях в осветительных системах и системах водоснабжения.

Основные компоненты солнечной энергетической установки изображены на рис. 3 и включают в себя: Б - солнечную батарею с приборами контроля и управления; А - аккумуляторную батарею; И - инвертор для преобразования постоянного тока солнечной батареи в переменный ток промышленных параметров, потребляемый большинством электрических устройств.

Несмотря на неравномерность суточного потока солнечного излучения и его отсутствие в ночное время аккумуляторная батарея, накапливая вырабатываемое солнечной батареей электричество, позволяет обеспечить непрерывную работу солнечной энергетической установки.

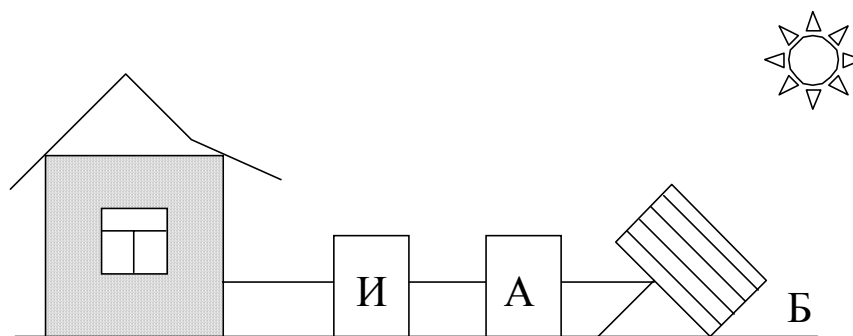


Рис. 3. Солнечная энергетическая установка

### Экспериментальная установка

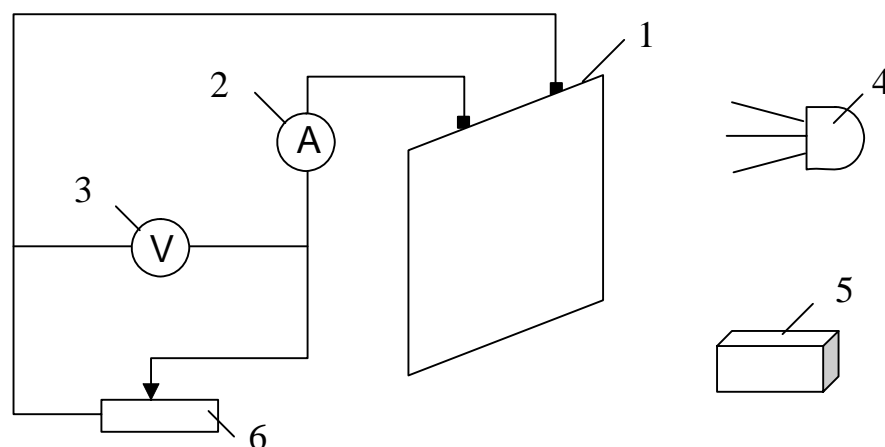


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

1 – солнечный модуль, состоящий из 36-ти (9x4) солнечных элементов; 2 – амперметр и 3 – вольтметр для определения напряжения и силы тока, вырабатываемых солнечным модулем; 4 – источник света, имитирующий солнечное излучение; 5 – люксметр для определения освещенности поверхности солнечного модуля; 6 – реостат, представляющий собой регулируемую нагрузку в электрической цепи.

## Порядок выполнения работы

а). Определение световой характеристики солнечного модуля.

1. Определение световой характеристики солнечного модуля производится следующим образом:

- устанавливается источник света на прямое излучение на поверхность солнечного модуля;
- люксметром производится измерение освещенности  $E_{cp}$  солнечного модуля;
- по показаниям вольтметра определяется ЭДС вырабатываемая солнечным элементом;
- проводятся аналогичные измерения при косом падении излучения на поверхность модуля, поворачивая источник света на 10, 20, 30, 40, 50 градусов.

2. Исходные данные, необходимые для расчета световой характеристики солнечного модуля, приведены в табл. 4.

3. Вычислить плотность потока излучения  $W$  (энергетическую освещенность), используя соотношения между  $лк$  и  $Вт/м^2$  для белого света,  $W = 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot E_{cp}$ .

4. Вычислить ЭДС, вырабатываемую одним солнечным элементом ЭДС-1, разделив ЭДС модуля на число элементов 36, входящих в него.

5. Все результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений и вычислений

Угол падения излучения, град	$E_{cp}$ , <i>лк</i>	ЭДС, <i>В</i>	$W$ , <i>Вт/м<sup>2</sup></i>	ЭДС-1, <i>В</i>
0				
10				
20				
30				
40				
50				

6. Построить график зависимости ЭДС солнечного модуля от плотности потока излучения, падающего на его поверхность  $W$  (рис. 5а).

б). Определение вольт-амперной характеристики солнечного модуля

1. Для определения вольт-амперной характеристики солнечного модуля к цепи модуля подключается нагрузочный резистор (б). С помощью реостата, перемещая подвижный контакт реостата, изменяется сопротивление нагрузки в цепи и производится измерение напряжения  $U$  на солнечном модуле вольтметром  $V$  (3) и тока  $I$ , протекающего по цепи, с помощью амперметра  $A$  (2).

Источник света устанавливается на прямое излучение на поверхность солнечного модуля.

С ростом нагрузки увеличивается величина тока и уменьшается напряжение, вырабатываемое модулем.

2. Исходные данные для расчета вольт-амперной характеристики солнечного модуля, приведены в табл. 5.

3. Для каждого измерения вычислить электрическую мощность в цепи  $P_3 = I \cdot U$ .

4. Все данные занести в табл. 3.

Таблица 3

Плотность потока излучения, $Вт/м^2$	Номер измерения	Напряжение $U, В$	Ток $I, А$	Мощность $P_3, Вт$
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

5. Построить вольт-амперную характеристику (график зависимости  $I$  от  $U$ ) солнечного модуля при данной плотности потока излучения, значение которой взять из предыдущей серии измерений (рис.5б).

6. Отметить наибольшее значение мощности, вырабатываемой солнечным модулем.

7. Определить коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую  $K_{\phi} = W / P_3$ .

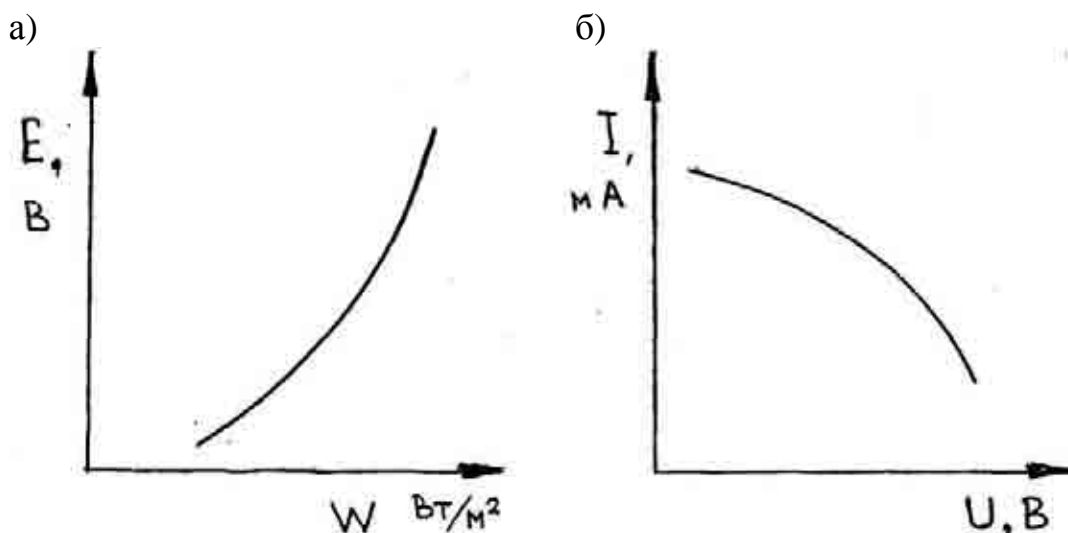


Рис. 5. Характеристики солнечного модуля.

## Исходные данные

Таблица 4

Угол падения излучения, град	Вариант задания									
	I		II		III		IV		V	
	Е <sub>ср</sub> , лк	ЭДС, в	Е <sub>ср</sub> , лк	ЭДС, в	Е <sub>ср</sub> , лк	ЭДС, в	Е <sub>ср</sub> , лк	ЭДС, в	Е <sub>ср</sub> , лк	ЭДС, в
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
0	2960	17,3	2660	17,0	2360	16,8	2160	16,0	1960	15,8
10	2860	16,5	2580	16,2	2280	16,0	2080	15,2	1880	15,0
20	2770	15,9	2480	15,6	2180	15,4	1980	14,6	1780	14,4
30	2710	15,7	2420	15,4	2120	15,2	1920	14,4	1720	14,2
40	2650	15,5	2360	15,2	2060	15,0	1860	14,2	1660	14,0
50	2570	15,2	2280	15,0	1980	14,8	1780	14,0	1580	13,8

Таблица 5

Номер измерения	Вариант задания									
	I		II		III		IV		V	
	U, в	I, А	U, в	I, А	U, в	I, А	U, в	I, А	U, в	I, А
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1	1,5	0,178	2,5	0,17	2,0	0,174	1,0	0,182	3,0	0,168
2	4,0	0,162	5,0	0,155	4,5	0,16	3,0	0,168	6,0	0,15
3	7,5	0,142	7,5	0,137	7,0	0,14	5,0	0,15	9,0	0,127
4	9,0	0,125	10,0	0,12	9,5	0,12	7,0	0,14	11,5	0,105
5	11,0	0,11	12,5	0,095	12,0	0,1	9,0	0,125	13,5	0,085
6	13,0	0,09	15,0	0,065	14,5	0,08	11,0	0,11	15,5	0,06

## Тема 4. Изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию

**Ключевые понятия:** энергия ветра, ветроэнергетические установки, рабочий орган ВЭУ, ветроколесо, подъемная сила, сила лобового сопротивления, ометаемая площадь, коэффициент мощности, коэффициент быстроходности.

### Цель работы:

1. Изучить принцип преобразования энергии ветра в электрическую энергию.
2. Ознакомиться с устройством различных типов ветроколес.
3. На основании экспериментальных данных определить коэффициент мощности ветроэнергетической установки.

### Содержание работы

1. Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.
2. На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчеты.
3. Внеаудиторная работа предполагает дополнительную проработку теоретических вопросов, а также доработку и оформление результатов практических занятий.

### Общие сведения

Ветер представляет собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температуры в атмосфере из-за неравномерного нагрева ее Солнцем. **Таким образом, используемая энергия ветра является энергией Солнца преобразованная в механическую энергию.**

Устройства, преобразующие энергию ветра в полезную механическую, электрическую или тепловую энергию, называются *ветроэнергетическими установками* (ВЭУ) или *ветроустановками*.

Энергия ветра в механических установках, например, на мельницах и в водяных насосах, используется уже несколько столетий. После резкого скачка

цен на нефть в 1973 году интерес к таким установкам резко возрос. Большая часть существующих ветроустановок построена в конце 70-х-начале 80-х годов на современном техническом уровне. При их строительстве широко использовались последние достижения аэродинамики, механики и микроэлектроники для контроля и управления ими.

Белорусская энергетическая программа до 2010 года основными направлениями использования ветроэнергетических ресурсов на ближайший период предусматривает их применение для привода насосных установок и в качестве источников энергии для электродвигателей автономного обеспечения. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями к качеству электрической энергии, что позволяет резко упростить и удешевить ветроэнергетические установки.

При правильной организации использования ветроэнергетики такой дешевой и неиссякаемый источник энергии, как ветер, может удовлетворить большую часть потребностей в любой отрасли народного хозяйства. Установки, преобразующие энергию ветра в электрическую, тепловую и механическую, могут обеспечить:

- автономное энергоснабжение различных локальных объектов (оросительные системы, механизмы животноводческих ферм, вентиляцию, устройства микроклимата и т.п.);

- горячее водоснабжение, отопление, энергообеспечение холодильных агрегатов;

- подъем воды для садовых участков, на пастбищах и т.п.;

- откачку воды из систем вертикального и горизонтального дренажа и прочих систем.

По сравнению с другими видами источников энергии ветроэнергетические установки имеют следующие преимущества:

- отсутствие затрат на добычу и транспортировку топлива;

- снижение более чем в 10 раз трудозатрат на сооружение ветроэнергетической установки по сравнению со строительством тепловых или атомных станций;

- широкий технологический диапазон прямого использования энергии ветроустановок (автономность или совместная работа с централизованными сетями, совместимость с другими источниками возобновляемой энергетики и т.п.);

- минимальные сроки ввода мощностей в эксплуатацию;

- улучшение экологической обстановки за счет снижения уровня загрязнения окружающей среды.

### **Принцип действия и классификация ВЭУ**

В ветроэнергетических установках энергия ветра преобразуется в механическую энергию их рабочих органов. Первичным и основным рабочим органом ВЭУ, непосредственно принимающим на себя энергию ветра и, как прави-

ло, преобразующим ее в кинетическую энергию своего вращения, является **ветроколесо**.

Вращение ветроколеса под действием ветра обуславливается тем, что в принципе на любое тело, обтекаемое потоком газа со скоростью  $u_0$ , действует сила  $F$ , которую можно разложить на две составляющие: 1 - вдоль скорости набегающего потока, называемую силой лобового сопротивления  $F_C$ , и 2 - в направлении, перпендикулярном скорости набегающего потока, называемую подъемной силой  $F_n$  (рис. 1).

Величины этих сил зависят от формы тела, ориентации его в потоке газа и от скорости газа. Действием этих сил рабочий орган ветроустановки (ветроколесо) приводится во вращение.

Ветроустановки классифицируются по двум основным признакам:

- геометрии ветроколеса;
- его положению относительно направления ветра (рис. 1, 2).

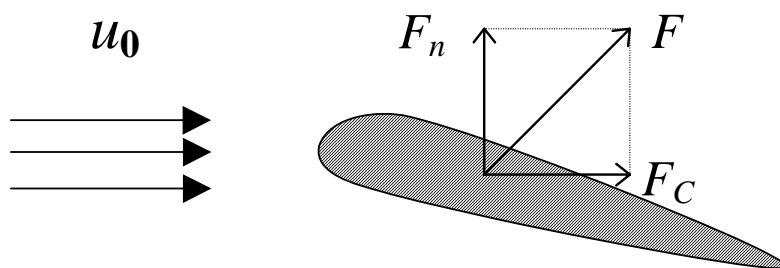


Рис. 1. Силы, действующие на тело, обтекаемое потоком газа

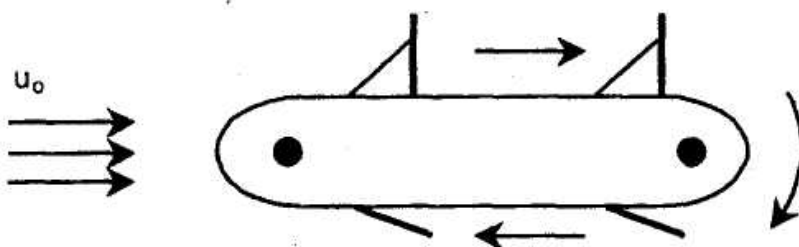
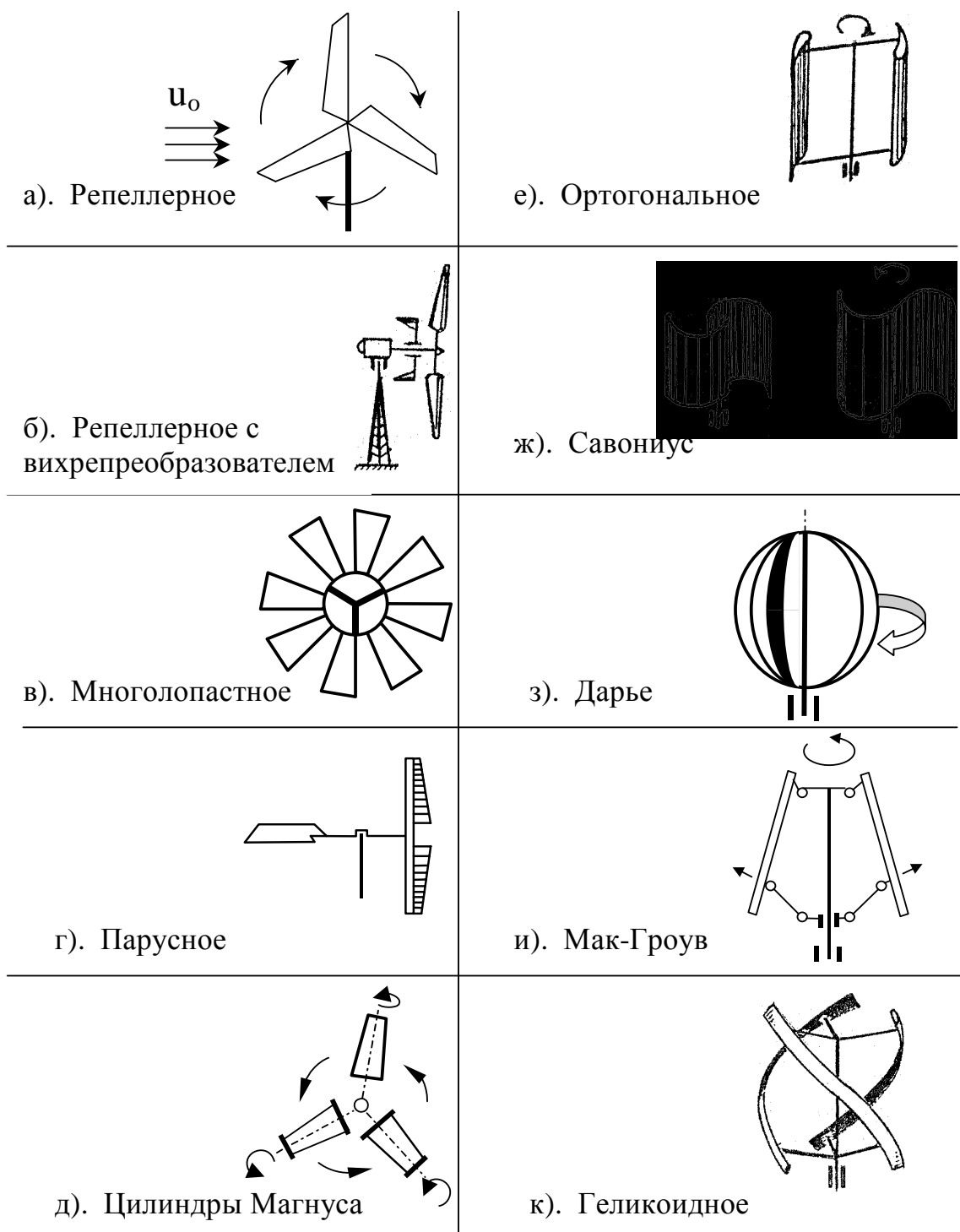


Рис. 2. Принципиальная схема ветроустановки, использующей силу лобового сопротивления и состоящей из укрепленных на перемещающемся ремне откидывающихся пластин.

Если ось вращения ветроколеса параллельна воздушному потоку, то установка называется горизонтально-осевой, если перпендикулярна - вертикально-осевой.

Ветроколеса с горизонтальной осью вращения, использующее подъемную силу (двух- или трехлопастное ветроколесо), показаны на рис. 3 (а, б, в, г). Эти установки (лифт-машины) имеют линейную скорость концов лопастей, существенно большую скорости ветра.



**Рис. 3. Типы ветроколес**

Ветроколеса, использующие силу лобового сопротивления (драг-машины), состоят из укрепленных вертикально, относительно оси вращения, лопастей различной конфигурации (рис.2 и 3 е, ж, з, и, к). Они, как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра.

На рис. 3д представлено ветроколесо, использующее эффект Магнуса (эффект возникновения подъемной силы, перпендикулярной направлению ветра, при вращении цилиндра или конуса).

Каждое ветроколесо характеризуется:

- *ометаемой площадью*  $S$ , т.е. площадью, покрываемой его лопастями при вращении, и равной (для горизонтально-осевых ветроколес)  $S = \pi D^2/4$ , где  $D$  - диаметр ветроколеса, либо *площадью лобового сопротивления* (для вертикально-осевых ветроколес)  $S = h b$ , где  $h$  и  $b$  – соответственно высота ротора и его средний диаметр;

- *геометрическим заполнением*, равным отношению площади проекции лопастей на плоскость, перпендикулярную потоку, к ометаемой площади (так, например, при одинаковых лопастях четырехлопастное колесо имеет вдвое большее геометрическое заполнение, чем двухлопастное);

- *коэффициентом мощности*  $C_p$ , характеризующим эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и зависящим от конструкции ветроколеса;

- *коэффициентом быстроходности*  $Z$ , представляющим собой отношение скорости конца лопасти к скорости ветра.

При скорости ветра  $u_0$  и плотности воздуха  $\rho$  ветроколесо с ометаемой площадью  $S$  развивает мощность  $P = C_p \cdot S \cdot \rho \cdot u_0^3 / 2$ .

Из этой формулы видно, что эта мощность пропорциональна кубу скорости ветра.

По теории Н. Жуковского максимальное значение коэффициента мощности 0,6-0,69. На практике лучшие быстроходные колеса имеют  $C_p \sim 0,45-0,48$ ; у тихоходных колес  $C_p \sim 0,35-0,38$ .

ВЭУ с большим геометрическим заполнением ветроколеса развивают значительную мощность при относительно слабом ветре и максимум мощности достигается при небольших оборотах колеса. ВЭУ с малым заполнением достигают максимальной мощности при больших оборотах и дольше выходят на этот режим. Поэтому первые используются, например, в водяных насосах и даже при слабом ветре сохраняют работоспособность, а вторые - в качестве электрогенераторов, где требуется высокая частота вращения.

### Экспериментальная установка

Работа выполняется на аэродинамической трубе 1 (рис. 4). В трубе воздушный поток создается осевым вентилятором (на рисунке не показан). Величина скорости потока в трубе регулируется изменением тока питания вентилятора. Скорость воздушного потока в рабочей области трубы определяется с помощью трубки Пито-Прандтля 2 и микроманометра 3. В рабочую зону трубы 1 установлено ветроколесо 4 с электрическим генератором 5. К генератору под-

ключена нагрузка 6. В цепь нагрузки подключены также вольтметр 7 и амперметр 8.

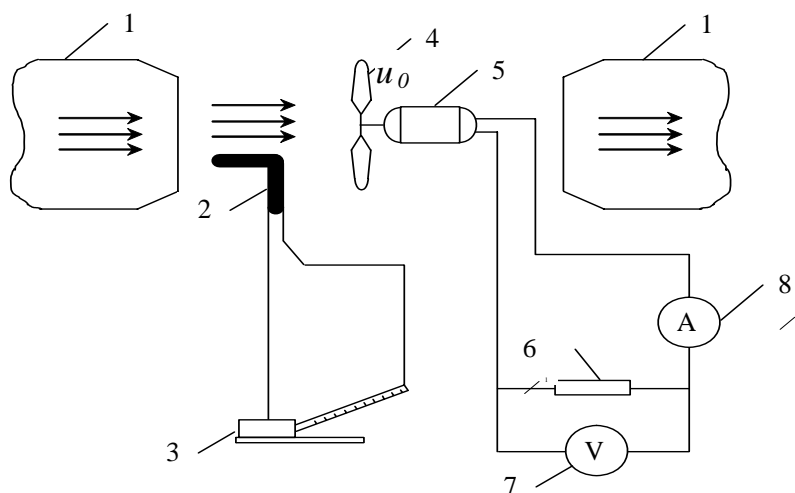


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с разными типами ветряных колес.
2. Устанавливается репеллерное ветроколесо.
3. Включается блок питания аэродинамической трубы и устанавливается необходимое значение скорости воздушного потока в рабочей зоне.
4. С помощью трубки Пито-Прандтля измеряется значение скорости воздушного потока  $u_0$ . по показаниям микроманометра  $l$ , значения которого заносятся в табл. 1.
5. Измеряется напряжение  $U$ , создаваемое электрическим генератором, и ток  $I$  в нагрузке 6.
6. Последовательно изменяя величины скорости воздушного потока в аэродинамической трубе, производим все вышеперечисленные измерения.
7. Заменяется репеллерное ветроколесо на ветроколесо савониус и выполняются все измерения, описанные в пп. 3-6.

Таблица 1

Тип ветроколеса	№ опыта	Показания микроманометра	$u_0$ , м/с	Параметры генератора ветроустановки			$C_p$
		$l - l_0$ , м		$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	
репеллер	1						
	2						
	3						
	4						
савониус	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

## Обработка экспериментальных данных

1. Скорость потока воздуха  $u_0$  вычисляется по формуле

$$u_0 = \sqrt{2g \frac{\rho_{жс}}{\rho_в} K(l - l_0)},$$

где  $\rho_{жс}$  - плотность спирта в микроманометре ( $\rho_{жс} = 809,5 \text{ кг/м}^3$ );

$\rho_в$  - плотность воздуха ( $\rho_в = 1,2 \text{ кг/м}^3$ );

$l - l_0$  - разность показаний микроманометра, м;

$K$  - синус угла наклона трубки микроманометра  $K = 0,2$ .

2. Определить ометаемую площадь для репеллерного ветроколеса по формуле

$$S = \pi \cdot D^2 / 4, \text{ где } D - \text{ диаметр ветроколеса } (D = 0,17 \text{ м}).$$

Площадь лобового сопротивления для вертикально-осевых ветроколес савониус равна  $S = h \cdot b = 0,012 \text{ м}^2$ .

3. Вычислить электрическую мощность генератора  $P = U \cdot I$ .

4. Определить коэффициент мощности ветроколеса.  $C_p = 2 \cdot P / (S \cdot \rho \cdot u_0^3)$ .

5. Сравнить коэффициенты мощности различных типов ветроколес при разных скоростях воздушного потока. Провести анализ полученных результатов и построить графики зависимости  $C_p$  от  $u_0$ .

6. Исходные данные, необходимые для расчета коэффициента мощности различных типов ветроколес, приведены в табл. 2.

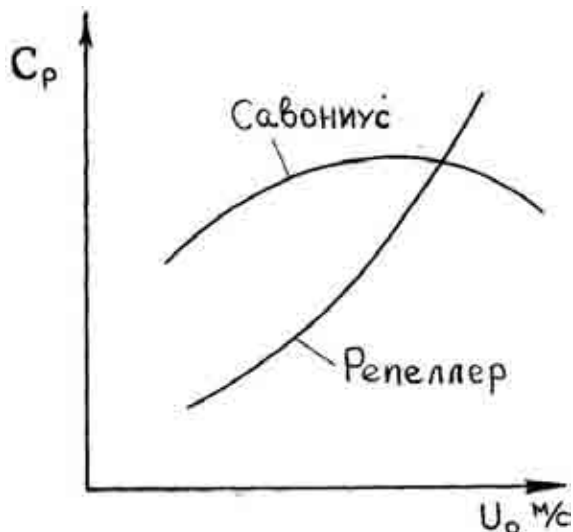


Рис. 5. График зависимости коэффициента мощности  $C_p$  от скорости воздушного потока  $u_0$ .

## Исходные данные

Параметры	№ Ва- риан- та	Тип ветроколеса									
		Репеллер				Савониус					
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	
Показания микроманометра $l - l_o$ , мм	I	8	15	20	25	5	10	13	19	25	
	II	9	14	21	26	6	11	14	18	26	
	III	10	15	22	27	7	10	15	20	27	
	IV	9	14,5	21	28	6	12	14,5	19	28	
	V	10	16	23	29	8	13	16	22	29	
Параметры Генератора ветроколеса	U, В	I	4,1	9,5	12,2	19,5	3,4	7,1	8,1	10,8	12,8
		II	4,2	10	12,6	20	3,6	7,6	8,5	11	13,1
		III	4,5	9,8	12,9	22	3,8	7,1	9	11,5	13,4
		IV	4,25	10	12,7	23,5	3,65	8,1	8,7	10,9	13,9
		V	4,52	11	17	25	4,1	8,2	9,5	12,1	14,5
	I, мА	I	9,5	20	26	41,5	7,5	15,5	17,5	23	27,5
		II	10	19	27,5	45	8	16,5	19	22,7	28,5
		III	11	20,5	30,5	47,5	9	16	19,5	23	29,5
		IV	10	20	27,5	53	8,5	17	20	23,5	30,5
		V	11	23	33,5	60,5	9,5	18	22,5	26,5	33

## Тема 5. Изучение потерь энергии при транспортировании жидкостей и газов по трубопроводу.

**Ключевые понятия:** трубопровод, расход энергии на транспортирование, объемный расход, потери энергии, потери давления, напора, вязкость, гидравлические потери, потери напора по длине, местные потери, коэффициент гидравлического трения, коэффициент местного сопротивления, пьезометр.

### Цель работы:

1. Ознакомиться с методами транспортирования жидкостей и газов по трубопроводу и основными затратами энергии на транспортировку.
2. Изучить основные методы снижения потерь энергии при транспортировании жидкостей и газов по трубопроводам.
3. Исследовать потери энергии на транспортирование жидкостей и газов по сложному трубопроводу, включающему в себя магистральный трубопровод и участки с резким изменением геометрии потока.

### Содержание работы

1. Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.
2. На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчеты.
3. Внеаудиторная работа предполагает дополнительную проработку теоретических вопросов, а также доработку и оформление результатов практических занятий.

### Общие сведения

Транспортирование текучих сред (жидкостей и газов) по трубопроводам осуществляется с помощью нагнетательных устройств (насосов, вентиляторов и т.п.). Для того, чтобы перемещать текучую среду, нагнетательное устройство должно затрачивать некоторую энергию. Оказывается, эта энергия зависит не только от физических свойств текучей среды, но и от характеристик трубопроводной системы. Эксплуатационные расходы энергии на транспортирование можно существенно сократить за счет выбора оптимальной геометрии трубопроводной системы, что может быть реализовано только после изучения основных закономерностей течения жидкостей и газов по трубопроводам.

Поток жидкости либо газа можно характеризовать **объемным расходом**  $Q$  ( $m^3/c$ ) и средней по сечению трубы **скоростью**  $V$  ( $m/c$ ). Расход является одной из основных характеристик потоков жидкости либо газа. **Расходом** называется количество жидкости или газа, которое перемещается через поперечное сечение трубопровода в единицу времени. Расход и скорость связаны между собой соотношением  $Q = VS$ , где  $S$  - площадь поперечного сечения трубы ( $m^2$ ).

При движении реальных жидкостей и газов часть механической энергии движения необратимо превращается в тепловую. Эта часть энергии называется **потерей энергии**  $\Delta E$ . Потери энергии обусловлены существованием сил вязкого трения в жидкостях и газах, т.е. вязкости. С потерями энергии связаны **потери давления**  $\Delta p_{пот} = \rho \Delta E$  и **потери напора**  $\Delta h_{пот} = \Delta p_{пот} / \rho g = \Delta E / g$ , где  $\rho$  - плотность жидкости либо газа;  $g$  - ускорение свободного падения. Потери давления  $\Delta p_{пот}$  измеряются в  $Па$ , потери напора  $\Delta h_{пот}$  - в  $м$ .

Существование сил вязкости приводит к затратам энергии на перемещение текучих сред. Часть мощности, затрачиваемая нагнетательным устройством на транспортирование по трубопроводу текучих сред с расходом  $Q$ , определяется выражением

$$N = \Delta p_{пот} Q, Вт.$$

Гидравлические потери давления (напора) обычно делят на два вида. Первый вид представляет собой **потери давления на трение**  $\Delta p_{тр}$  при стабилизированном движении жидкости в длинных трубах. Эти потери равномерно распределяются по всей длине трубы. Потери второго вида ( $\Delta p_{м}$ ) сосредоточены на сравнительно коротких участках трубопроводов и вызываются местными изменениями конфигурации канала. Эти сопротивления называются **местными**. Примерами местных сопротивлений могут служить участки резкого расширения и сужения трубопровода, места слияния и разделения потоков, различного рода трубопроводная аппаратура (вентили, клапаны, задвижки, дроссели и т.п.). Характерной особенностью движения жидкости через местные сопротивления является образование вихрей в потоке, что вызывает значительные потери энергии (давления, напора).

Таким образом, полные потери давления и напора определяются выражениями:

$$\Delta p_{пот} = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м};$$

$$\Delta h_{пот} = \Delta h_{тр} + \Delta h_{м}.$$

Потери напора по длине для случая установившегося движения жидкости по трубопроводу круглого сечения определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta h_{тр} = \lambda \frac{l v^2}{d 2g},$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлического трения (коэффициент потерь напора по длине);

$l$  - длина рассматриваемого участка трубы, м;

$d$  - диаметр трубопровода, м;

$V$  - средняя скорость движения жидкости, м/с.

Из формулы видно, что величина потерь напора по длине возрастает с увеличением скорости потока, длины трубы и уменьшается с увеличением диаметра трубопровода.

Местные потери определяются по формуле

$$\Delta h_M = \zeta \frac{V^2}{2g},$$

где  $\zeta$  - коэффициент местного сопротивления.

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  зависит от режима течения жидкости и шероховатости трубы. Эта зависимость называется законом сопротивления.

Коэффициент местного сопротивления  $\zeta$  также зависит от режима течения и от вида и конструктивного исполнения местного сопротивления.

Сравнительный анализ различных гидравлических сопротивлений показывает, что потери энергии значительно возрастают при резком изменении диаметра трубы, при резких поворотах и т.п.

Значения коэффициентов сопротивления, как правило, определяются опытным путем и в обобщенном виде содержатся в справочниках в виде эмпирических формул, таблиц, графиков. В приложении к работе приведены некоторые данные по гидравлическим сопротивлениям.

**Основные методы снижения потерь энергии** при транспортировании жидкостей и газов по сложным трубопроводам:

- использование труб с гладкой внутренней поверхностью;
- обеспечение плавных поворотов потока;
- установка в трубопроводы устройств, обеспечивающих плавное изменение поперечного сечения потока жидкости;
- устройство плавных входов и выходов из труб;
- разогрев при перекачивании высоковязких жидкостей;
- введение полимерных добавок в поток жидкости.

### Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рис. 1. Вода из напорного бака 1 проходит последовательно через входной вентиль 2, магистральный трубопровод 3, участка трубопровода с резким 4 и плавным 5 поворотами, резким расширением 6 и резким сужением 7, диафрагму 8 и сливается в бак 10. Расход воды регулируется вентилем 9 и определяется по перепаду давления на диафрагме 8 с помо-

щью тарифовочного графика. Уровень в баке 1 поддерживается постоянным с помощью насоса 11.

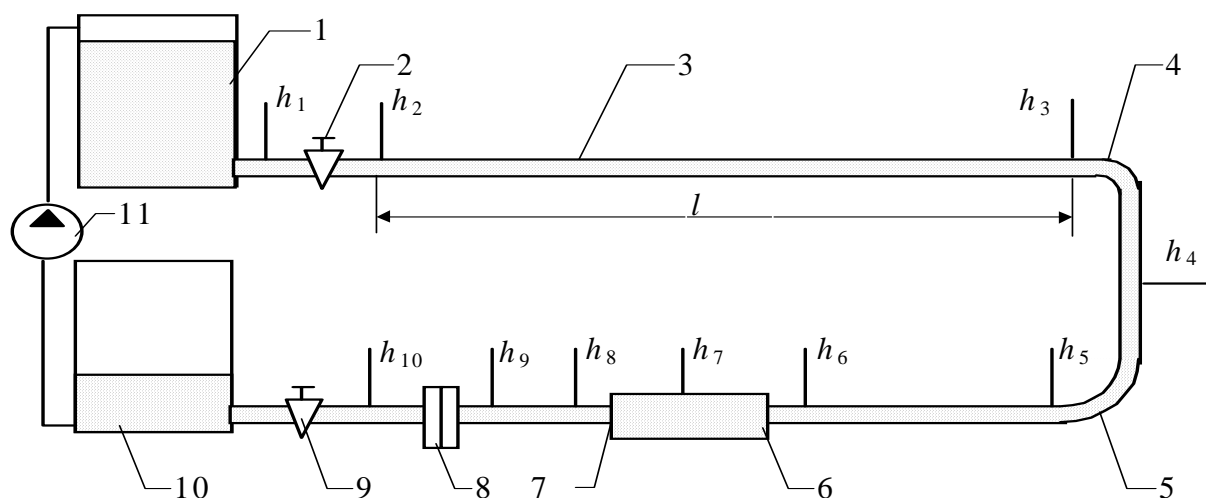


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

Длина магистрального участка трубопровода  $l = 1,7$  м; диаметр  $d = 1,6 \cdot 10^{-2}$  м; плотность воды -  $1000$  кг/м<sup>3</sup>

Пьезометрический напор в жидкости на различных участках трубопровода определяется по показаниям пьезометрических трубок  $h_1 - h_{10}$ , выведенных на общий щит и установленных на исследуемых участках трубопровода.

### Порядок выполнения работы

1. Включается водяной насос 11 и заполняется напорный бак 1.
2. После заполнения напорного бака открывается запорный кран 2 и с помощью расходного крана 9 устанавливается требуемое значение расхода воды. Величина расхода определяется по разности  $\Delta h_{9,10}$  показаний пьезометров  $h_9$  и  $h_{10}$  ( $\Delta h_{9,10} = h_9 - h_{10}$ ) и тарифовочному графику.
3. При данном значении расхода снимаются показания всех пьезометров и эти значения заносятся в табл. 1.
4. Изменяют расход жидкости и новые показания всех пьезометров заносятся в табл. 1.
5. Исходные данные, необходимые для выполнения расчетов, приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 1

№ опыта	Показания пьезометров									
	$h_1,$ мм	$h_2,$ мм	$h_3,$ мм	$h_4,$ мм	$h_5,$ мм	$h_6,$ мм	$h_7,$ мм	$h_8,$ мм	$h_9,$ мм	$h_{10},$ мм
1										
2										
3										

### Обработка экспериментальных данных

1. Определить потери напора на отдельных участках трубопровода, например,  $\Delta h_{1,2} = h_1 - h_2$ . Данные занести в табл. 2.

2. По перепаду напора на диафрагме 8  $\Delta h_{9,10} = h_9 - h_{10}$  определить расход воды для всех 3-х опытов по выражению

$$Q = (53,5 + 0,1495 \cdot \Delta h_{9,10}) \cdot 10^{-6}, \quad \text{м}^3/\text{с}.$$

Полученные данные занести в табл. 2.

3. Средняя скорость воды в трубопроводе определяется по выражению

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}.$$

4. Для каждого значения скорости потока вычислить потери напора по длине  $\Delta h_{2,3} = h_2 - h_3$  и на отдельных участках трубопровода (местных сопротивлений) в соответствии с табл. 2.

5. Мощность, затрачиваемая на преодоление каждого из гидравлических сопротивлений, определяется по выражению  $N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h_{\text{пот}}$ .

6. Определить суммарную мощность, затрачиваемую на транспортирование жидкости по трубопроводу

$$N_c = N_{1,2} + N_{2,3} + N_{3,4} + N_{4,5} + N_{6,7} + N_{7,8} + N_{9,10}.$$

Полученные данные занести в табл. 2.

7. Провести сравнительный анализ потерь энергии на каждом из участков сложного трубопровода. Обратит внимание на влияние скорости течения на потери энергии.

8. По результатам расчетов построить график зависимости мощности  $N_c$ , затрачиваемой на транспортирование жидкости по трубопроводу от скорости  $V$  протекания жидкости.

Таблица 2

№ опыта		1	2	3
Расход $Q, \text{ м}^3/\text{с}$				
Средняя скорость $V, \text{ м/с}$				
Входной вентиль	$\Delta h_{1,2},$ $\text{ м}$			
	$N_{1,2},$ $\text{ Вт}$			
Магистраль- ный трубопровод	$\Delta h_{2,3},$ $\text{ м}$			
	$N_{2,3},$ $\text{ Вт}$			
Резкий пово- рот на $90^\circ$	$\Delta h_{3,4},$ $\text{ м}$			
	$N_{3,4},$ $\text{ Вт}$			
Плавный поворот на $90^\circ$	$\Delta h_{4,5},$ $\text{ м}$			
	$N_{4,5},$ $\text{ Вт}$			
Резкое расширение	$\Delta h_{6,7},$ $\text{ м}$			
	$N_{6,7},$ $\text{ Вт}$			
Резкое сужение	$\Delta h_{7,8},$ $\text{ м}$			
	$N_{7,8},$ $\text{ Вт}$			
Диафрагма	$\Delta h_{9,10},$ $\text{ м}$			
	$N_{9,10},$ $\text{ Вт}$			
Суммарные потери мощности	$N_c, \text{ Вт}$			

Таблица 3

## Исходные данные

№ Варианта	№ Опыта	Показания пьезометров									
		$h_1$ мм	$h_2$ мм	$h_3$ мм	$h_4$ мм	$h_5$ мм	$h_6$ мм	$h_7$ мм	$h_8$ мм	$h_9$ мм	$h_{10}$ мм
I	1	1340	1305	1110	1075	1070	1060	1060	1040	995	90
	2	1370	1350	1220	1205	1200	1190	1190	1180	1150	550
	3	1400	1380	1290	1275	1270	1265	1265	1255	1235	835
II	1	1355	1318	1125	1093	1090	1080	1080	1060	1015	90
	2	1380	1362	1230	1208	1205	1195	1195	1185	1155	540
	3	1405	1387	1305	1283	1276	1271	1271	1260	1240	825
III	1	1365	1330	1135	1100	1095	1085	1085	1066	1020	80
	2	1390	1370	1240	1215	1210	1200	1200	1190	1160	530
	3	1410	1395	1310	1290	1285	1280	1280	1270	1250	825
IV	1	1370	1337	1140	1102	1100	1090	1090	1070	1025	70
	2	1400	1382	1250	1222	1220	1210	1210	1202	1172	527
	3	1415	1398	1311	1293	1288	1283	1283	1275	1255	820
V	1	1375	1340	1145	1110	1105	1095	1095	1075	1030	60
	2	1405	1385	1255	1230	1225	1215	1215	1205	1175	515
	3	1420	1405	1320	1300	1292	1287	1287	1285	1265	815

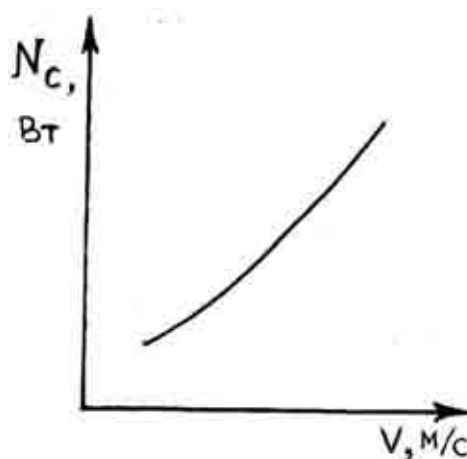


Рис. 2. График зависимости потерь мощности при транспортировании жидкости по трубопроводу от скорости жидкости.

## Тема 6. Исследование работы трансформатора тепла (теплового насоса).

**Ключевые понятия:** тепловой насос, теплоснабжение, низкопотенциальное тепло, отопительный коэффициент цикла, испаритель, хладагент, конденсатор, сухой насыщенный пар, влажный насыщенный пар, избыточное и абсолютное давление, удельная работа цикла.

### Цель работы:

1. Ознакомится с перспективами использования тепловых насосов в целях теплоснабжения.
2. Изучить устройство и цикл работы теплового насоса.
3. Определить количество низкопотенциальной теплоты, отбираемой из окружающей среды  $Q_2$  и количество теплоты, передаваемой в систему отопления помещения  $Q_1$ .
4. Определить отопительный коэффициент цикла  $\varepsilon$ .

### Содержание работы

1. Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.
2. На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчеты.
3. Внеаудиторная работа предполагает дополнительную проработку теоретических вопросов, а также доработку и оформление результатов практических занятий.

### Общие сведения

Альтернативой традиционным способам теплоснабжения, основанным на сжигании топлива, является выработка тепла с помощью теплового насоса.

Независимо от типа теплового насоса и типа привода компрессора на единицу затраченного исходного топлива потребитель получает по крайней мере в 1,1-2,3 раза больше тепла, чем при прямом сжигании топлива.

Такая высокая эффективность производства тепла достигается за счет того, что тепловой насос вовлекает в полезное использование низкопотенциальное тепло естественного происхождения (тепло грунта, природных водоемов, грунтовых вод) и техногенного происхождения (промышленные стоки, очист-

ные сооружения, вентиляция и т.д.) с температурой от +3 до +40 °С, т.е. такое тепло, которое не может быть напрямую использовано для теплоснабжения.

Естественно, что тепловые насосы довольно интенсивно вытесняют традиционные способы теплоснабжения, основанные на сжигании органического топлива.

Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. 75 % теплоснабжения (коммунального и производственного) в развитых странах будет осуществляться с помощью тепловых насосов.

Этот прогноз успешно подтверждается. В настоящее время в мире работает 15–18 млн. тепловых насосов различной мощности – от нескольких киловатт до сотен мегаватт. В США более 30 % жилых домов оборудованы тепловыми насосами. В Швеции с 1984 г. по 1986 г. введены в эксплуатацию 74 крупные (от 5 до 80 МВт) теплонасосные станции. Наиболее крупной теплонасосной установкой является стокгольмская установка мощностью 320 МВт, работающая на принципе охлаждения воды, поступающей из Балтийского моря. Эта установка, расположенная на причаленных к берегу баржах, использует и зимой морскую воду с температурой 4 °С, охлаждая ее до 2 °С. Себестоимость тепла от этой установки на 20 % ниже себестоимости тепла, получаемого от газовой котельной. Общее количество тепла, вырабатываемого теплонасосными установками в Швеции, составляет около 50 % от потребного.

Результатом работы всякого холодильного цикла является охлаждение холодного источника и нагрев горячего за счет подвода внешней работы.

Кельвин (1852) предложил применить обратный цикл для целей отопления, используя его в качестве теплового насоса, который перекачивал бы теплоту, отобранную от холодного источника (внешней среды), в горячий источник.

Основное уравнение теплового баланса обратного цикла имеет вид:

$$q_1 = q_2 + L,$$

где  $q_2$  - удельная теплота, отбираемая от холодного источника,  $кДж/кг$  (низкопотенциальная теплота);

$q_1$  - удельная теплота, передаваемая горячему источнику,  $кДж/кг$  (теплота, передаваемая в систему отопления помещения);

$L$  - энергия, подводимая от внешнего источника,  $кДж/кг$ .

Эффективность работы теплового насоса оценивается коэффициентом преобразования  $\varepsilon$  или отопительным коэффициентом цикла, т.е. отношением теплоты, полученной телом, к энергии, подводимой от внешнего источника:

$$\varepsilon = q_1 / L.$$

Рабочий цикл теплового насоса представлен на рис. 1.

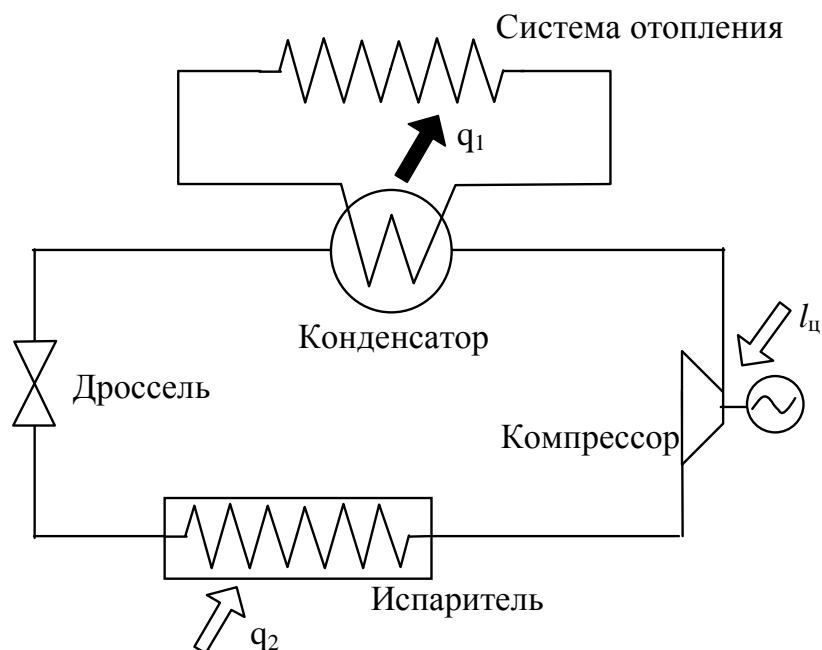


Рис. 1. Рабочий цикл теплового насоса

Низкопотенциальная теплота  $Q_2$  поступает в испаритель теплового насоса, где ее воспринимает рабочее тело (хладагент), циркулирующее в цикле. Источником низкопотенциальной теплоты может быть наружный воздух, природные водоемы, грунт, питьевая вода, промышленные стоки, вентиляционные выбросы и т.д. В качестве хладагентов в циклах используются теплоносители с низкой температурой кипения - углекислота, аммиак, фреоны. Хладагент поступает в испаритель в жидком состоянии. В процессе подвода теплоты  $Q_2$  к жидкому хладагенту происходит его превращение в пар (при постоянном давлении и температуре). Пары хладагента поступают в компрессор, где сжимаются, повышается их давление и температура. При сжатии в компрессоре от внешнего источника (электродвигателя) подводится работа  $L$ . Нагретые пары хладагента поступают в конденсатор, где отдают свое тепло  $Q_1$  в систему отопления помещения и за счет отдачи теплоты конденсируются (превращаются в жидкость) при постоянном давлении и температуре. Жидкий хладагент поступает в дроссель, где его давление падает до давления в испарителе, а температура снижается до температуры низкопотенциального источника. Цикл замыкается.

### Порядок выполнения работы

1. После включения установки в сеть и выхода ее на стационарный режим, о котором свидетельствует неизменность показаний манометров, измеряют с помощью манометров 6 давление за компрессором 1 и за дросселем 3 перед испарителем 4.

Одновременно измеряется атмосферное давление барометром и температура в помещении, где расположена установка.

### Экспериментальная установка

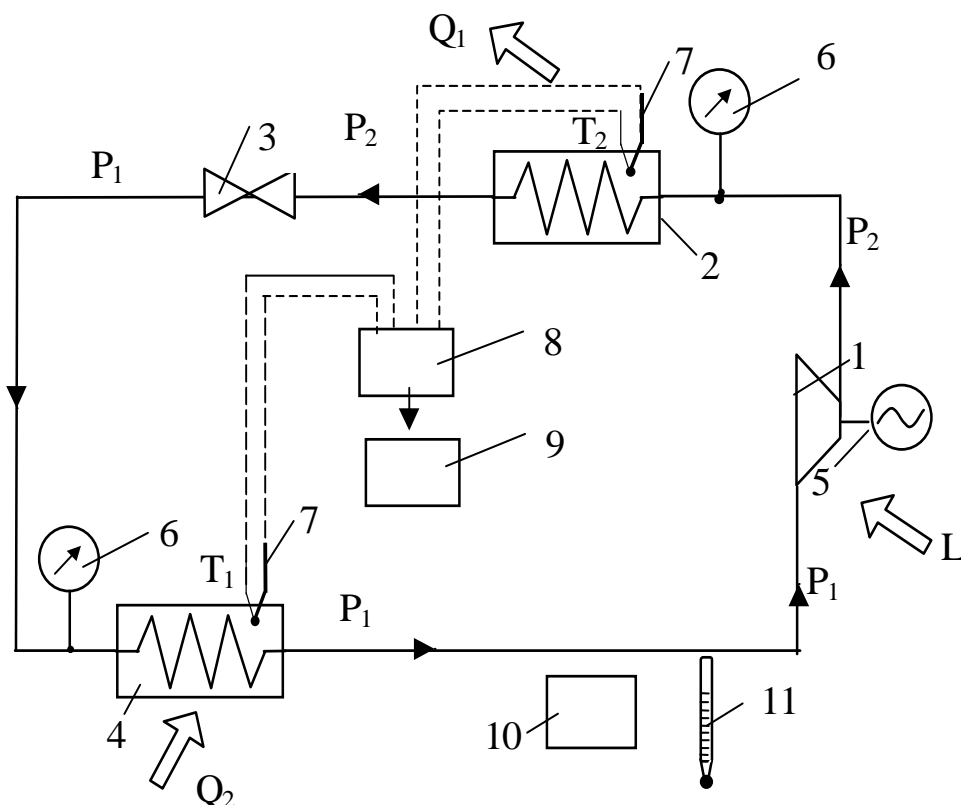


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка в себя включает: 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – дроссель; 4 – испаритель; 5 – электродвигатель; 6 – манометры; 7 – хромель-копелевые термопары; 8 – переключатель термопар; 9 – милливольтметр; 10 – барометр; 11 – термометр.

2. При помощи термопар и милливольтметра измеряется температура в конденсаторе и испарителе в милливольтках. Пользуясь градуировочной таблицей, переводят их значения в градусы Цельсия с учетом поправки на холодный спай термопар (к табличному значению температуры в °С прибавляют температуру окружающей среды).

3. Полученные данные заносят в табл. 1.

4. Исходные данные, необходимые для выполнения расчетов, приведены в табл. 3.

Таблица 1

№ пп	$P_{1\text{ман}}$ , ати	$P_{2\text{ман}}$ , ати	$P_1$ , МПа	$P_2$ , МПа	$t_1$ , мВ	$t_2$ , мВ	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$P_a$ , Па	$t_{\text{о с}}$ , °С
1										

Рассмотренный цикл теплового насоса в  $T, S$  -диаграмме выглядит следующим образом (рис. 3). (Координаты  $T$  - абсолютная температура, °К;  $S$  =

$dq/T$  - удельная энтропия - термодинамический параметр состояния,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ).

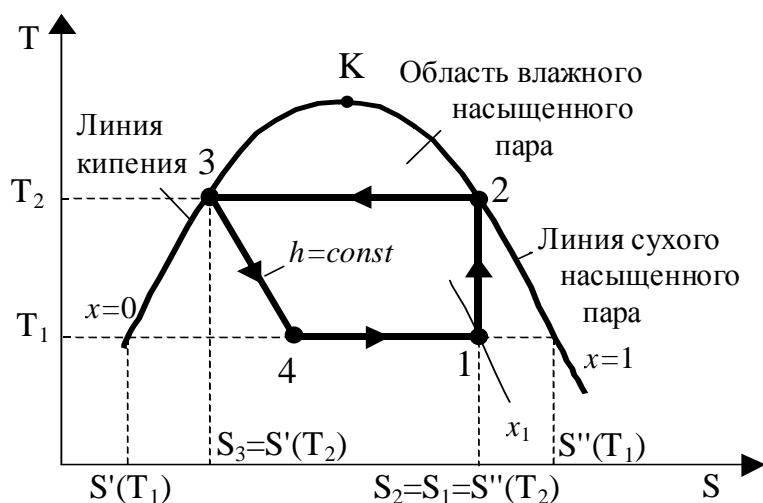


Рис.3. Цикл теплового насоса:

- 1-2 – адиабатное сжатие хладагента в компрессоре; 2-3 – отвод теплоты из конденсатора в систему отопления помещения ( $P_2 = \text{const}$ ,  $t_2 = \text{const}$ );  
 3-4 – дроселирование; 4-1 – подвод низкопотенциальной теплоты из окружающей среды к испарителю ( $P_1 = \text{const}$ ,  $t_1 = \text{const}$ )

В таблице термодинамических свойств хладагента (фреона-12) (см. приложение 2) параметры на линии кипения (нижней пограничной кривой) обозначены параметрами с одним штрихом ( $h'$ ,  $s'$ ); на линии сухого насыщенного пара (верхней пограничной кривой) - с двумя штрихами ( $h''$ ,  $s''$ ). Между линиями кипения и сухого насыщенного пара находится область влажного насыщенного пара. Степень сухости влажного насыщенного пара ( $X_1$ ) - отношение массы сухого насыщенного пара к массе влажного насыщенного пара. Значение  $X_1$  изменяется от 0 (кипящая жидкость) до 1 (сухой насыщенный пар).

По полученным значениям температур  $t_1$  и  $t_2$ , (смотри табл. 1) заполняется табл. 2, используя приложение 2.

Таблица 2

Параметры	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
Температура				
$t_1$				
$t_2$				

Величина  $h$  - удельная энтальпия,  $s$  - удельная энтропия – термодинамические параметры состояния.

## Методика расчета

Манометры измеряют избыточное давление (давление, превышающее атмосферное). Для определения абсолютного давления следует воспользоваться формулой

$$P = P_{\text{ман}} + P_a,$$

где  $P_a$  - атмосферное давление, измеренное барометром;

$P_{1,2 \text{ ман}}$  - избыточное давление в установке, измеряемое манометрами в атм.

Соответственно

$$P_1 = P_{1 \text{ ман}} 10^5 + P_a, \text{ Па};$$

$$P_2 = P_{2 \text{ ман}} 10^5 + P_a, \text{ Па}.$$

(1 МПа =  $10^6$  Па.)

Определив температуры  $t_1$  и  $t_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) и давления  $P_1$  и  $P_2$ , воспользуемся таблицей теплофизических свойств фреона-12 (см. приложение 2).

Из рис. 3 видно, что точка 2 лежит на линии сухого насыщенного пара:

$$h_2 = h''_{(t_2)}, \text{ кДж/кг};$$

$$s_2 = s''_{(t_2)}, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}.$$

Точка 3 лежит на линии кипения:

$$h_3 = h'_{(t_2)}, \text{ кДж/кг};$$

$$s_3 = s'_{(t_2)}, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}.$$

Процесс 3-4 - дросселирование,  $h = \text{const}$ , следовательно

$$h_4 = h_3, \text{ кДж/кг}.$$

Для того, чтобы найти параметры в точке 1, надо вначале найти степень сухости в этой точке. Это можно сделать исходя из

$$s_1 = s_2, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)};$$

$$X_1 = \frac{s_1 - s'_{(t_1)}}{s''_{(t_1)} - s'_{(t_1)}}.$$

Значение  $X_1$  находится в пределах 0,9...1 (для проверки). Тогда

$$h_1 = h''_{(t_1)} \cdot X_1 + h'_{(t_1)} \cdot (1 - X_1), \text{ кДж/кг}.$$

Удельное количество теплоты, отдаваемое конденсатором в систему отопления помещения:

$$q_1 = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг.}$$

Удельное количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю:

$$q_2 = h_1 - h_4, \text{ кДж/кг.}$$

Удельная работа цикла  $L_{\text{ц}} = q_1 - q_2 = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг.}$

В процессе дросселирования работа не производится, поэтому работа цикла равна работе компрессора. Мощность компрессора  $N = 0,200 \text{ кВт.}$

Расход хладагента  $G = N / L_{\text{ц}}, \text{ кг/с,}$  где  $N - \text{кВт}; L_{\text{ц}} - \text{кДж/кг.}$

Количество теплоты, отдаваемое конденсатором в систему отопления помещения:  $Q_1 = q_1 \cdot G, \text{ кВт.}$

Количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю:  $Q_2 = q_2 \cdot G, \text{ кВт.}$

Отопительный коэффициент  $\varepsilon = q_1 / L_{\text{ц}}.$

Значение отопительного коэффициента должно быть больше единицы, что показывает, что в систему отопления помещения отдано теплоты больше, чем затрачено работы в  $\varepsilon$  раз за счет использования низкопотенциальной теплоты наружного воздуха. Это следует отразить в выводах.

Таблица 3

## Исходные данные

№ Варианта	Показатели					
	$P_{1 \text{ ман ати}}$	$P_{2 \text{ ман ати}}$	$t_1$ мВ	$t_2$ мВ	$P_a$ Па	$t_{o,c}$ °C
I	0,85	10,5	- 1,4	2	101000	16
II	0,9	11,1	- 1,3	2,2	90000	20
III	0,81	10,2	- 1,48	1,9	97000	21
IV	0,93	11,7	- 1,6	2,6	118000	19
V	,97	12,1	- 1,7	2,8	93000	22

**Градуировочная таблица для термопар.  
Термопара «хромель-копель»**

Температура рабочего конца °С	ТермоЭДС, мВ, температура, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-90	-5,146	-5,196	-5,246	-5,296	-5,346	-5,396	-5,445	-5,494	-5,543	-5,592
-80	-4,634	-4,686	-4,738	-4,790	-4,841	-4,892	-4,943	-4,994	-5,045	-5,096
-70	-4,106	-4,160	-4,213	-4,266	-4,319	-4,372	-4,425	-4,478	-4,530	-4,582
-60	-3,562	-3,617	-3,672	-3,727	-3,782	-3,836	-3,890	-3,945	-3,999	-4,052
-50	-3,003	-3,059	-3,116	-3,172	-3,228	-3,284	-3,340	-3,396	-3,451	-3,507
-40	-2,429	-2,487	-2,545	-2,603	-2,660	-2,718	-2,775	-2,832	-2,889	-2,946
-30	-1,841	-1,901	-1,960	-2,019	-2,078	-2,137	-2,196	-2,254	-2,313	-2,371
-20	-1,240	-1,301	-1,361	-1,422	-1,482	-1,542	-1,602	-1,662	-1,722	-1,782
-10	-0,626	-0,688	-0,750	-0,812	-0,873	-0,935	-0,996	-1,057	-1,118	-1,179
0	0	-0,063	-0,126	-0,189	-0,252	-0,315	-0,377	-0,440	-0,502	-0,564
0	0	0,063	0,127	0,190	0,254	0,318	0,381	0,445	0,509	0,574
10	0,638	0,702	0,767	0,832	0,896	0,961	1,026	1,091	1,157	1,222
20	1,287	1,353	1,418	1,484	1,550	1,616	1,682	1,748	1,815	1,881
30	1,947	2,014	2,081	2,148	2,214	2,282	2,349	2,416	2,483	2,551
40	2,618	2,686	2,753	2,821	2,889	2,957	3,025	3,094	3,162	3,260
50	3,299	3,367	3,436	3,505	3,574	3,643	3,712	3,781	3,850	3,920
60	3,989	4,059	4,128	4,198	4,268	4,338	4,408	4,478	4,548	4,619
70	4,689	4,760	4,830	4,901	4,972	5,042	5,113	5,184	5,255	5,327
80	5,398	5,469	5,541	5,612	5,684	5,756	5,828	5,899	5,971	6,043
90	6,116	6,188	6,260	6,333	6,405	6,478	6,550	6,623	6,696	6,769
100	6,842	6,915	6,988	7,061	7,135	7,208	7,281	7,355	7,429	7,502
110	7,576	7,650	7,724	7,798	7,872	7,946	8,021	8,095	8,169	8,244
120	8,318	8,393	8,468	8,543	8,618	8,693	8,768	8,843	8,918	8,993
130	9,069	9,144	9,220	9,295	9,371	9,446	9,522	9,598	9,674	9,750
140	9,826	9,902	9,979	10,055	10,131	10,208	10,284	10,361	10,438	10,514
150	10,591	10,688	10,745	10,822	10,899	10,976	11,054	11,131	11,208	11,286
160	11,363	11,441	11,519	11,596	11,674	11,752	11,830	11,908	11,986	12,064
170	12,142	12,221	12,299	12,377	12,456	12,534	12,613	12,692	12,770	12,849
180	12,928	13,007	13,086	13,165	13,244	13,323	13,403	13,482	13,561	13,641
190	13,720	13,800	13,879	13,959	14,039	14,119	14,199	14,278	14,359	14,439

## Свойства насыщенных паров фреона-12

Температура		Давление абсолют- ное	Энтальпия		Теплота парообра- зования	Энтропия	
			жидкость	пар		жидкость	пар
$t$ ,	$T$ ,	$p$ ,	$h'$ ,	$h''$ ,	$r$ ,	$s'$ ,	$s''$ ,
°С	К	бар	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/(кг·К)	кДж/(кг·К)
1	2	3	4	5	6	7	8
-10	263,15	2,1910	409,47	568,89	159,39	4,15280	4,75859
-9	264,15	2,2700	410,39	569,32	158,93	4,15624	4,75809
-8	265,15	2,3520	411,27	569,78	158,51	4,15963	4,75759
-7	266,15	2,4353	412,19	570,24	158,05	4,16302	4,75704
-6	267,15	2,5215	413,11	570,74	157,63	4,16645	4,75658
-5	268,15	2,6088	414,03	571,21	157,17	4,16984	4,75612
-4	269,15	2,6999	414,95	571,67	156,71	4,17323	4,75562
-3	270,15	2,7928	415,87	572,13	156,25	4,17663	4,75516
-2	271,15	2,8870	416,84	572,63	155,79	4,18006	4,75478
-1	272,15	2,9857	417,76	573,09	155,33	4,18341	4,75432
0	273,15	3,0857	418,68	573,55	154,87	4,18680	4,75394
1	274,15	3,1882	419,60	574,01	154,41	4,19019	4,75348
2	275,15	3,2934	420,56	574,47	153,91	4,19354	4,75302
3	276,15	3,4006	421,49	574,93	153,45	4,19693	4,75265
4	277,15	3,5112	422,45	575,39	152,94	4,20028	4,75227
5	278,15	3,6244	423,37	575,85	152,48	4,20363	4,75189
6	279,15	3,7398	424,33	576,31	151,98	4,20702	4,75152
7	280,15	3,8587	425,30	576,77	151,48	4,21037	4,75118
8	281,15	3,9797	426,22	577,19	150,98	4,21372	4,75080
9	282,15	4,1044	427,18	577,65	150,47	4,21707	4,75043
10	283,15	4,2301	428,14	578,11	149,97	4,22042	4,75013
11	284,15	4,3606	429,14	578,53	149,43	4,22377	4,74976
12	285,15	4,4354	430,07	578,99	148,92	4,22712	4,74946
13	286,15	4,6296	431,03	579,41	148,38	4,23043	4,74909
14	287,15	4,7681	431,99	579,83	147,84	4,23378	4,74875
15	288,15	4,9108	433,00	580,33	147,33	4,23708	4,74842
16	289,15	5,0553	433,96	580,71	146,75	4,24043	4,74812
17	290,15	5,2041	434,92	581,17	146,24	4,24378	4,74783
18	291,15	5,3549	435,93	581,59	145,65	4,24709	4,74750
19	292,15	5,5086	436,89	582,01	145,11	4,25040	4,74720
20	293,15	5,6669	437,90	582,47	144,57	4,25371	4,74691
21	294,15	5,5883	438,86	582,84	143,98	4,25705	4,74662
22	295,15	5,9930	439,87	583,26	143,40	4,26036	4,74633
23	296,15	6,1610	440,83	583,64	142,81	4,26363	4,74604
24	297,15	6,3335	441,83	584,06	142,23	4,26694	4,74575
25	298,15	6,5080	442,84	584,52	141,68	4,27024	4,74549
26	299,15	6,6857	443,84	584,90	141,05	4,29993	4,74519
27	300,15	6,8666	444,85	585,27	140,43	4,27686	4,74486
28	301,15	7,0542	445,85	585,69	139,84	4,28012	4,74457
29	302,15	7,2435	446,86	586,07	139,21	4,28339	4,74427
30	303,15	7,4344	447,86	586,49	138,62	4,28674	4,74406
31	304,15	7,6321	448,87	586,82	137,96	4,29000	4,74369
32	305,15	7,8352	449,87	587,20	137,33	4,29327	4,74339
33	306,15	8,0417	450,88	587,58	136,70	4,29649	4,74306
1	2	3	4	5	6	7	8

34	307,15	8,2461	451,92	587,95	136,03	4,29980	4,74281
35	308,15	8,4596	452,93	588,29	135,36	4,30311	4,74251
40	313,15	9,5818	458,08	590,09	132,01	4,31940	4,74097
45	318,15	10,810	463,31	591,72	128,41	4,33568	4,73933
50	323,15	12,147	468,54	593,10	124,56	4,35189	4,73741
55	328,15	13,600	474,16	595,07	120,91	4,36876	4,73728
60	333,15	15,182	479,68	596,58	116,90	4,38509	4,73850
65	338,15	16,883	485,33	597,96	112,63	4,40142	4,73452

## Тема 7. Исследование сравнительных характеристик электрических источников света

**Ключевые понятия:** электрические источники света, энергетическая освещенность, тепловое излучение, люминесцентное излучение, лампа накаливания, галогеновая лампа, газоразрядные лампы, световая отдача.

### Цель работы

1. Изучить устройство и принцип действия наиболее распространенных типов электрических источников света.
2. Ознакомиться с важнейшими параметрами источников электрического света.
3. Провести сравнительную оценку, на основе экспериментальных данных, работу ламп накаливания и люминесцентных ламп.

### Содержание работы

1. Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.
2. На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчеты.
3. Внеаудиторная работа предполагает дополнительную проработку теоретических вопросов, а также доработку и оформление результатов практических занятий.

### Общие сведения

Свет представляет собой электромагнитные волны длиной  $4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-7}$  м. Электрические волны излучаются при ускоренном движении заряженных частиц. Для того чтобы атом или молекула начали излучать, им необходимо передать определенное количество энергии. Излучая, они теряют полученную энергию, поэтому для непрерывного свечения необходим постоянный приток энергии извне.

**Поток излучения  $\Phi_{изл}$**  – энергия, переносимая электромагнитными волнами за 1 секунду через произвольную поверхность. Единица измерения потока излучения - Дж/с = Вт.

**Энергетическая освещенность  $E_{эн}$**  (плотность потока излучения) – отношение потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Единица измерения энергетической освещенности - Вт/м<sup>2</sup>.

**Световой поток  $\Phi$**  – поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. Человеческий глаз неодинаково чувствителен к потокам света с различными длинами волн (наиболее чувствителен глаз при дневном освещении к свету с длиной волны 555 нм). Единицей измерения светового потока с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен  $4,6 \cdot 10^{-3} \text{Вт}$  ( $1 \text{Вт} = 217 \text{лм}$ ).

**Освещенность  $E$**  – отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Измеряется в люксах (лк), где люкс – освещенность, при которой на  $1 \text{ м}^2$  поверхности равномерно распределен световой поток в 1 люмен.

Освещенность поверхности прямо пропорциональна световому потоку и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника.

**Тепловое излучение** – наиболее распространенный вид излучения. При этом потери атомами или молекулами энергии на излучение света компенсируются за счет энергии их теплового движения. Чем выше температура тела, тем быстрее движутся атомы или молекулы. При столкновении друг с другом часть их кинетической энергии превращается в энергию возбуждения, которая затем превращается в световую.

**Люминесцентное излучение** исходит из сравнительно небольшого числа центров люминесценции – атомов, молекул или ионов, приходящих в возбужденное состояние под воздействием внешних причин, а затем, при переходе возбужденного центра на более низкий энергетический уровень, испускающих квант люминесцентного излучения. Вещества, в которых происходит люминесценция, называются люминофорами.

### Электрические источники света, их конструкции и параметры

Электрическими источниками света являются **лампы накаливания** и **газоразрядные** (люминесцентные, низкого и высокого давления).

Важнейшими характеристиками ламп являются:

- номинальное напряжение;
- потребляемая мощность;
- световой поток (мощность видимого излучения, измеряемая в люменах);
- средний срок службы.

Экономичность лампы оценивают **световой отдачей** — значением светового потока, приходящегося на единицу мощности лампы (лм/Вт). Для ламп накаливания световая отдача составляет 7—19 лм/Вт, для люминесцентных — 40—80 лм/Вт.

**Лампа накаливания** была изобретена А.Н. Лодыгиным в 1873 г. До сих пор нет устройства с подобным спектром излучения. По этой причине наблюдается широкое применение ламп накаливания. Принцип действия ламп накаливания основан на вышеописанном тепловом излучении. Использование

этого принципа обуславливает основные недостатки ламп накаливания, а именно:

- низкий КПД (около 2 %), так как подавляющая часть потребляемой электроэнергии этими лампами преобразуется не в световую, а в тепловую энергию;

- низкий срок службы, который в среднем составляет около 1000 часов, ограничиваемый сроком службы спирали, которая работает при больших температурах. Срок службы ламп накаливания снижается при воздействии на них вибраций, частых включениях и выключениях, не вертикальном положении.

Кроме того, свет ламп накаливания отличается от естественного преобладанием лучей желто-красной части спектра, что искажает естественную расцветку предметов.

Несмотря на указанные недостатки, в настоящее время лампы накаливания находят все еще широкое распространение в связи с их простотой в эксплуатации, надежностью, компактностью и низкой стоимостью.

Лампы накаливания могут быть вакуумными и газонаполненными.

Большой популярностью в настоящее время пользуется разновидность ламп накаливания — **галогенные лампы**, срок службы которых достигает примерно 2000 часов и которые характеризуются высоким значением светоотдачи. Это происходит за счет того, что в состав газового заполнения колбы галогенной лампы накаливания добавляется йод, который при определенных условиях обеспечивает обратный перенос испарившихся частиц вольфрама спирали со стенок колбы лампы на тело накала.

**Газоразрядные лампы** отличаются более высокой светоотдачей, так как в них электрическая энергия преобразуется в энергию оптического излучения за счет электрического разряда в газах или парах металлов.

**Люминесцентная лампа** представляет собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. Из лампы откачан воздух, и она заполнена инертным газом аргоном при очень низком давлении. В лампу помещена капля ртути, которая при нагревании превращается в ртутные пары. Вольфрамовые электроды лампы, как правило, имеют вид спирали. Параллельно спирали располагаются два жестких никелевых электрода, каждый из которых соединен с одним из концов спирали. При подаче на электроды напряжения в газовой среде лампы возникает электрический тлеющий разряд, в частности между жесткими электродами и спиралью, который дальше распространяется на всю полость лампы.

В цилиндрическом баллоне такой лампы идет электрический разряд в парах ртути. Возбужденные атомы ртути испускают мощные потоки электромагнитного излучения, основная энергия которого лежит в ультрафиолетовой части спектра. Поглощая это излучение, атомы люминофора испускают свет в видимой части спектра и в достаточной степени воспроизводят спектр дневного света.

Газоразрядные лампы работают со специальными пускорегулирующими аппаратами и подразделяются на люминесцентные лампы низкого и высокого давления.

Люминесцентные лампы меньше расходуют электроэнергии, срок их службы в 5 раз больше по сравнению с лампами накаливания. Однако лампы дневного света не вытеснили лампы накаливания, имеющие существенные недостатки. Создаваемый холодным свечением дискомфорт усугубляется стробоскопическим эффектом (мерцание ламп). Кроме того, пусковое устройство оборудования светильников производит шумы различной частоты, которые вызывают повышенную утомляемость организма. Дроссельная пускорегулирующая аппаратура обеспечивает возможность питания ламп дневного света от источников электротока частотой 50 Гц.

Одно из решений, устраняющих недостатки как ламп накаливания, так и люминесцентных ламп, — применение электронных пускорегулирующих устройств (ЭПРУ). Оно обеспечивает работу лампы дневного света со свечением частотой 30-40 кГц, что позволяет создавать энергоэкономичные системы внутреннего освещения. Сокращение расхода электроэнергии происходит в результате значительного повышения напряжения питания люминесцентных ламп при помощи ЭПРУ. Так, ЭПРУ обеспечивая частоту 30—40 кГц, обуславливает потребление лампой всего 9 Вт электрической мощности вместо 60 Вт, нужных для развития равной по величине светоотдачи ламп накаливания. Срок службы лампы возрастает до 8000 часов.

### **Снижение потребления электроэнергии при повсеместном внедрении люминесцентных ламп**

В странах СНГ не менее 10 % вырабатываемой электроэнергии потребляется при освещении жилых и непроизводственных служебных помещений лампами накаливания. С учетом вышеизложенного их повсеместная замена в указанных помещениях люминесцентными лампами позволит снизить требуемое количество вырабатываемой электроэнергии на 7 %. В частности, для Республики Беларусь это обеспечит ежегодную экономию электроэнергии не менее 4 млрд. кВт·ч.

### Экспериментальная установка

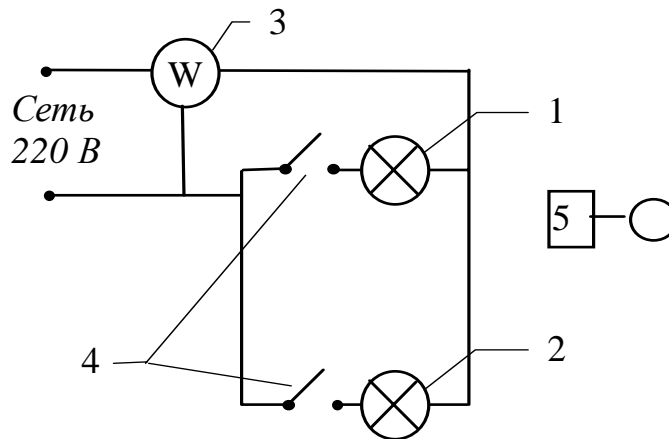


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

- 1 - лампу накаливания; 2 - люминесцентную лампу, работающую с частотой 35 000 Гц;  
 3 - ваттметр для измерения потребляемой лампами из сети электрической мощности;  
 4 - выключатели; 5 - прибор для измерения освещенности люксметр типа ЛК-3.

### Порядок выполнения работы

1. Выключателем 4 включается лампа накаливания.
2. Люксметром 5 измеряется величина освещенности на поверхности включенного светильника в 5-и точках.
3. По ваттметру 3 определяется величина потребляемой лампой накаливания мощности из сети.
4. Выключается лампа накаливания.
5. Выключателем 4 включается люминесцентная лампа, и производятся для нее аналогичные измерения.
6. Полученные данные заносятся в табл. 1.
7. Исходные данные, необходимые для расчетов, приведены в табл. 2.
8. Определить поверхность цилиндрического светильника по выражению

$$S = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dh, \text{ м}^2,$$

где  $d$  - диаметр светильника  $d = 0,095$  м;

$h$  - высота светильника  $h = 0,145$  м.

9. По результатам расчетов сделать вывод об экономичности рассмотренных источников света и целесообразности их использования.

Таблица 1

Параметры		Включенный электрический источник света	
		лампа накаливания	люминесцентная лампа, работающая на частоте 35000 Гц
Освещенность $E$ (лк) на поверхности светильника, в точках	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
Расчетное значение освещенности $\bar{E} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5}{5}$ , лк			
Расчетное значение светового потока $\Phi = \bar{E} \cdot S$ , лм			
Поток излучения $\Phi_{изл} = \Phi / 217$ , Вт			
Потребляемая мощность $N$ , Вт			
КПД источника света $\eta = \frac{\Phi_{изл}}{N} \cdot 100 \%$			
Плотность потока излучения (энергетическая освещенность) $E_{эн} = \frac{\Phi_{изл}}{S}$ , Вт/м <sup>2</sup>			
Световая отдача $C_o = \Phi / N$ , лм/Вт			

Таблица 2

## Исходные данные

Наименование параметра	Варианты заданий										
	I		II		III		IV		V		
	л. н.	л. л.	л. н.	л. л.	л. н.	л. л.	л. н.	л. л.	л. н.	л. л.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Освещенность $E$ (лк) на поверхности светильника в точках	1	1700	700	1850	850	2000	1000	2400	1200	2700	1400
	2	1900	1500	2050	1650	2200	1800	2600	2000	2800	2200
	3	1800	1050	1950	1200	2100	1350	2500	1550	3200	1750
	4	2400	1450	2550	1600	2700	1750	2900	1950	3700	2150
	5	2500	1875	2650	2025	2800	2175	3300	2350	3860	2575
Потребляемая мощность $N$ , Вт	25	5	26	5,1	27	5,3	30	5,9	36	6,5	

## Тема 8. Расчет экономической эффективности применения тепловых насосов

**Ключевые понятия:** тепловой насос, тепловые вторичные энергетические ресурсы (ТВЭР), потенциал ТВЭР, теплоснабжение, горячее водоснабжение, отопление энергетическая эффективность, окупаемость, доходность.

### Цель работы:

1. Определение энергетической эффективности применения тепловых насосов для утилизации тепловых вторичных энергетических ресурсов.
2. Определение срока окупаемости и величины доходности внедрения теплового насоса в систему горячего водоснабжения.

### Содержание работы

1. Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.
2. На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчеты.
3. Внеаудиторная работа предполагает дополнительную проработку теоретических вопросов, а также доработку и оформление результатов практических занятий.

### Общие сведения

Тепловые насосы являются наиболее эффективным оборудованием, способствующим увеличению объема и глубины использования ТВЭР промышленных предприятий. Для определения технической возможности и эффективности их применения необходимо иметь достоверную информацию о параметрах и режимах выхода ТВЭР, тепловых нагрузках и их продолжительности, показателях замещаемых теплоисточников, тенденциях изменения стоимости энергоносителей, ожидаемой технологической и экологической эффективности от внедрения систем утилизации и др.

При оценке технических показателей применения тепловых насосов тепловой потенциал ТВЭР классифицируется на расчетный, используемый без ущерба для технологии и окружающей среды в течение часа ( $Q_{ТВЭР}^p$ , кВт) и предполагаемый, используемый за год ( $Q_{ТВЭР}^Г$ , ГДж). Их величины определяются по выражениям:

$$Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = G_{ij} \cdot \rho \cdot C_i \cdot \Delta t_{ij} \cdot R_{ij} / 3600; \quad (1)$$

$$Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}} = \sum_j 3,6 \cdot 10^{-3} Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \cdot n_{ij}; \quad (2)$$

где  $G_{ij}$  — объем ТВЭР  $i$ -го вида в  $j$ -ый период года,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $\Delta t_{ij}$  — средняя за  $j$ -ый период года глубина охлаждения потока ТВЭР  $i$ -го вида,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\rho$  — плотность вещества, составляющего поток ТВЭР  $i$ -го вида,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $C_i$  — теплоемкость потока ТВЭР  $i$ -го вида,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  
 $R_{ij}$  — коэффициент, характеризующий доступность утилизации ТВЭР  $i$ -го вида в  $j$ -ый период года;  
 $n_{ij}$  — продолжительность использования расчетного теплового потенциала ТВЭР  $i$ -го вида в  $j$ -ый период года, час.

При укрупненных расчетах теплопроизводительность тепловых насосов в системах утилизации ТВЭР ( $Q_{\text{ТН}}^{\text{P}}$ , кВт и  $Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}}$ , ГДж) при покрытии ими тепловых нагрузок различных видов определяется из соотношений:

—отопительно-вентиляционной нагрузки

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}; \quad (3)$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,33 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}}; \quad (4)$$

—нагрузки горячего водоснабжения

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}; \quad (5)$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}}; \quad (6)$$

—при передаче теплоты в системы централизованного теплоснабжения

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}; \quad (7)$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}}; \quad (8)$$

Потребляемая мощность компрессора теплового насоса ( $P_{\text{ТН}}$ , кВт) и годовой расход электрической энергии ( $\mathcal{E}_{\text{ТН}}^{\text{Г}}$ , МВт·ч) на выработку теплоты  $Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}}$  определяются известными соотношениями:

$$P_{\text{ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}; \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = (Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}}) / 3,6. \quad (10)$$

**Энергетическая эффективность применения тепловых насосов** рассчитывается по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива ( $\Delta B, \%$ ), определяемой по выражению

$$\Delta B = [1 - (\eta_{\text{ти}} \cdot \eta_{\text{тс}} / (\eta_{\text{эн}} \cdot \eta_{\text{эс}} \cdot \varepsilon))] \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где  $\eta_{\text{ти}}$  — КПД действующего источника теплоснабжения;  
 $\eta_{\text{тс}}$  — КПД тепловой сети;  
 $\eta_{\text{эн}}$  — КПД источника электрической энергии;  
 $\eta_{\text{эс}}$  — КПД передачи и трансформации электрической энергии;  
 $\varepsilon$  — среднегодовой отопительный коэффициент теплового насоса.

**Экономическую эффективность применения тепловых насосов** можно определять по величине приведенных затрат, сроку окупаемости, уровню рентабельности, величине доходности и др.

Наиболее значимыми составляющими в расчетах экономической эффективности являются величины необходимых капитальных вложений на внедрение тепловых насосов и ожидаемой экономии ежегодных расходов на теплоснабжение.

Укрупненно затраты на приобретение и подсоединение тепловых насосов ( $K_{\text{тну}}$ ) различных типов и теплопроизводительности ( $Q_{\text{тн}}^p$ ), включая и периферийного оборудования, к теплосети можно определять по следующим выражениям:

1. для системы с тепловым насосом «вода-вода» и с винтовым компрессором

$$K_{\text{тну}} = \begin{cases} 40000 + 152 \cdot Q_{\text{тн}}^p & \text{при } 0 < Q_{\text{тн}}^p < 1044 \text{ кВт} \\ 200000 + 128 \cdot Q_{\text{тн}}^p \cdot (Q_{\text{тн}}^p - 1044) & \text{при } Q_{\text{тн}}^p \geq 1044 \text{ кВт;} \end{cases} \quad (12)$$

2. для системы с тепловым насосом «вода-вода» и с поршневым компрессором

$$K_{\text{тну}} = 58000 + 58 \cdot Q_{\text{тн}}^p \quad \text{при } Q_{\text{тн}}^p \leq 700 \text{ кВт}; \quad (13)$$

3. для системы с тепловым насосом «вода-вода/воздух» и с поршневым компрессором

$$K_{\text{тну}} = 70000 + 13 \cdot Q_{\text{тн}}^p \quad \text{при } Q_{\text{тн}}^p \leq 500 \text{ кВт}; \quad (14)$$

4. для системы с тепловым насосом «воздух-вода» и со спиральным компрессором

$$K_{\text{тну}} = 6540 + 263 \cdot Q_{\text{тн}}^p \quad \text{при } Q_{\text{тн}}^p \leq 100 \text{ кВт}; \quad (15)$$

5. для системы с тепловым насосом «вода-вода» и со спиральным компрессором

$$K_{\text{тну}} = 7700 + 115 \cdot Q_{\text{тн}}^p \quad \text{при } Q_{\text{тн}}^p \leq 300 \text{ кВт}; \quad (16)$$

Величина ожидаемой ежегодной экономии расходов ( $\mathcal{E}^f$ ) при внедрении тепловых насосов определяется величиной тепловой нагрузки ( $Q$ ), продолжительностью использования расчетной теплопроизводительности тепловых насосов ( $n$ ), стоимостью энергоносителей ( $C$ ) и др.

$$\text{Укрупненно величина } \mathcal{E}^f = \mathcal{E}_{\text{тр}} - \mathcal{E}_{\text{тн}}. \quad (17)$$

Величина  $\mathcal{E}_{\text{тр}}$  определяется по выражению:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = 3,385 \cdot n \cdot C_Q \cdot Q_{\text{тн}}^p / 1000, \quad (18)$$

где  $C_Q$  – стоимость тепловой энергии, у.е./ГДж;

$n$  – продолжительность использования расчетного теплового потенциала ТВЭР в течении года.

Величина  $\mathcal{E}_{\text{тн}}$  определяется по выражению:

$$\mathcal{E}_{\text{тн}} = 0,286 \cdot n \cdot C_3 \cdot Q_{\text{тн}}^p, \quad (19)$$

где  $C_3$  – стоимость тепловой энергии, у.е./кВт·ч.

Используя значения  $K_{\text{ТНУ}}$  и  $\mathcal{E}^{\Gamma}$  и задаваясь величиной процентной ставки по кредиту ( $A$ ), равной не более 0,5 ставки рефинансирования Национального банка, по нижеприведенным выражениям можно определить срок окупаемости ( $T_{\text{ок}}$ ) и доходность ( $D$ ) внедрения тепловых насосов:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{ТНУ}} / \mathcal{E}^{\Gamma}; \quad (20)$$

$$D = 100 \cdot \mathcal{E}^{\Gamma} / (K_{\text{ТНУ}} \cdot (1 + A/100)) \quad (21)$$

### Пример решения задачи по расчету оценки энергетической и экономической эффективности применения тепловых насосов

**Задача 1.** Рассчитать и дать оценку энергетической и экономической эффективности применения теплового насоса (ТН) в системе утилизации теплоты сточных (оборотных) вод. Потребитель теплоты, выработанной ТН – горячее водоснабжение предприятия и прилегающих объектов. Используется ТН типа «вода-вода» со спиральным компрессором.

Исходные данные:

- |   |   |
|---|---|
| 1. Объем ТВЭР (сточных вод) составляет  | $G = 40 \text{ м}^3/\text{ч};$                        |
| 2. глубина охлаждения потока ТВЭР   | $\Delta t = 4 \text{ }^{\circ}\text{C};$              |
| 3. коэффициент доступности утилизации ТВЭР равен                                    | $R = 0,9;$  |
| 4. расчетная продолжительность использования теплового потенциала ТВЭР              | $n = 5000 \text{ ч.};$                                |
| 5. среднегодовой отопительный коэффициент ТН составляет                             | $\varepsilon = 3,5;$                                  |
| 6. коэффициент полезного действия (КПД) действующего источника теплоснабжения равен | $\eta_{\text{ТИ}} = 0,85;$                            |
| 7. КПД тепловой сети  | $\eta_{\text{ТС}} = 0,9;$                             |
| 8. КПД источника электрической энергии  | $\eta_{\text{ЭН}} = 0,33;$                            |
| 9. КПД передачи и трансформации электрической энергии                               | $\eta_{\text{ЭС}} = 0,9;$                             |
| 10 стоимость электрической энергии  | $C_{\text{э}} = 0,035 \text{ у.е./кВт}\cdot\text{ч};$ |
| 11 стоимость тепловой энергии   | $C_{\text{Q}} = 8,35 \text{ у.е./ГДж};$               |
| 12 процентная ставка по кредиту   | $A = 15\%.$   |

### Решение

1. Определим тепловой потенциал ТВЭР:  
– расчетный, используемый в течение часа

$$Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = G \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta t \cdot R / 3600 = 40 \cdot 1000 \cdot 4,19 \cdot 4 \cdot 0,9 / 3600 = 167,6 \text{ кВт};$$

- располагаемый, используемый в течение года

$$Q_{\text{ТВЭР}}^{\Gamma} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \cdot n = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 167,6 \cdot 5000 = 3017 \text{ ГДж};$$

2. Определим теплопроизводительность теплового насоса в системе утилизации ТВЭР при покрытии им тепловой нагрузки горячего водоснабжения

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot 167,6 = 234,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}} = 1,45 \cdot 3017 = 4375 \text{ ГДж};$$

3. Определим потребляемую мощность компрессора теплового насоса

$$P_{\text{ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = 234,6 - 167,6 = 67 \text{ кВт}.$$

4. Находим годовой расход электрической энергии на выработку теплоты

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}} = (Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}}) / 3,6 = (4375 - 3017) / 3,6 = 377,2 \text{ МВт}\cdot\text{ч}.$$

5. Энергетическую эффективность применения ТН определим по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива

$$\Delta B = [1 - (\eta_{\text{ТН}} \cdot \eta_{\text{ТС}} / (\eta_{\text{ЭН}} \cdot \eta_{\text{ЭС}} \cdot \epsilon))] \cdot 100 = [1 - (0,85 \cdot 0,9 / (0,33 \cdot 0,9 \cdot 3,5))] \cdot 100 = 26,4\%.$$

6. Определим Укрупненно затраты на приобретение и подключение ТН и периферийного оборудования к теплосети. Для теплового насоса типа «вода-вода» со спиральным компрессором

$$K_{\text{ТНУ}} = 7700 + 115 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 7700 + 115 \cdot 234,6 = 34679 \text{ у.е.}$$

7. Определим величину ожидаемой ежегодной экономии расходов  $\mathcal{E}^{\text{Г}}$  при внедрении теплового насоса

$$\mathcal{E}^{\text{Г}} = \mathcal{E}_{\text{ТР}} - \mathcal{E}_{\text{ТН}}.$$

Значение  $\mathcal{E}_{\text{ТР}}$  определим по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{ТР}} = 3,385 \cdot n \cdot C_{\text{Q}} \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} / 1000 = 3,385 \cdot 5000 \cdot 8,35 \cdot 234,6 / 1000 = 33154 \text{ у.е.}$$

Значение  $\mathcal{E}_{\text{ТН}}$  определим соответственно по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}} = 0,286 \cdot n \cdot C_{\text{Э}} \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 0,286 \cdot 5000 \cdot 0,035 \cdot 234,6 = 11741 \text{ у.е.}$$

отсюда

$$\mathcal{E}^{\text{Г}} = \mathcal{E}_{\text{ТР}} - \mathcal{E}_{\text{ТН}} = 33154 - 11741 = 21413 \text{ у.е.}$$

8. Срок окупаемости теплового насоса равен

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{ТНУ}} / \mathcal{E}^{\text{Г}} = 34679 / 21413 = 1,62 \text{ года}$$

9. Величина доходности  $D$  от внедрения ТН в систему горячего водоснабжения предприятия составит

$$D = 100 \cdot \mathcal{E}^{\text{Г}} / (K_{\text{ТНУ}} \cdot (1 + A/100)) = 100 \cdot 21413 / (34679 \cdot (1 + 15/100)) = 53,7\%.$$

Как следует из приведенного примера, применение теплового насоса энергетически и экономически обосновано, т.к.  $\Delta B = 26,4\%$ ,  $T_{ок} = 1,62$  года,  $D = 53,7\%$ .

### Задача для решения

**Задача 2.** Рассчитать и дать оценку энергетической и экономической эффективности применения теплового насоса (ТН) в системе утилизации теплоты сточных (оборотных) вод. Потребитель теплоты, выработанной ТН – горячее водоснабжение предприятия и прилегающих объектов.

Исходные данные, необходимые для расчетов, представлены в табл. 1.

Условные обозначения, используемые в этой задаче, одинаковы с предыдущей задачей 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

№ п/п	Параметры	Размерность	Варианты				
			I	II	III	IV	V
1	G	м <sup>3</sup> /ч	60	80	100	30	20
2	$\Delta t$	°C	10	8	12	6	18
3	R	–	0,8	0,85	0,7	0,95	0,75
4	n	ч	5000	6000	7000	3000	4000
5	$\varepsilon$	–	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5
6	$\eta_{ти}$	–	0,85	0,8	0,87	0,750	0,7
7	$\eta_{тс}$	–	0,9	0,85	0,9	0,85	0,8
8	$\eta_{эн}$	–	0,33	0,35	0,34	0,36	0,32
9	$\eta_{эс}$	–	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10	$C_э$	у.е./кВт·ч	0,035	0,04	0,03	0,025	0,045
11	$C_Q$	у.е./ГДж	8,3	9,3	6,5	6,0	10,0
12	A	%	15	15	15	15	15
13	Тип ТН и тип компрессора	–	вода-вода с поршневым	вода-вода/воздух с поршневым	вода-вода с винтовым	вода-вода/воздух с поршневым	вода-вода со спиральным

## **Тема 9. Расчет экономии электроэнергии в осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита**

**Ключевые понятия:** энергоаудит, комплексное энергетическое обследование, мероприятия по экономии энергии, система освещения, уровень освещенности, осветительная установка, годовое потребление энергии, потенциал экономии электроэнергии, КПД светильников, энергоэффективная пускорегулирующая аппаратура.

### **Цель работы:**

1. Определение установленной мощности и годового потребления электроэнергии на освещение помещения.
2. Расчет экономии электроэнергии при проведении различных мероприятий, направленных на снижение энергопотребления.

### **Содержание работы**

1. Ознакомиться с теоретической частью, основными понятиями и определениями.
2. На основании полученных теоретических знаний выполнить необходимые расчеты.
3. Внеаудиторная работа предполагает дополнительную проработку теоретических вопросов, а также доработку и оформление результатов практических занятий.

### **Общие сведения**

В последнее время, в связи с ростом цен на энергоносители, актуальной становится проблема их экономии. Первым этапом процесса экономии энергии является проведение комплексного энергетического обследования объекта (энергоаудит) и разработка на его основе экономически целесообразных мероприятий по экономии энергии. Данные мероприятия разрабатываются для каждого отдельного типа потребителя энергии: отопление, освещение, вентиляция, технологические процессы и т.п. Сначала производится анализ состояния систем энергопотребления, а затем – расчет экономии энергии по определенным методикам.

Система освещения является весомым потребителем электроэнергии, особенно в административных зданиях, где расходуется на освещение до 80% электроэнергии от общего потребления.

Для анализа состояния системы освещения обследуемого объекта необходимо собрать следующую информацию:

- тип и количество существующих светильников;
- тип, количество и мощность используемых ламп;
- режим работы системы искусственного освещения;
- характеристики поверхностей помещений (коэффициенты отражения);
- год установки светильников;
- периодичность чистки светильников;
- фактический и нормированный уровень освещенности;
- значения напряжения электросети освещения в начале и в конце измерений освещенности;
- размеры помещения;
- средний фактический срок службы ламп;
- фактическое и нормированное значение коэффициента естественной освещенности.

Затем, производится расчет показателей энергопотребления на основании вышеперечисленных данных полученных в результате инструментального обследования объекта.

Установленная мощность равна:

$$P_i = P_{\text{л}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot n, \text{ (кВт)} \quad (1)$$

где  $P_i$  – мощность осветительной установки  $i$ -го помещения в обследуемом объекте;

$K_{\text{пра}}$  – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре осветительных приборов;

$P_{\text{л}}$  – мощность лампы;

$n$  – количество однотипных ламп в осветительной установке  $i$ -го помещения.

Годовое потребление электрической энергии определяются по следующему выражению:

$$W_{\text{г}} = \sum W_{\text{г}i} = \sum P_i \cdot T_{\text{г}i} \cdot k_{\text{и}i}, \text{ (кВт}\cdot\text{ч)} \quad (2)$$

где  $W_{\text{г}}$  – суммарное годовое потребление электроэнергии;

$W_{\text{г}i}$  – годовое потребление электроэнергии осветительной установкой (ОУ)  $i$ -го помещения;

$T_{\text{г}i}$  – число часов работы системы  $i$ -го помещения в год;

$k_{\text{и}i}$  – коэффициент использования установленной электрической мощности в ОУ  $i$ -го помещения.

Удельное годовое потребление электроэнергии равно:

$$W_{\text{Гуд}} = W_{\text{г}} / \sum S_i, \text{ (кВт}\cdot\text{ч/м}^2\text{)} \quad (3)$$

где  $W_{Г\text{уд}}$  – годовое удельное потребление электроэнергии;  
 $S_i$  – площадь  $i$ -го помещения в исследуемом объекте.

Для более точной оценки величины экономии электроэнергии по каждому из проводимых мероприятий необходимо выполнить расчет экономии электроэнергии по нижеприведенной методике.

Сначала определяем фактическое среднее значение освещенности с учетом отклонения напряжения в сети от номинального по выражению:

$$E_{\text{ф}} = E_{\text{и}} \cdot U_{\text{н}} / (U_{\text{н}} + k \cdot (U_{\text{н}} - U_{\text{ср}})), \text{ (лк)} \quad (4)$$

где  $E_{\text{и}}$  – измеренная освещенность, лк;  
 $k$  – коэффициент учитывающий изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети ( $k = 4$  для ламп накаливания,  $k = 2$  для газоразрядных ламп);  
 $U_{\text{н}}$  – номинальное напряжение сети, В;  
 $U_{\text{ср}}$  – среднее фактическое значение напряжения  $U_{\text{ср}} = (U_1 + U_2) / 2$  (В) ( $U_1$  и  $U_2$  – значения напряжения сети в начале и конце измерения).

Для учета отклонения фактической освещенности от нормативных значений определяем коэффициент приведения:

$$k_{\text{ни}} = E_{\text{фи}} / E_{\text{ни}}, \quad (5)$$

где  $k_{\text{ни}}$  – коэффициент приведения освещенности  $i$ -го помещения;  
 $E_{\text{фи}}$  – фактическое значение освещенности в  $i$ -ом помещении;  
 $E_{\text{ни}}$  – нормируемое значение освещенности в  $i$ -ом помещении.

Потенциал годовой экономии электроэнергии в осветительной установке обследуемого помещения рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{г}} = \sum_i k_{\text{ни}} \cdot \sum_k \Delta W_i^k, \text{ (кВт}\cdot\text{ч/год)} \quad (6)$$

где  $\Delta W_i^k$  – потенциал экономии электроэнергии в кВт·ч/год для  $i$ -го помещения и  $k$ -го мероприятия.

К основным мероприятиям позволяющим экономить электроэнергию относятся:

1. Переход на другой тип источника света с более высокой светоотдачей (лм/вт).

Экономия электроэнергии в результате данного мероприятия определяется по формуле:

$$\Delta W_i = W_{\text{Ги}} \cdot (1 - k_{\text{исци}}), \text{ (кВт}\cdot\text{ч/год)} \quad (7)$$

где  $k_{\text{исци}}$  – коэффициент эффективности замены типа источника света;

$$k_{\text{исци}} = C_o / C_{\text{он}}, \quad (8)$$

где  $C_o$  – светоотдача существующего источника света (лм/Вт);  
 $C_{он}$  – светоотдача предлагаемого к установке источника света (лм/Вт).

2. Повышение КПД существующих осветительных приборов вследствие их чистки. Экономия электроэнергии в результате данного мероприятия определяется по формуле:

$$\Delta W_i = W_{Гi} \cdot k_{чi}, \quad (\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}) \quad (9)$$

где  $k_{чi}$  – коэффициент эффективности чистки светильников.

Значение коэффициент эффективности чистки светильников определяется по выражению:

$$k_{чi} = 1 - (\gamma_c + \beta_c e^{-(t/t_c)}), \quad (10)$$

где  $\gamma_c$ ,  $\beta_c$ ,  $t_c$  – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников, для рассматриваемой задачи принимаем  $\gamma_c = 0,95$ ,  
 $\beta_c = 0,054$  и  $t_c = 360$ ;

$t$  – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

3. Установка энергоэффективной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА).

$$\Delta W_i = W_{Гi} \cdot (1 - K_{праi}^H / K_{праi}), \quad (\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}) \quad (12)$$

где  $K_{праi}$  – коэффициент потерь в ПРА существующих светильников системы освещения  $i$ -го помещения;

$K_{праi}^H$  – коэффициент потерь в устанавливаемых ПРА.

4. Замена светильников является наиболее эффективным комплексным мероприятием, так как включает в себя замену ламп, повышение КПД светильника, оптимизацию светораспределения светильника и его расположения. Для точной оценки экономии электроэнергии необходимо производить светотехнический расчет освещенности для предполагаемых к установке светильников методом коэффициента использования или точечным методом. По расчетному значению установленной мощности (из светотехнического расчета) экономия электроэнергии определяется по формуле:

$$\Delta W_i = W_{Гi} - P_i^H \cdot T_{Гi}, \quad (\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}) \quad (13)$$

где  $P_i^H$  – установленная мощность после замены светильников;

$T_{Гi}$  – годовое число часов работы системы искусственного освещения  $i$ -го помещения.

При упрощенной оценке (при замене светильников на аналогичные по светораспределению и расположению) расчет производится по следующей формуле:

$$\Delta W_i = W_{Гi} \cdot (1 - k_{сви}), \quad (\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}) \quad (14)$$

где  $k_{сви}$  – коэффициент учитывающий повышение КПД светильника.

$$k_{сви} = \eta_i / \eta_i^H, \quad (15)$$

где  $\eta_i$  – паспортный КПД существующих светильников;  
 $\eta_i^H$  – паспортный КПД предполагаемых к установке светильников.

В случае большого числа однотипных помещений в обследуемом здании, которое имеет схожие по параметрам, состоянию, и мероприятиям по экономии электроэнергии осветительные установки, расчет производится с помощью удельных показателей экономии электроэнергии.

$$\Delta W_{\text{уд}}^j = \Delta W_i^j / S_i^j, \text{ (кВт}\cdot\text{ч/год)} \quad (16)$$

где  $\Delta W_{\text{уд}}^j$  – удельная экономия электроэнергии для  $j$  - типа помещения;  
 $\Delta W_i^j$  – расчетная экономия электроэнергии для  $i$ -го помещения;  
 $S_i^j$  – площадь  $i$ -го помещения.

Общая экономия электроэнергии в системах освещения обследуемого объекта определяется по формуле:

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{j=1}^m \Delta W_{\text{уд}}^j \cdot S^j, \text{ (кВт}\cdot\text{ч)} \quad (17)$$

где  $S^j$  – общая площадь помещений  $j$ -го типа;  
 $m$  – количество типов помещений.

### Пример решения задачи по расчету экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений.

**Задача 1.** Административное здание 1986 года постройки имеет систему освещения финансового отдела оснащенную светильниками типа ЛПО 02 2x40 с КПД  $\eta = 52\%$ . В светильниках используются лампы типа ЛБ 40 со светоотдачей  $C_0 = 75$  лм/Вт; количество светильников  $n = 15$  штук. Размеры помещения 5x15x3 метра; нормированная освещенность  $E_n = 300$  лк; измеренная освещенность  $E_{\text{и}} = 275$  лк; количество часов работы искусственного освещения в год  $T_{\Gamma} = 1300$  часов; номинальное напряжение сети  $U_n = 220$  В, а во время измерений оно изменялось от  $U_1 = 230$  В до  $U_2 = 190$  В; коэффициент использования установленной электрической мощности  $k_{\text{и}} = 0,92$ ; на момент измерений прошло 360 дней со дня последней чистки светильников.

В результате энергоаудита было рекомендовано заменить светильники на новые с электронной пускорегулирующей аппаратурой (ЭПРУ) с коэффициентом потерь  $K_{\text{пра}}^H = 1,1$  и КПД  $\eta^H = 75\%$ , оборудованные люминесцентными лампами TL – D 36/84 со световой отдачей  $C_{\text{он}} = 93$  лм/Вт.

**Решение**

1. Определим установленную мощность осветительной установки в помещении финансового отдела

$$P = P_{\text{л}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot n = 40 \cdot 1,2 \cdot (15 \cdot 2) = 1440 \text{ Вт},$$

Коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре осветительных приборов с люминесцентными лампами  $K_{\text{пра}} = 1,2$ .

2. Годовое энергопотребление в этом помещении равно

$$W_{\Gamma} = P \cdot T_{\Gamma} \cdot k_{\text{и}}, = 1440 \cdot 1300 \cdot 0,92 = 1772 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

3. Определим экономию электроэнергии за счет перехода на люминесцентные лампы пониженной мощности типа TL-D 36/84

$$\Delta W_1 = W_{\Gamma} \cdot (1 - k_{\text{ис}}) = 1772 \cdot (1 - 75/93) = 337 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

4. Экономия электроэнергии за счет чистки светильников:

— величина коэффициент эффективности чистки светильников равна (численные значения коэффициентов, входящих в выражение для определения  $k_{\text{ч}}$ , приведены выше):

$$k_{\text{ч}} = 1 - (\gamma_{\text{с}} + \beta_{\text{с}} e^{-t/t_{\text{с}}}) = 1 - (0,95 + 0,054 \cdot e^{-(360/360)}) = 1 - (0,95 + 0,02) = 0,03.$$

$$\Delta W_2 = W_{\Gamma} \cdot k_{\text{ч}} = 1772 \cdot 0,03 = 53 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

5. Определим экономию электроэнергии вследствие установки электронных ПРА с  $K_{\text{пра}}^{\text{H}} = 1,1$  составит:

$$\Delta W_3 = W_{\Gamma} \cdot (1 - K_{\text{пра}}^{\text{H}} / K_{\text{пра}}), = 1772 \cdot (1 - 1,1/1,2) = 148 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

6. Определим экономию электроэнергии за счет установки новых светильников с более высоким КПД = 75%, но с аналогичным светораспределением

$$\Delta W_4 = W_{\Gamma} \cdot (1 - k_{\text{св}}) = 1772 \cdot (1 - 52 / 75) = 543 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

7. Определим фактическое среднее значение освещенности с учетом отклонения питающего напряжения в сети от номинальной величины

— среднее фактическое значение напряжения за время измерения равно

$$U_{\text{ср}} = (U_1 + U_2)/2 = (230 + 190)/2 = 210 \text{ В};$$

— фактическое среднее значение освещенности за время измерения равно

$$E_{\text{ф}} = E_{\text{иф}} \cdot U_{\text{н}} / (U_{\text{н}} + k \cdot (U_{\text{н}} - U_{\text{ср}})) = 275 \cdot 220 / (220 + 2 \cdot (220 - 210)) = 252 \text{ лк}.$$

8. Общий потенциал годовой экономии электроэнергии в осветительной установке финансового отдела составит:

$$W_{\Gamma} = k_n \cdot \sum \Delta W_i = 252/300 \cdot 1081 = 908 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

### Задача для решения

**Задача 2.** Административное здание имеет систему освещения помещений оснащенную светильниками типа ЛПО 02 2x40 с КПД  $\eta = 52\%$  и коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре  $K_{\text{пра}} = 1,2$ . Светильники работают от электросети с номинальным напряжением  $U_n = 220 \text{ В}$ . В светильниках используются лампы типа ЛБ 40 со светоотдачей  $C_o = 75 \text{ лм/Вт}$ . Коэффициент использования установленной электрической мощности  $k_n = 0,92$ .

Количество светильников в каждом помещении  $n$  штук; нормированная освещенность равна  $E_n$  лк, а измеренная –  $E_{\text{и}}$  лк. Количество часов работы искусственного освещения в год равно  $T_{\Gamma}$  часов. Напряжение в электросети во время измерений освещенности изменялось от величины  $U_1$  до  $U_2 \text{ В}$ ; на момент измерений прошло  $t$  дней со дня последней чистки светильников.

В результате энергоаудита было рекомендовано заменить светильники на новые, имеющие КПД равный  $\eta^{\text{H}}$  и электронную пускорегулирующую аппаратуру (ЭПРУ) с коэффициентом потерь равным  $K_{\text{пра}}^{\text{H}}$ , а также оборудованные люминесцентными лампами со световой отдачей  $C_{\text{он}}$ .

Исходные данные, необходимые для расчетов, представлены в табл. 1.

Условные обозначения, используемые в этой задаче, одинаковы с предыдущей задачей 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

№ п/п	Параметры	Размерность	Варианты				
			I	II	III	IV	V
1	$E_n$	лк	300	350	400	350	450
2	$E_{\text{и}}$	лк	250	300	320	280	380
3	$n$	шт.	15	17	20	16	23
4	$U_1$	в	220	230	235	230	225
5	$U_2$	в	200	220	200	190	195
6	$C_{\text{он}}$	лм/Вт	90	85	93	95	100
7	$t$	дней	150	200	300	400	350
8	$K_{\text{пра}}^{\text{H}}$	–	1,05	1,1	1,15	1,12	1,08
9	$\eta^{\text{H}}$	%	70	75	80	85	78
10	$T_{\Gamma}$	час	1400	1500	1600	1450	1550

## Раздел 3. Контрольные работы для студентов заочной формы обучения

### 3.1. Методические указания для выполнения контрольных работ

*Общие положения.* Выполнение контрольной работы является формой активизации самостоятельной работы студента-заочника по изучению учебной дисциплины в межсессионный период. При написании контрольной работы студент знакомится с содержанием всей дисциплины, ее структурой, литературой, подбирает необходимый материал и т.д. Полнота и глубина изложения материала в контрольной работе свидетельствует о степени овладения основными положениями дисциплины в целом.

Качество контрольной работы учитывается при оценке ответов на зачете.

Определение варианта контрольной работы для каждого студента осуществляется по номеру его зачетной книжки. Например, номер зачетной книжки 2005-14зд, следовательно, студент выполняет тему номер 14. Если номер зачетной книжки превышает количество тем, в общем их перечне, то номер темы определяется как разность между номером зачетной книжки и номером последней темы. Например, номер зачетной книжки 2006-41зд, а номер последней темы 35, тогда студент выполняет 6-ю тему (41-35).

*Требования к оформлению.* Контрольная работа выполняется в объеме школьной тетради 12 листов (24 страницы) в клеточку. При необходимости можно дополнительно вставить несколько листов, а также представить приложения. Титульный лист контрольной работы должен дать исчерпывающую информацию о студенте и теме, поэтому он должен быть без рисунков, картинок (см. приложение Б), а если студент приобретает тетрадь с пестрой обложкой, то титульный лист необходимо заклеить чистой бумагой, чтобы все реквизиты четко выделялись на белом фоне. Контрольная работа может быть представлена в печатном или рукописном виде.

На титульном листе контрольной работы необходимо привести следующие данные:

- наименование института, кафедры, учебной дисциплины;
- номер контрольной работы;
- фамилия и инициалы студента, номер его зачетной книжки, курс, номер группы;
- домашний адрес и телефон.

Последняя страница текста должна быть подписана студентом, проставлена дата. Все страницы нумеруются. Не допускается сокращение слов, кроме общепринятых.

На первой странице контрольной работы приводится содержание. На второй странице наименование первого вопроса повторяется, причем оно четко выделяется по тексту (большими буквами или другими чернилами). После изложения первого вопроса аналогично прописывается наименование второго вопроса.

Текст излагается четким почерком, яркими чернилами синего или черного цвета. На каждой странице оставляются поля для заметок преподавателя.

Если в контрольной работе приводятся таблицы, рисунки, диаграммы и т.п., то они оформляются в соответствии со стандартом. В соответствии с его требованием оформляется и список использованной литературы.

*Требования к содержанию.* Основная задача студента при раскрытии содержания контрольной работы - дать четкий, полный и достаточно глубокий ответ на поставленный вопрос. Не допускается освещение только части вопроса.

Прежде чем приступить непосредственно к изложению текста, студент должен тщательно изучить материал по литературным и другим источникам, и только после того, как у студента составит четкое представление о содержании вопроса, последовательности изложения материала, он может приступить непосредственно к написанию контрольной работы.

### **3.2. Варианты контрольных заданий**

#### **ВАРИАНТ № 1**

1. Понятие энергии. Основные виды энергии.
2. Энергетический аудит.

#### **ВАРИАНТ № 2**

1. Роль энергии в развитии общества.
2. Понятие энергетического менеджмента.

#### **ВАРИАНТ № 3**

1. Рост энергопотребления как объективная предпосылка энергосбережения.
2. Опыт энергосбережения в Дании.

#### **ВАРИАНТ № 4**

1. Первичные энергоресурсы.
2. Понятие энергосбережения и энергосберегающей политики государства. Источник энергии - в ее сбережении.

#### **ВАРИАНТ № 5**

1. Вторичные энергоресурсы.
2. Общая характеристика топливно-энергетического комплекса РБ в части электроэнергетики.

#### **ВАРИАНТ № 6**

1. Общие понятия энергетики и ее классификация.
2. Общая характеристика топливно-энергетического комплекса РБ в части топливной и нефтеперерабатывающей промышленности.

**ВАРИАНТ № 7**

1. Традиционная энергетика.
2. Основные мероприятия и направления по экономии энергоресурсов.

**ВАРИАНТ № 8**

1. Нетрадиционная энергетика.
2. Энергосбережения в промышленности Японии.

**ВАРИАНТ № 9**

1. Ветроэнергетика.
2. Объективная необходимость энергосбережения и его проблемы.

**ВАРИАНТ № 10**

1. Гелиоэнергетика.
2. Формы учета энергии.

**ВАРИАНТ №11**

1. Биоэнергетика.
2. Качество электрической энергии.

**ВАРИАНТ № 12**

1. Малая гидроэнергетика.
2. Экономическая и тарифная политика в энергетике.

**ВАРИАНТ № 13.**

1. Другие виды нетрадиционной энергетике.
2. Основные показатели эффективности использования энергии и энергосбережения.

**ВАРИАНТ № 14**

1. Нетрадиционная энергетика в строительстве.
2. Опыт энергосберегающей политики в США.

**ВАРИАНТ № 15**

1. Перспективы развития мировой энергетике.
2. Экономия электрической и тепловой энергии в быту.

**ВАРИАНТ № 16**

1. Особенности определения себестоимости в энергетике.
2. Программы организационно-технических мероприятий (ОТМ) по экономии топлива, тепловой и электрической энергии.

**ВАРИАНТ № 17**

1. Инвестиционная политика и капиталовложения в энергетике.
2. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве.

**ВАРИАНТ № 18**

1. Вторичные энергоресурсы.
2. Основные резервы и принципы энергосбережения.

**ВАРИАНТ №19**

1. Понятие энергии. Основные виды энергии.
2. Энергетический баланс предприятия.

**ВАРИАНТ №20**

1. Рост энергопотребления как объективная предпосылка энергосбережения.
2. Общая характеристика республиканской программы "Энергосбережение".

**ВАРИАНТ № 21**

1. Нетрадиционная энергетика
2. Нормы расхода энергоресурсов. Классификация норм расхода.

**ВАРИАНТ №22**

1. Первичные энергоресурсы.
2. Основные направления энергосбережения в ЛПК.

**ВАРИАНТ № 23**

1. Вторичные энергоресурсы.
2. Разработка норм расхода энергии.

**ВАРИАНТ №24**

1. Роль энергии в развитии общества.
2. Общие направления энергетической политики РБ.

**ВАРИАНТ № 25**

1. Общие понятия энергетике и ее классификация.
2. Основные направления энергосбережения в промышленности.

**ВАРИАНТ №26**

1. Малая гидроэнергетика.
2. Понятие энергосбережения и энергосберегающей политики государства. Источник энергии - в ее сбережении.

**ВАРИАНТ № 27**

1. Традиционная энергетика.
2. Нормы расхода энергоресурсов. Классификация норм расхода.

**ВАРИАНТ № 28**

1. Биоэнергетика.
2. Экономия электрической и тепловой энергии в быту.

**ВАРИАНТ №29**

1. Ветроэнергетика.
2. Понятие энергетического менеджмента.

**ВАРИАНТ № 30**

1. Другие виды нетрадиционной энергетики.
2. Энергетический аудит

**ВАРИАНТ №31**

1. Нетрадиционная энергетика в строительстве.
2. Энергетический баланс предприятия.

**ВАРИАНТ №32**

1. Перспективы развития мировой энергетики.
2. Общая характеристика топливно-энергетического комплекса РБ в части топливной и нефтеперерабатывающей промышленности.

**ВАРИАНТ № 33**

1. Особенности определения себестоимости в энергетике.
2. Объективная необходимость энергосбережения и его проблемы.

**ВАРИАНТ № 34**

1. Инвестиционная политика и капиталовложения в энергетике.
2. Основные направления энергосбережения в промышленности.

**ВАРИАНТ №35**

1. Общая характеристика топливно-энергетического комплекса РБ в части электроэнергетики.
2. Опыт энергосберегающей политики в США

## Раздел 4. Контролируемая самостоятельная работа студентов

### 1. Общие положения

Самостоятельная работа, выполняется на дневном отделении под руководством преподавателя (КСР), состоит КСР по темам лекций и КСР по темам практических занятий. Контроль изучения темы по КСР производится методом устного опроса или в виде контрольной работы. Вариант задания и его содержание определяет преподаватель, исходя из перечня вопросов для самоконтроля.

### 2. Перечень тем, изучаемых самостоятельно

№ п/п	Тема	Объем в часах		
		За счет лекций	За счет ПЗ	Всего
1	Тема 1. Введение	1	–	1
2	Тема 2.1. Виды энергетических ресурсов	–	2	2
3	Тема 3.1. Энергия и ее основные виды	2	–	2
4	Тема 3.2. Традиционные способы получения энергии	–	2	2
5	Тема 6. Основные направления энергосбережения в промышленности, строительстве и АПК	1	–	1
6	Тема 10. Мировой опыт в области энергосбережения	2	–	2
<b>7</b>	<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10</b>

### Тема 1. Введение

#### План:

1. Роль энергии в природе, обществе и на производстве.
2. Распределение потребляемой за год энергии в мире и потреблении энергии различными странами.
3. Классификация распределения и применения энергии по группам использования.
4. Закон сохранения энергии.
5. Эффективность использования и потребления энергии в РБ.

Литература [2, с. 11-18]; [3, с. 11-14, 26-37]; [4, с. 4, 8-11].

**Вопросы для самоконтроля**

1. Что является основным энергетическим источником жизни на земле?
2. От чего зависит уровень развития страны?
3. Какие виды энергии обеспечивают «существенно важные услуги» для жизни человека?
4. Каковы темпы расходования первичных энергоресурсов в 20 веке?
5. Какова доля потребления энергии в промышленно-развитых странах и развивающихся?
6. Приведите классификацию применения энергии по группам использования.
7. Понятие первичной энергии?
8. Что относится к традиционным видам первичной энергии?
9. Сформулируйте закон сохранения энергии.
10. Доля потребления энергии в промышленно-развитых странах и развивающихся?
11. Расход энергоносителей в РБ по отраслям народного хозяйства?

**Тема 2.1 Виды энергетических ресурсов****Тема практического занятия 1. Приборы учета и контроля энерго-ресурсов, тепловой и электрической энергии.****План:**

1. Принцип работы приборов учета расхода электрической энергии (вольтметры, амперметры, ваттметры, счетчики расхода электрической энергии).
2. Принцип работы и устройство приборов для измерения температуры (термометры расширения, манометрические термометры, термопары, термометры сопротивления, пирометры).
3. Принцип работы и устройство приборов для измерения давления.
4. Принцип работы и устройство приборов для измерения расхода (тахометрические, постоянного перепада, переменного перепада, индукционные, ультразвуковые, массовые, и др.).
5. Принцип работы и устройство приборов для измерения количества теплоты.

Литература [4, с. 64 – 72]; [13, с. 34-39, 51-59, 73-76, 86-92, 108-115, 125-128]; [14, с. 315-318, 357-369].

**Вопросы для самоконтроля**

1. Назначение электроизмерительных приборов и их классификация.

2. Как включаются в электрическую цепь измерительный прибор для работы в качестве вольтметра или амперметра?
3. Опишите принцип работы приборов магнитоэлектрической системы.
4. В чем отличие приборов электромагнитной системы от магнитоэлектрической и принцип их работы?
5. Опишите косвенный метод измерения мощности.
6. Опишите устройство ваттметра.
7. Устройство и работа однофазного счетчика активной энергии.
8. Область применения и устройство термометров расширения.
9. Объясните принцип действия манометрических термометров.
10. Устройство термопары и принцип ее работы?
11. Что такое термо-э.д.с. и как она образуется?
12. Что такое термометры сопротивления и принцип их действия?
13. Назначение пирометров и принцип их действия.
14. Разновидности пирометров.
15. Понятие давления и соотношения, связывающие абсолютное, избыточное и атмосферное давления?
16. Приведите классификацию приборов для измерения давления.
17. В чем заключается принцип действия пружинного манометра?
18. Понятие расхода и связь между массовым и объемным расходом?
19. Приведите классификацию расходомеров.
20. Принцип действия тахометрического расходомера?
21. В чем заключается принцип действия расходомеров постоянного перепада?
22. Принцип действия и устройство расходомеров переменного перепада.
23. В чем заключается принцип действия индукционных расходомеров?
24. Принцип действия и преимущество ультразвуковых расходомеров.
25. Принципиальная схема, устройство и принцип действия ионизационных расходомеров.
26. Физический принцип измерения количества теплоты и измерительные системы теплосчетчиков.

### **Тема 3.1 Энергия и ее основные виды.**

#### **План:**

1. Понятие энергии. Классификация видов энергии.
2. Физическая природа различных видов энергии (механической, тепловой, электрической, химической, ядерной и др.).
3. Единицы измерения различных видов энергии и соотношения между ними.
4. Назначение и использование энергии. Общая характеристика современного энергетического производства.

5. Понятие энергетики и энергосистемы. Составляющие компоненты энергосистемы

Литература [2, с. 8-11, 24-25]; [3, с. 38-47].

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Физический смысл понятия «энергия»?
2. Классификация видов энергии.
3. Что такое механическая энергия и ее разновидности?
4. Понятие тепловой и химической энергии.
5. Определение электрической энергии.
6. Что такое ядерная энергия?
7. Определение магнитной и электромагнитной энергии.
8. Единицы измерения энергии и соотношения между ними?
9. Понятие термина энергетика?
10. Определение энергосистемы.
11. Составляющие компоненты энергосистемы.
12. Определение понятия электроэнергетической системы.

### **Тема 3.2. Традиционные способы получения энергии**

#### **План:**

1. Понятие тепловых электростанций и принцип их работы.
2. Принципиальные схемы и работа конденсационных электростанций и теплоэлектроцентралей.
3. Принципиальные схемы и работа атомной электростанции.
4. Схема устройства ядерного реактора на тепловых нейтронах и принцип его работы.
5. Принципиальные схемы и работа газотурбинных установок.
6. Принципиальные схемы и работа парогазовых установок.
7. Принцип получения электрической энергии в гидроэлектростанциях.
8. Схемы, устройство и работа гидроэлектростанций.
9. Принцип работы и устройство гидроаккумулирующих электростанций.

Литература [2, с. 25-28]; [3, с. 48-53]; [4, с. 12-18, 32-34]; [7, с. 48-58, 62-73, 107-126].

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Факторы, определяющие широкое использование электроэнергии?
2. Классификация паротурбинных ТЭС по виду получаемой энергии?
3. Цикл производства электроэнергии на ТЭС?

4. Составьте принципиальную схему КЭС и опишите ее работу.
5. Какие основные агрегаты входят в состав ТЭС?
6. Как называется устройство, в котором получают рабочее тело – пар и принцип его работы?
7. В каком устройстве происходит преобразование тепловой энергии пара в механическую энергию?
8. Составьте принципиальную схему ТЭЦ и опишите ее работу.
9. Составьте схему ядерного реактора на тепловых нейтронах и опишите его работу.
10. Основной принцип получения тепловой энергии в ядерном реакторе.
11. Приведите принципиальную схему 2-ух контурной АЭС и опишите ее работу.
12. Принцип работы газовой турбины?
13. Составьте принципиальную схему газотурбинной установки (ГТУ) и опишите ее работу.
14. Отличительные особенности парогазовой установки (ПГУ) от ГТУ.
15. Составьте принципиальную схему ПГУ и опишите ее работу.
16. Принцип получения электрической энергии на гидроэлектростанции?
17. Перечислите оборудование, входящее в ГЭС и опишите их назначение.
18. Опишите цикл производства электроэнергии на ГЭС.

## **Тема 6. Основные направления энергосбережения в промышленности, строительстве и АПК**

### **План:**

1. Экономические и финансовые механизмы энергосбережения в промышленности. Источники финансирования работ по энергосбережению.
2. Преимущества и выгоды, получаемые промышленными предприятиями от рационального расходования энергоресурсов.
3. Проблемы внедрения энергоменеджмента и аудита на промышленных предприятиях.
4. Опыт России по массовому внедрению энергоменеджмента в управленческие структуры промышленных предприятий.
5. Основные направления Минпрома РБ по энергосбережению. Примеры успешной реализации этих направлений на крупнейших промышленных предприятиях РБ (МАЗ и МТЗ).
6. Причины неэффективного использования ТЭР в АПК РБ.
7. Основные направления энергосбережения в АПК на ближайшую перспективу и увеличение коэффициента полезного использования энергоресурсов.

Литература [2, с. 140-149]; [3, с. 216-240]; [4, с. 43-46].

**Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите основные направления деятельности по энергосбережению.
2. Нормативная и правовая база по энергосбережению.
3. Перечислите основные источники финансирования работ по энергосбережению.
4. Информационная работа с населением по экономии энергоресурсов.
5. Укажите основные проблемы, стоящие сегодня перед промышленными предприятиями.
6. Преимущества, которые получают промышленные предприятия от энергосбережения.
7. Трудности с которыми сталкиваются предприятия при проведении энергоаудита.
8. В чем полезен опыт России для РБ по вопросам энергосбережения?
9. Перечислите основные направления работы Минпрома по энергосбережению.
10. Приведите примеры реализации планов по энергосбережению на МАЗе, МТЗ и других предприятиях РБ.
11. Структура потребления энергоресурсов в АПК.
12. Перечислите основные причины неэффективного использования ТЭР в АПК.
13. Основные направления энергосбережения в АПК на ближайшую перспективу.
14. Укажите основные мероприятия по рациональному использованию электроэнергии в АПК.
15. Перечислите рекомендуемые пути энергосбережения в электроприводах.

**Тема 10    Мировой опыт в области энергосбережения.****План:**

1. Изменение приоритетов в индустриально развитых странах в области энергетики.
2. Опыт стран Юго-Восточной Азии в сфере управления энергосбережением.
3. Национальные программы промышленно-развитых стран по значительному расширению использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии.
4. Законодательный опыт России в области энергосбережения. Объекты государственного регулирования в области энергосбережения.
5. Принципы, на которых основывается энергосберегающая политика России.

6. Опыт энергосберегающей политики в США.
7. Успехи, достигнутые США в области энергосбережения за последние 20 лет.
8. Опыт США по применению дифференцированных тарифов за оплату электроэнергии.
9. Энергосбережение в промышленности Японии. Регулирование энергосбережения в промышленном секторе, а также в зданиях и сооружениях.
10. Опыт работы «кружков качества» по экономии энергии на предприятиях Японии.
11. Повышение эффективности использования энергии в промышленности Дании. Система стимулирования энергосбережения в Дании.

Литература [2, с. 180 – 196]; [3, с. 250-284].

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Чем определяется состояние экономики и жизненный уровень населения государства с позиции энергетики?
2. Перечислите энергосберегающие мероприятия, проводимые в индустриальных странах Юго-Восточной Азии.
3. Шаги, предпринятые в промышленно развитых странах по демонополизации деятельности электроэнергетических компаний.
4. Укажите новые направления в энергетике, которые были предусмотрены в национальных программах промышленно развитых стран мира.
5. В чем суть законодательного опыта России в области энергосбережения?
6. Перечислите основные направления Федеральных программ России в области энергосбережения.
7. Успехи в энергосбережении, достигнутые в США, в период с 1975 по 1995 годы.
8. Опишите опыт США по снижению затрат на освещение зданий.
9. Практика использования дифференцированных тарифов по оплате электроэнергии в США.
10. Снижение потерь тепловой энергии в жилищно-бытовом секторе США.
11. Основные направления энергосбережения в промышленном секторе Японии.
12. Регулирование энергопотребления в зданиях и сооружениях Японии.
13. Меры регулирования энергоэффективности энергоемкого оборудования и транспортных средств в Японии.
14. Работа японских «кружков качества» по внедрению энергосберегающих мероприятий на предприятиях.
15. Система стимулирования энергосбережения, действующая в Дании.
16. Укажите основные факторы, за счет которых было достигнуто снижение энергоемкости в Дании?
17. Суть законодательных инициатив в плане развития энергетики Дании до 2005 г.

## Раздел 5. Вопросы к зачету

### 5.1. Вопросы к зачету для студентов, обучающихся по полной программе.

1. Основные понятия терминов "Энергосбережение", "энергосберегающая политика государства"
2. Энергетические ресурсы. Классификация энергетических ресурсов.
3. Понятие энергии и основные ее виды.
4. На какие группы разбивают энергетические ресурсы?
5. Понятие энергосистем и что в них входит?
6. Классификация паротурбинных ТЭС, и какой вид энергии на них получают?
7. Составьте принципиальную схему КЭС и опишите ее работу.
8. Опишите цикл производства электроэнергии на ТЭС.
9. Приведите принципиальную схему АЭС и опишите ее работу.
10. Принцип получения электрической энергии на гидроэнергетических установках.
11. Понятие вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).
12. Выход и использование вторичных энергетических ресурсов.
13. Выработка ВЭР и ее виды.
14. Классификация ВЭР.
15. Основные направления использования ВЭР.
16. Варианты использования солнечной энергии в РБ.
17. Что такое ветроэнергетика и перспективы применения ВЭУ в РБ.
18. Понятие биоэнергетики и биогаза.
19. Что такое биомасса и источники биомассы.
20. Основные способы переработки биомассы.
21. Виды топлив, получаемых из биомассы.
22. Перспективы использования в РБ малой гидроэнергетики.
23. Основные показатели эффективности использования энергии и их значение для РБ.
24. Классификация энергетических потерь и их краткая характеристика.
25. Перечислите основные причины повышения расхода энергоресурсов.
26. Традиционные направления потребления энергии и их потенциал энергосбережения.
27. Три основных принципа современного энергосбережения.
28. Основные мероприятия, обеспечивающие эффективное энергоиспользование.
29. Перечислите основные направления деятельности по энергосбережению.
30. Основные направления работы Минпрома по энергосбережению.
31. Основные направления энергосбережения в АПК.
32. Основные мероприятия по рациональному использованию электроэнергии в АПК.
33. Основные меры по энергосбережению в жилищно-коммунальном хозяйстве.

34. Перечислите мероприятия, за счет которых может быть достигнута экономия тепла в зданиях и процент распределения тепловых потерь в них.
35. Приведите перечень мероприятий по утеплению квартир.
36. Особенности конструкций «пассивных» домов и их эффективность по энергосбережению.
37. Мероприятия по экономии электрической энергии при пользовании электроплитой.
38. Мероприятия по экономии электрической энергии при пользовании холодильником.
39. Экономия электроэнергии при освещении.
40. Люминесцентные лампы. Их преимущества по сравнению с лампами накаливания.
41. Классификация показателей качества электроэнергии в сетях переменного тока.
42. Влияние изменения частоты переменного тока и отклонения напряжения на экономические показатели работы потребителя электроэнергии.
43. Перечислите основные элементы затрат при исчислении себестоимости энергии.
44. Опишите метод, используемый для исчисления себестоимости затрат энергии на тепловых электростанциях (треугольник Гинтера).
45. Принцип формирования цены на энергию и ее отдельные составляющие.
46. От чего зависят тарифы на теплоэнергию.
47. Одноставочные тарифы за энергию, их преимущества и недостатки.
48. Двухставочные тарифы за электроэнергию и их преимущества.
49. Основные недостатки существующей тарифной политики в РБ.
50. Энергобаланс предприятия и его основные составляющие.
51. Виды электробалансов и главная цель электробаланса.
52. Основные статьи расходной части электробаланса.
53. Задачи, решаемые при составлении электробаланса.
54. Формы учета энергии и что они предполагают.
55. Понятие энергетического аудита.
56. Основные задачи энергоаудита и паспортизации.
57. Этапы проведения энергоаудита. Задачи первого этапа.
58. Классификация норм расхода энергии.
59. Понятие энергоменеджмента. Что включает в себя энергетический менеджмент.
60. Уровни энергетического менеджмента.

## 5.2. Вопросы к зачету для студентов, обучающихся по сокращенной программе.

1. Основные понятия терминов "энергосбережение", и "энергосберегающая политика государства".
2. Энергетические ресурсы. Классификация энергетических ресурсов.
3. Понятие энергии и основные ее виды.
4. На какие группы разбивают энергетические ресурсы?
5. Понятие энергосистем и что в них входит?
6. Классификация паротурбинных ТЭС и какой вид энергии на них получают?
7. Составьте принципиальную схему КЭС и опишите ее работу.
8. Опишите цикл производства электроэнергии на ТЭС.
9. Приведите принципиальную схему АЭС и опишите ее работу.
10. Принцип получения электрической энергии на гидроэнергетических установках.
11. Понятие вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).
12. Выход и использование вторичных энергетических ресурсов.
13. Выработка ВЭР и ее виды.
14. Классификация ВЭР.
15. Основные направления использования ВЭР.
16. Варианты использования солнечной энергии в РБ.
17. Что такое ветроэнергетика и перспективы применения ВЭУ в РБ.
18. Понятие биоэнергетики и биогаза.
19. Что такое биомасса и источники биомассы.
20. Основные способы переработки биомассы.
21. Перспективы использования в РБ малой гидроэнергетики.
22. Основные показатели эффективности использования энергии и их значение для РБ.
23. Классификация энергетических потерь и их краткая характеристика.
24. Перечислите основные причины повышения расхода энергоресурсов.
25. Традиционные направления потребления энергии и их потенциал энергосбережения.
26. Три основных принципа современного энергосбережения и мероприятия, обеспечивающие эффективное энергоиспользование.
27. Основные направления работы Минпрома по энергосбережению.
28. Основные направления энергосбережения в АПК и мероприятия по рациональному использованию электроэнергии.
29. Основные меры по энергосбережению в жилищно-коммунальном хозяйстве.
30. Перечислите мероприятия, за счет которых может быть достигнута экономия тепла в зданиях и мероприятий по утеплению квартир.
31. Особенности конструкций «пассивных» домов и их эффективность по энергосбережению.

32. Мероприятия по экономии электрической энергии в быту (примере по пользованию электроплитой и холодильником).
33. Экономия электроэнергии при освещении.
34. Классификация показателей качества электроэнергии в сетях переменного тока и их влияние на экономические показатели работы потребителя электроэнергии.
35. Перечислите основные элементы затрат при исчислении себестоимости энергии.
36. Опишите метод, используемый для исчисления себестоимости затрат энергии на ТЭЦ (треугольник Гинтера).
37. Принцип формирования цены на энергию и ее отдельные составляющие.
38. От чего зависят тарифы на теплоэнергию.
39. Одноставочные и двухставочные тарифы за электроэнергию их преимущества и недостатки.
40. Основные недостатки существующей тарифной политики в РБ.
41. Энергобаланс предприятия и его основные составляющие.
42. Виды электробалансов и их главная цель.
43. Основные статьи расходной части электробаланса.
44. Формы учета энергии и что они предполагают.
45. Понятие энергетического аудита.
46. Основные задачи энергоаудита и паспортизации.
47. Этапы проведения энергоаудита. Задачи первого этапа.
48. Классификация норм расхода энергии.
49. Понятие энергоменеджмента. Что включает в себя энергетический менеджмент.
50. Уровни энергетического менеджмента.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ****Основная литература**

1. Закон Республики Беларусь об энергосбережении. // Энергоэффективность. - 1998. - № 7.- С 2-5.
2. Самойлов М.В. Основы энергосбережения: Учебное пособие. / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. –Мн.: БГЭУ, 2002. –198с.
3. Свидерская О.В. Основы энергосбережения: Курс лекций.- Мн.: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2003. -296с.
4. Основы энергосбережения: Цикл лекций. / Под ред. Н.Г. Хутской. –Мн.: Тэхнологія, 1999. -100 с.
5. Основы энергосбережения: Учебное пособие/Б.И. Врублевский, С.Н. Лебедев и др.; Под ред. Б.И. Врублевского.- Гомель: ЧУП "ЦНТУ "Развитие", 2002. – 190с.

**Дополнительная литература**

6. Харитонов В.В. и др. Вторичные теплоэнергетические ресурсы и охрана окружающей среды. –Мн.: 1988.
7. Непорожний П.С., Обрезков В.И. Введение в специальность: Гидроэлектроэнергетика: Учебное пособие для вузов. –М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Твайдел Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. –М.: 1987.
9. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха /Под ред. Л.Д.Богуславского. М.: Стройиздат, 1990. – 624с.
10. Теплотехника / Под ред. А.П. Баскакова. М.: 1991.
11. Государственная программа энергосбережения на 1996-2000гг. – Мн., 1996.
12. Государственная программа энергосбережения на 2001-2005гг. – Мн., 2001.
13. Жарковский Б.И. Приборы автоматического контроля и регулирования (устройство и ремонт): Учеб. для ПТУ. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 336 с.
14. Попов В.С. Электротехнические измерения и приборы, изд. 7-е, переработанное, М. – Л., Госэнергоиздат, 1963, 544 с.