

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емец Валерий Сергеевич  
Должность: Директор филиала  
Дата подписания: 19.10.2023 19:26:00  
Уникальный программный ключ:  
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Рязанский институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Механико-технологические дисциплины»

**Е. И. Лопатин**

**ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Методические указания

Рязань  
2019

**УДК 621.31(075.8)**  
**ББК 40.76я73**  
**Л77**

**Лопатин, Е. И.**

**Л77** Электростанции современной энергетики: Методические указания – Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2019. – 42 с.

Методические указания по самостоятельному обучению и выполнению контрольных работ по дисциплине студентов направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

В методических указаниях представлены предложения по самостоятельному изучению и выполнению контрольных работ по дисциплине «Электростанции современной энергетики».

Печатается по решению методического совета Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

**УДК 621.31(075.8)**  
**ББК 40.76я73**

© Е. И. Лопатин, 2019  
© Рязанский институт (филиал)  
Московского политехнического  
университета, 2019

## Содержание

Введение .....	4
1 Общие рекомендации по работе над дисциплиной «Электростанции современной энергетики» .....	7
1.1 Темы для самостоятельного изучения .....	8
1.2 Методические указания по выполнению и оформлению контрольной работы .....	11
2 Темы самостоятельной работы студента .....	12
2.1 Парогазовые установки .....	12
2.2 Перспективы использования возобновляемых источников электроэнергии .....	14
2.3 Ветроэнергетика .....	27
3 Задачи для контрольной работы студентов .....	33
Заключение .....	40
Библиографические источники .....	41

## **Введение**

Дисциплина «Электростанции современной энергетики» изучается студентами заочного отделения на первом курсе обучения, базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплины «Введение в специальность» и позволяет расширить теоретические и практические знания по существующим и перспективным технологиям тепло- и электроснабжения, принятым в качестве основных для энергосистем Российской Федерации.

## **Цели и задачи освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины «Электростанции современной энергетики» является изучение способов рационального использования различных типов энергоресурсов с высокой эффективностью, надежностью и безопасностью. Студенты должны представлять современное состояние энергетики в России и за рубежом и возможности ее эффективного развития в ближайшее десятилетие.

Задачами данной дисциплины для студентов являются получение представления о техническом уровне и состоянии энергетики и теплоэнергетики России.

## **Место дисциплины в структуре ООП ВПО**

Дисциплина «Электростанции современной энергетики» относится к вариативной части гуманитарного, социального и экономического цикла учебного плана подготовки бакалавров.

Дисциплина «Электростанции современной энергетики» тесно взаимосвязана с такими дисциплинами математическо-научного цикла, как «Физика», «Математика» и другими. В дисциплине изучаются основы тепло- и электроэнергетики, теоретических основ теплотехники и электротехники, подробно рассматриваются физические основы работы и конструкций всего основного оборудования электрических станций и сетей. Изучение дисциплины позволяет получить представление о техническом устройстве энергетического оборудования, энергетическом хозяйстве, эксплуатационных службах электростанций и энергосистем, изучить современные технические решения для модернизации и обновления энергетических предприятий, тенденции развития энергетики и энергомашиностроения.

В дисциплине «Электростанции современной энергетики» внимание уделяется не только «физической» стороне явлений, но и количественным характеристикам оборудования и процессов, таких, как удельный расход условного топлива на производство электрической и тепловой энергии, коэффициенты полезного действия, мощности и параметры установок, агрегатов и электростанций, габаритные размеры оборудования, потребности, например, тепловых электростанций в топливе, охлаждающей воде и т.д.

## **Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате изучения дисциплины «Электростанции современной энергетики» формируются следующие компетенции или их составляющие:

- способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);
- готовность к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции (ОК-7);
- владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, готовность использовать компьютер как средство работы с информацией (ОК-11);
- способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин (ПК-2);
- готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способность привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-3);
- способность и готовность анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-6);
- готовность к самообучению и организации обучения (ПК-23).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- исторические, социальные и экологические аспекты дисциплины;
- состав и основные понятия топливно-энергетического комплекса;
- место электроэнергетики в энергетической стратегии России;
- устройство и функционирование современной ТЭС, работающей на органическом топливе;
- устройство и функционирование современной ТЭЦ;
- устройство водоподогревательной установки мощной ТЭЦ;
- устройство и функционирование АЭС различного типа;
- устройство современных паровых турбин;
- парогазовые установки электростанций;
- устройство современных стационарных газотурбинных установок;
- технический уровень и состояние энергетики и теплоэнергетики России;
- зарубежные классические паротурбинные энергоблоки нового поколения;
- техническую стратегию обновления теплоэнергетики России;
- стратегию продления ресурса и реновации работающих ТЭС;
- теоретические основы электротехники;
- краткую историю электроэнергетики, электроэнергетические системы;
- устройство генераторов электростанций;
- общие сведения об электрических схемах станций и подстанций;
- общие сведения о конструкции линий электропередач;
- общие сведения о системах электроснабжения;

- порядок регулирования напряжения и частоты в энергосистемах;
- основные сведения о релейной защите.

Уметь:

- использовать основные физические величины, используемые в практике производства и потребления электрической и тепловой энергии при выполнении курсовых, дипломных и всех других выпускных квалификационных работ (бакалаврских и магистерских) по специальности;
- производить выбор основных критериев оценки качества тепловой и электрической энергии при выполнении выпускных квалификационных работ по специальности.

Владеть:

- способностью к обобщению, анализу, восприятию информации;
- способностью поиска метода и обработки информации как вручную, так и с применением современных информационных технологий;
- способностью оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы.

## **1 Общие рекомендации по работе над дисциплиной «Электростанции современной энергетики»**

Работа студента над дисциплиной «Электростанции современной энергетики» складывается из следующих элементов:

- самостоятельного изучения тем дисциплины по учебникам и учебным пособиям с последующей самопроверкой;
- индивидуальных консультаций (очных и письменных);
- посещения лекций;
- посещения практических занятий;
- выполнения контрольной работы;
- компьютерного тестирования;
- дифференцированного зачета.

### **Самостоятельная работа**

Перед самостоятельной работой необходимо предварительно внимательно ознакомиться с содержанием дисциплины и ее программой.

При первом чтении студент должен получить общее представление об излагаемых вопросах, обратив особое внимание на общий подход к изучаемой теме. При повторном чтении нужно параллельно вести конспект, в который необходимо заносить все основные понятия и закономерности рассматриваемой темы, математические зависимости и их выводы.

Переходить к изучению новой темы следует только после полного изучения теоретических вопросов по предыдущей теме.

### **Самопроверка**

Закончив изучение темы, необходимо ответить на контрольные вопросы для самопроверки и внести коррективы в конспект, который впоследствии поможет при повторении материала в период подготовки к зачёту.

### **Консультации**

При возникновении затруднений, препятствующих последовательному изучению теоретической части дисциплины, поиску ответов на вопросы для самопроверки или решению контрольных заданий, следует обращаться за письменной или устной консультацией к преподавателю в университет. При этом необходимо указать вопрос, вызывающий затруднение, место в учебнике, где он разбирается.

### **Лекции**

В период установочной или экзаменационной сессии студентам читаются лекции обзорного характера, на которых рассматриваются основные темы и вопросы, вызывающие затруднения при самостоятельном изучении.

### **Практические занятия**

В период установочной или экзаменационной сессии проводятся практи-

ческие занятия, позволяющие студентам приобрести навыки решения практических задач.

#### Контрольная работа

В процессе изучения дисциплины «Электростанции современной энергетики» студент должен самостоятельно выполнить контрольную работу и своевременно сдать её на проверку. Контрольная работа состоит из четырех заданий с примерами решения. Таблицы с вариантами заданий контрольной работы, требования и методические указания по её выполнению приведены в соответствующем разделе данной методической разработки.

#### Компьютерное тестирование

После того как студенты прослушают курс обзорных лекций, они проходят обязательное компьютерное тестирование на выпускающей кафедре. Студент, не прошедший обязательное тестирование на выпускающей кафедре, к дифференцированному зачёту не допускается.

#### Дифференцированный зачёт

Студенты получают допуск к дифференцированному зачёту после освоения данной дисциплины, выполнения контрольной работы и успешного прохождения компьютерного тестирования. Дифференцированный зачёт проводится в соответствии с утвержденным расписанием.

### **1.1 Темы для самостоятельного изучения**

#### Раздел 1

##### 1.1 Введение в современную теплоэнергетику

О физических величинах, используемых в практике производства и потребления электрической и тепловой энергии. Некоторые свойства водяного пара и воды. Некоторые свойства топлив, сжигаемых на тепловых электростанциях. Некоторые свойства материалов для энергетического оборудования. Энергетика и электрогенерирующие станции.

##### 1.2 Устройство и функционирование современной ТЭЦ

Снабжение теплом промышленных предприятий и населения крупных и средних городов. Понятие о теплофикации. Представление о тепловых сетях крупных городов. Раздельная и комбинированная выработка электроэнергии и тепла. Термодинамическое преимущество комбинированной выработки. Распределение экономии топлива от теплофикации на выработанные электроэнергию и теплоту. Показатели качества работы ТЭЦ. Устройство ТЭЦ и технологический процесс получения горячей сетевой воды на ТЭЦ.

##### 1.3 Устройство водоподогревательной установки мощной ТЭЦ

Схема водоподогревательной установки ТЭЦ. График тепловой нагрузки



тепловые сети и работа водоподогревательной установки на ТЭЦ. Устройство сетевого подогревателя.

#### 1.4 Устройство и функционирование АЭС различного типа

Место атомной энергетики в мире, России и в её европейской части. Ресурсы, потребляемые АЭС, её продукция и отходы производства. Представление о ядерных реакторах различного типа. Сравнение реакторов типов ВВЭР и РБМК. Текущее положение и перспективы строительства АЭС в России и за рубежом.

#### 1.5 Устройство современных паровых турбин

Устройство паровой турбины. Проточная часть и принцип действия турбины. Конструкция основных узлов и деталей паровых турбин. Конструкция основных узлов и деталей паровых турбин. Конструкция основных узлов и деталей паровых турбин. Типы паровых турбин и области их использования. Основные технические требования к паровым турбинам и их характеристики.

1.6 Устройство современных стационарных газотурбинных установок  
Устройство современной высокотемпературной ГТУ. Преимущества, недостатки и области применения ГТУ. Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных ГТУ.

## Раздел 2

### 2.1 Парогазовые установки электростанций

Понятие о парогазовых энергетических технологиях и устройство простейшей ПГУ. Классификация ПГУ, их типы, преимущества и недостатки. Парогазовые установки утилизационного типа. Устройство горизонтального котла-утилизатора. Место в зарубежной энергетике и тенденции их развития.

### 2.2 Технический уровень и состояние энергетики и теплоэнергетики России

Понятие о техническом уровне энергетики и теплоэнергетики. Номенклатура генерирующих теплоэнергетических мощностей и структура выработки электроэнергии. Возрастной состав оборудования ТЭС и ТЭЦ России. Экономичность электростанций. Оценка технического уровня ТЭС России.

2.3 Зарубежные классические паротурбинные энергоблоки нового поколения

Основные пути совершенствования энергетического оборудования классических ТЭС. Сравнительный анализ технического уровня отечественных и зарубежных паровых турбин. Переход к суперсверхкритическим параметрам пара. Совершенствование тепловой схемы турбоустановки. Параметры и технические характеристики зарубежных классических энергоблоков нового поколения. Основные причины низкой экономичности ТЭС России.

## 2.4 Техническая стратегия обновления теплоэнергетики России

Техническая стратегия обновления теплоэнергетики для различных регионов России. Состояние и перспективы создания современных высокотемпературных ГТУ российским энергомашиностроением. Проблемы и перспективы создания российских паротурбинных энергоблоков нового поколения. Котлы с циркулирующим кипящим слоем.

## 2.5 Стратегия продления ресурса и реновации работающих ТЭС

Методы реновации ТЭС и проблема продления ресурса. Последствия длительной работы металла при высокой температуре и истощение ресурса. Технология обеспечения и продления ресурса элементов энергетического оборудования. Управление сроком эксплуатации элементов энергетического оборудования.

## 2.6 Газотурбинная установка энергоблока ПГУ-450Т

Общее описание ГТУ. Устройство камер сгорания. Устройство газовой турбины и система её охлаждения. Сборка ГТУ, транспортировка на ТЭЦ и установка в машинном зале. Развитие конструкций ГТУ фирмы Siemens и место ГТУ V94.2 в этом развитии.

## Раздел 3

### 3.1 Котельная установка парогазовой установки ПГУ-450Т

Тепловая схема котельной установки. Конструкция котла-утилизатора ПГУ-450Т.

### 3.2 Паровая турбина, конденсационная и теплофикационная установки энергоблока ПГУ-450Т

Конструкция паровой турбины Т-170-7,8. Особенности работы паровой турбины в составе ПГУ-450Т в конденсационном и теплофикационном режимах. Конденсационная установка и конструкция конденсатора. Теплофикационная установка энергоблока ПГУ-450Т.

### 3.3 Тепловые схемы промышленных и отопительных котельных

Назначение, классификация и области использования котельных для производства теплоты в системах теплоснабжения промышленных предприятий. Паровые котельные. Водогрейные котельные. Области их рационального использования. Методы выбора количества и типоразмеров водогрейных котлов, устанавливаемых в котельной. Методы выбора количества рабочих и резервных котлоагрегатов, их типоразмеров и состава вспомогательного оборудования в зависимости от величины и характера присоединенных тепловых нагрузок, используемого топлива и категорийности потребителей пара.

### 3.4 Теоретические основы электротехники

Предмет, основные разделы и понятия теоретических основ электротех-

ники. Электрические цепи: элементы, схемы, законы, классификация. Электромагнитные процессы и режимы электрических цепей. Режим синусоидального тока. Мощности в цепях синусоидального тока. Трёхфазные цепи: фазные и линейные токи, напряжения, мощности.

### 3.5 Электроэнергетические системы

Основные понятия электроэнергетики. Развитие электроэнергетики России. Электроэнергетические системы. Электрические сети.

#### Структура лекций

Лекция № 1 – Обзорная лекция по разделам № 1-2 (2 часа).

Лекция № 2 – Обзорная лекция по разделам № 2-3 (2 часа).

#### Структура практических занятий

Практическое занятие № 1 – Решение задач по разделам № 1 (2 часа).

Практическое занятие № 2 – Решение задач по разделам № 2 (2 часа).

Практическое занятие № 3 – Решение задач по разделам № 3 (2 часа).

## **1.2 Методические указания по выполнению и оформлению контрольной работы**

К выполнению контрольной работы следует приступать только после изучения соответствующего теоретического материала и определения необходимых исходных данных. Только сознательное («не механическое») решение задачи приносит пользу и помогает закреплению знаний. Согласно учебному плану, необходимо выполнить одну контрольную работу, состоящую из четырех заданий. При выполнении контрольной работы рекомендуется придерживаться следующих правил:

1) контрольные задания, выполненные не по своему варианту, не рассматриваются. Номер варианта берётся по цифре номера зачётной книжки студента. Год поступления в РИ(Ф)МПУ при определении вашего варианта не учитывается, так как он у всех в группе одинаковый (в данном примере 08). Вариант определяется по цифре 16 (в середине шифра), где 1 – первая цифра номера, 6 – вторая цифра номера. На установочной лекции номер вашей зачётной книжки записывается в журнал учета преподавателя;

2) при решении задач необходимо делать письменные пояснения, приводить соответствующие формулы, обязательно указывать размерности используемых в расчётах величин (невыполнение последнего требования равносильно ошибке);

3) вычисления производить при помощи инженерного калькулятора или компьютера с достаточной для инженерных расчётов точностью. Графики и диаграммы должны быть построены в масштабе, желательно на миллиметровой бумаге;

4) в ответах следует придерживаться общепринятых терминов и обозначений. Результаты решения должны быть представлены в единицах СИ;

5) текст следует писать разборчиво, оставляя поле для замечаний рецензента, страницы нумеровать, выполненное задание подписать.

## **2 Темы самостоятельной работы студента**

### **2.1 Парогазовые установки**

В газотурбинной установке турбину вращают газообразные продукты сгорания топлива. Топливом может служить как природный газ, так и продукты нефтяной промышленности (дизельное топливо). На одном валу с турбиной находится генератор, который за счёт вращения ротора вырабатывает электрический ток. Проходя через газовую турбину, продукты сгорания отдают лишь часть своей энергии и на выходе из неё, когда их давление уже близко к наружному и работа не может быть ими совершена, все ещё имеют высокую температуру. С выхода газовой турбины продукты сгорания попадают в паросиловую установку, в котёл-утилизатор, где нагревают воду и образующийся водяной пар. Температура продуктов сгорания достаточна для того, чтобы довести пар до состояния, необходимого для использования в паровой турбине (температура дымовых газов около  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  позволяет получать перегретый пар при давлении около 100 атм). Паровая турбина приводит в действие второй электрогенератор (схема multi-shaft).

Широко распространены парогазовые установки, у которых паровая и газовая турбины находятся на одном валу, в этом случае используется только один, чаще всего двухприводный генератор (схема single-shaft). Такая установка может работать как в комбинированном, так и в простом газовом цикле с остановленной паровой турбиной. Также часто пар с двух блоков ГТУ – котёл-утилизатор направляется в одну общую паросиловую установку (рисунок 1).



Рисунок 1 – Парогазовая установка 115 МВт Дягилевской ТЭЦ

Иногда парогазовые установки создают на базе существующих старых паросиловых установок (схема topping). В этом случае уходящие газы из новой газовой турбины сбрасываются в существующий паровой котёл, который соответствующим образом модернизируется. КПД таких установок, как правило, ниже, чем у новых парогазовых установок, спроектированных и построенных «с нуля».

На установках небольшой мощности поршневая паровая машина обычно эффективнее, чем лопаточная радиальная или осевая паровая турбина, и есть предложение применять современные паровые машины в составе ПГУ.

Преимущества ПГУ:

- парогазовые установки позволяют достичь электрического КПД более 60 %. Для сравнения, у работающих отдельно паросиловых установок КПД обычно находится в пределах 33-45 %, для газотурбинных установок – в диапазоне 28-42 %;

- низкая стоимость единицы установленной мощности

- парогазовые установки потребляют существенно меньше воды на единицу вырабатываемой электроэнергии по сравнению с паросиловыми установками;

- короткие сроки возведения (9-12 мес.);

- нет необходимости в постоянном подвозе топлива железнодорожным или морским транспортом;

- компактные размеры позволяют возводить непосредственно у потребителя (завода или внутри города), что сокращает затраты на ЛЭП и транспортировку электрической энергии;

- более экологически чистые в сравнении с паротурбинными установками.

Недостатки ПГУ:

- необходимость осуществлять фильтрацию воздуха, используемого для сжигания топлива;

- ограничения на типы используемого топлива. Как правило в качестве основного топлива используется природный газ, а резервного – дизельное топливо. Применение угля в качестве топлива возможно только в установках с внутрицикловой газификацией угля, что сильно удорожает строительство таких электростанций. Отсюда вытекает необходимость строительства недешевых коммуникаций транспортировки топлива – трубопроводов;

- сезонные ограничения мощности. Максимальная производительность в зимнее время.

Применение на электростанциях:

- Северо-Западная ТЭЦ – первая электростанция в России, использующая парогазовый цикл;

- Аргентинская ТЭС Костанера – первая электростанция в Южной Америке, использующая парогазовый цикл.

## 2.2 Перспективы использования возобновляемых источников энергии

В преддверии грядущего сокращения потребления органических энергоносителей, которые человечество так не рационально продолжает использовать, проблема получения энергии от возобновляемых источников становится всё более актуальной. По оценке экспертов, при нынешних объёмах добычи угля на Земле хватит на 400-500 лет, а нефти и газа – максимум на столетие. Поэтому перед человечеством стоит задача освоения экологически чистых, возобновляемых источников энергии.

По существу, речь идёт об использовании энергии Солнца для получения электромагнитной и тепловой энергии по двухступенчатой схеме преобразования без ухудшения экологии планеты. Энергия Солнца и ветра поистине неисчерпаема и утвердилось мнение, что устройство солнечных станций и установка ветрогенераторов не вносит практически никаких изменений в природу. Однако затенение огромных площадей солнечными станциями большой мощности и ослабление потоков ветра полями ветроустановок приводит к изменению теплового баланса почвы и вентилируемости атмосферы больших, многомиллионных городов и в итоге к отрицательному воздействию на человека, как и всякое другое техногенное вмешательство в дела природы.

Разумеется, все страны мира стремятся к использованию «бесплатной» энергии Солнца, но географическое положение и природные условия ограничивают это стремление. Откроем атлас ветров России и убедимся, что средняя скорость ветра в Центральном Федеральном округе не превышает 3-5 м/с. По справочным данным установим, что максимальная мощность генератора в этом случае не превысит 3-5 кВт. Следовательно, один-два ветряка для экзотики можно установить, тем более что возможна и некоторая польза, но строить ветровую станцию, ввиду малой её мощности и больших занимаемых площадей, нецелесообразно. Цена киловатт-часа значительно превысит аналогичный показатель тепловых станций, если учесть комплектацию каждого ветряка аккумулятором, зарядным устройством, инвертором и устройством сопряжения с сетью промышленной частоты.

Россия имеет самый большой в мире ветровой потенциал, ресурсы её ветровой энергии определены в 10,7 ГВт. К благоприятным зонам развития ветроэнергетики относятся Северо-Запад страны (Мурманская и Ленинградская области), северные территории Урала, Курганская область, Калмыкия, Краснодарский край, Дальний Восток. В целом технический потенциал ветровой энергии России оценивается более чем в 50000 млрд. кВт·ч/год, экономический потенциал составляет 260 млрд. кВт·ч/год, т.е. около 20 % производства электроэнергии всеми электростанциями страны. Реализованы эти возможности незначительно. В настоящее время в России насчитывается более 13 МВт установленной мощности (0,1 % всей вырабатываемой в стране энергии). Самой мощной на сегодняшний день считается ветроэлектростанция в Калининградской области, введённая в строй в 2002 году (первая установка – в 1999 г.) и состоя-

шая из 21 установки, переданной в дар властями Дании (все ВЭУ – производства Vestas).

Её суммарная мощность составляет 5,1 МВт. Всего в работе находятся следующие системные ВЭС:

- 1) Калининградская ВЭС (см. выше);
- 2) Воркутинская ВЭС мощностью 1,5 МВт (агрегаты НПО «Южное»);
- 3) Камчатская ВЭС (о. Беринга, п. Никольское) – 2 ВЭУ мощностью 250 кВт производства Micon, Дания;
- 4) Тюпкельды ВЭС (г. Октябрьский, Башкирия) – 4 ВЭУ мощностью 550 кВт производства НАG, Германия;
- 5) Ростовская ВЭС – 10 ВЭУ мощностью 30 кВт производства HSW, Германия;
- 6) Мурманская ВЭС – 1 ВЭУ мощностью 200 кВт, производства Micon, Дания;
- 7) Чукотская ВЭС – 10 ВЭУ мощностью 250 кВт производства НПО «Ветроэн».

Следует также упомянуть также малые ветроустановки устанавливаемые в Сибири на удаленных станциях сотовой связи и запланированное строительство ВЭС на Кольском полуострове мощностью 200 МВт.

Помимо сетевых ВЭУ, в России созданы и выпускаются небольшими партиями малые ВЭУ на современном технологическом уровне. Среди их изготовителей: МКБ «Радуга» (8-16 кВт), ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор» (40, 500 и 1000 Вт), НПК «Ветроток» (4 и 16 кВт), АО «Долина» (2 и 5 кВт), ООО «Спецремтекс» (1,5 кВт), НПО «Электросфера» (5 кВт). В январе 2009 г. Премьер-министром РФ В.В. Путиным подписано Постановление Правительства № 1-р о доведении к 2020 г. доли ВИЭ в электрогенерации России до 20 % (15,5 % должно вырабатываться большими гидростанциями, 4,5 % – другими видами ВИЭ, в т. ч. и ВЭС). Суммарные цели по ВИЭ подразумевают долю ВЭС к 2020 г. – примерно 1 % (17,5 млрд. кВт·ч при суммарной установленной мощности ВЭС 7 ГВт).

Посмотрим на карту солнечной инсоляции (количество солнечной энергии, попадающей на поверхность Земли) регионов России и убедимся, что в разных регионах России годовая инсоляция находится в пределах от 800 кВт·ч/м<sup>2</sup> до 1900 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Для Московского региона годовая инсоляция одного квадратного метра горизонтальной площадки составляет около 1100 кВт·ч/м<sup>2</sup>, т.е. количество солнечной энергии, поступающей в географическую зону Центрального Федерального Округа, сравнимо с Германией, месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации, кВт·ч/м<sup>2</sup> приведены в таблице 1.

В среднем за сутки это составит около 3-х кВт·ч с одного квадратного метра некоторого условного преобразователя солнечной энергии с коэффициентом полезного действия (КПД) в 100 % (если учесть солнечную радиацию по месяцам, то получим диапазон от 0,4 до 5,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>). Коэффициент полезного действия реального фотоэлектрического преобразователя на основе кремния (солнечной батареи) около 16 % (данные новейших лабораторных разработок

на других основах 30-40 %), поэтому эта цифра реально уменьшится до 0,48 кВт·ч в сутки при цене одного квадратного метра солнечной батареи более 2000 рублей. Далее последует уменьшение КПД на 10 % ежегодно за счёт деградации кристалла кремния и неизбежный вывод о нецелесообразности использования солнечных батарей в нашем регионе.

Таблица 1 – Справочные данные

Москва, широта 55.7°	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Горизонтальная солнечная панель	16,4	34,6	79,4	111,2	161,4	166,7	166,3	130,1	82,9	41,4	18,6	11,7	1020,7
Вертикальная солнечная панель	21,3	57,9	104,9	93,5	108,2	100,8	108,8	103,6	86,5	58,1	38,7	25,8	908,3
Наклон солнечной панели 40°	20,6	53	108,4	127,6	166,3	163	167,7	145	104,6	60,7	34,8	22	1173,7
Вращение солнечной панели вокруг полярной оси	21,7	62,3	132,9	161,4	228	227,8	224,8	189,2	126,5	71,6	42,2	26	1514,3

Выход видится (и он практически единственный в настоящий момент) в использовании солнечных водонагревательных установок, КПД которых достигает 95 %. В настоящее время общая площадь солнечных водонагревательных установок в России не превышает 20 тыс. м<sup>2</sup>, что на порядок меньше, чем в других странах и чем было в СССР. В основном это отставание связано с недопониманием уровня развития и техническими возможностями гелиотехники, поскольку количество солнечной энергии, поступающей в географическую зону Московской области, сравнимо с Германией, где на данный момент площадь используемых солнечных коллекторов больше 6,5 млн. м<sup>2</sup>, т. е.: Германия и Московская область, получают равное количество Солнечной энергии, только она почему-то слабо используется. Отметим, что во всем мире в настоящее время работает более 180 млн. м<sup>2</sup> солнечных коллекторов, обеспечивающих теплоснабжение потребителей. Большая их часть построена в Китае (59 %), на втором месте – Европа (14 %). Солнечные коллекторы выпускают 186 крупных фирм в 41 стране.

Одна из главных составляющих частей гелиосистемы солнечный коллектор, превращающий солнечную энергию в тепловую путём поглощения солнечной энергии, которая переносится видимым и ближним инфракрасным излучением. Существует множество разных конструкций и технологий, которые позволяют получать тепловой поток в солнечные дни до 1200 Вт/м<sup>2</sup>, а в пас-



мурные до  $400 \text{ Вт/м}^2$ . В одном из вариантов конструкции основным элементом коллектора является абсорбер (пластина из меди или алюминия, черненная, матовая с одной стороны по специальной технологии). Эта пластина имеет синеватый отлив и способна поглощать требуемый спектр солнечного излучения многократно выше, чем при покрытии пластины самой черной из всех возможных красок или пигментов. С обратной стороны к пластине прикреплены медные трубки, через которые проходит теплоноситель – вода или антифриз. Остальная часть коллектора состоит из корпуса с теплоизоляцией и защитного покрытия (как правило, используется закалённое стекло), оно обеспечивает защиту от града, мелких камней, веток, а также пропускает нужные спектры солнечного излучения и снижает обратное пропускание отраженной части солнечного излучения обратно. Поскольку теплоноситель имеет очень высокую температуру, его нельзя напрямую подавать в батареи отопления или в кран горячей воды. Такой теплоноситель подаётся в теплообменник, аккумулирующий теплоту.

В гелиосистемах производства фирмы «Прогресс-XXI» используется высокоэффективный вакуумный трубчатый солнечный коллектор (рисунок 2). Вакуумная тепловая труба автономна и состоит из сверхпрочного боросиликатного стекла. Внешняя трубка – прозрачная, а внутренняя имеет специальное селективное покрытие, которое обеспечивает максимальное поглощение теплоты при минимальном отражении.



Рисунок 2– Гелиосистема с теплообменником

Для поддержания вакуума между внутренней и внешней трубками в солнечном водонагревателе «Прогресс-XXI» используется бариетовый газопоглотитель, который  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2$ , которые выделяются из трубы в про-

цессе хранения и эксплуатации, и является чётким визуальным индикатором состояния вакуума в трубке солнечного коллектора.

При загазованности трубки бариевый слой из серебристого становится белым, что позволяет определить целостность трубы вакуумного солнечного водонагревателя. При наличии солнечных лучей (прямых, рассеянных) поглощение теплоты происходит в медной трубке, которая находится внутри вакуумной трубы и содержит неорганическую нетоксичную жидкость, которая испаряется при нагревании и испаряется, а поскольку в трубке низкое давление, то это происходит даже при температуре минус 25-30 °С. Пар поднимается к наконечнику (конденсатора) тепловой трубки, где отдаёт теплоту теплоносителю (антифризу), который течёт по теплопроводу гелиоколлектора. Потом он конденсируется и стекает вниз, и процесс повторяется снова.

Солнечный водонагреватель с вакуумными трубками показывает отличные результаты даже в пасмурные дни, поскольку они способны поглощать энергию инфракрасных лучей, которые проходят через тучи. Благодаря изоляционным свойствам вакуума, влияние ветра и низких температур на работу гелиосистемы также незначительно по сравнению с влиянием на плоский солнечный коллектор. Система с вакуумным солнечным коллектором успешно работает до минус 35 °С. Вакуумные трубы круглые, благодаря этому количество солнечного излучения, которое попадает на гелиоколлектор остаётся постоянным с утра до вечера, что увеличивает суммарную поглощаемую энергию в сравнении с плоским. Трубы установлены в солнечном водонагревателе параллельно, угол их наклона зависит от географической широты места установки системы отопления. Ориентированные из севера на юг, на протяжении дня трубки вакуумного солнечного коллектора пассивно двигаются за солнцем. Вакуумные солнечные коллекторы полностью пригодны для ремонта: в случае необходимости трубку можно заменить без остановки солнечного водонагревателя. За необходимостью вакуумные трубки можно добавлять (при недостатке теплоты) или частично снимать (если есть его избыток), уменьшая площадь гелиоколлектора. Вакуумные солнечные коллекторы отлично справляются с обеспечением дома горячей водой, отоплением квартиры, подогревом бассейнов, теплиц, работают в системах вентиляции, кондиционирования и отопления зданий. Работа гелиосистемы «Прогресс-XXI» проста, как с точки зрения эксплуатации, так и обслуживания и кроме вакуумного солнечного коллектора содержит насосный узел для перекачки теплоносителя от солнечного коллектора к баку; контроллер, который руководит работой всей системы; бак-аккумулятор горячей воды и пиковый доводчик (тепловой насос, электрический ТЭН или другой источник). Общий случай организации солнечной водонагревательной установки из собственно солнечного коллектора, теплообменного контура и аккумулятора тепла (бака с водой) показан на рисунке 3. Через солнечный коллектор циркулирует теплоноситель (жидкость). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе энергией солнца и отдаёт затем тепловую энергию воде через теплообменник, смонтированный в бак-аккумулятор. В бак-аккумуляторе хранится горячая вода до момента ее использования, поэтому он должен иметь хорошую теплоизоляцию. В первом контуре, где расположен

солнечный коллектор, может использоваться естественная или принудительная циркуляция теплоносителя. В бак-аккумулятор может устанавливаться электрический нагреватель-дублер. В случае понижения температуры воды в баке-аккумуляторе ниже установленной (продолжительная пасмурная погода или малое количество часов солнечного сияния зимой) нагреватель дублёр автоматически включается и нагревает воду до заданной температуры.

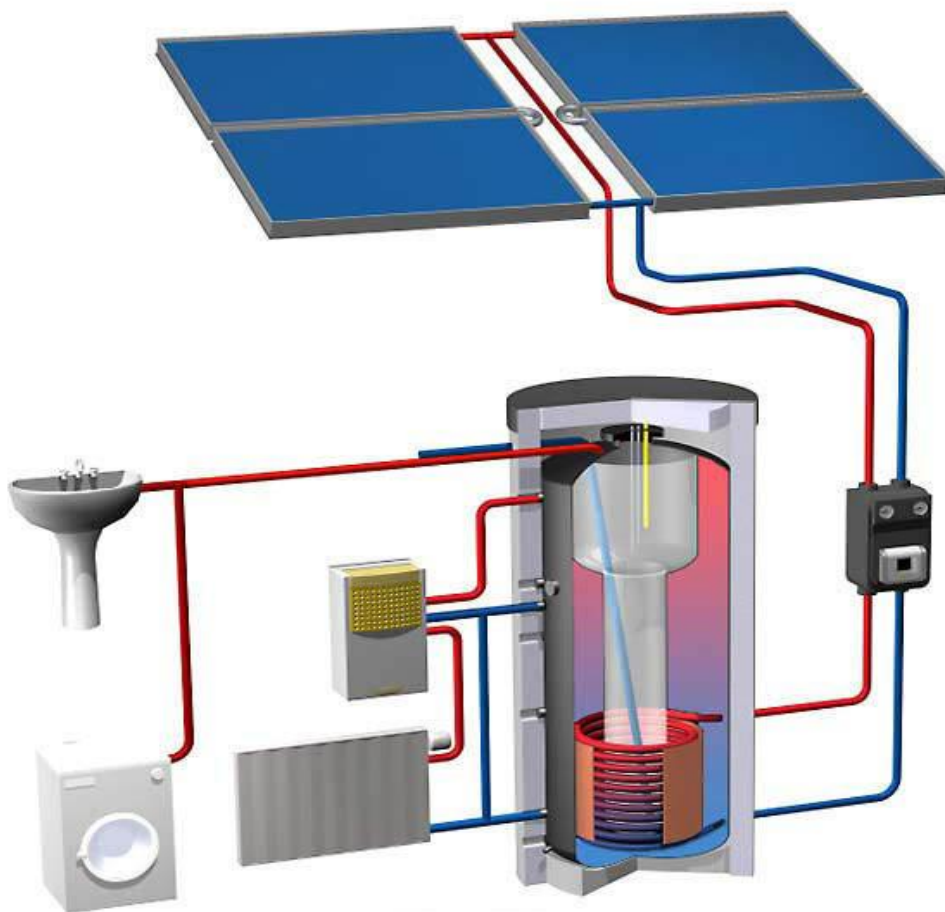


Рисунок 3 – Схема организации солнечной водонагревательной установки

Основное применение солнечных коллекторов в мире – для нагрева воды в системах горячего водоснабжения. Экономические выгоды приведены в таблице 2.

По данным таблицы 2 можно сделать вывод, что электронагреватели воды выгоднее для небольших хозяйств со сравнительно небольшим расходом горячей воды. Солнечные водонагреватели целесообразно использовать для хозяйств с большим расходом горячей воды и для целей отопления, в районах с высокими ценами на электроэнергию или в местах, где электроэнергия недоступна.

Для сравнения в приведённой ниже таблице 3 даны расходы на установку и содержание различных отопительных систем для хорошо теплоизолированного дома площадью менее  $100 \text{ м}^2$  и потребностью в отоплении за сезон  $25200 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  тепловой энергии.

Таблица 2 – Сравнительный анализ двух водонагревателей

Солнечный водонагреватель	Электрический водонагреватель
Расходы на содержание в год: 0-1 000 руб.	Расходы на содержание в год: 2 000-6 000 руб.
Расходы на содержание за 10 лет: до 10 000 руб.	Расходы на содержание за 10 лет: до 60 000 руб.
Объём: 150-300 л.	Объём: 60-120 л
Срок службы: 15-30 лет	Срок службы: 10-15 лет
Не загрязняет окружающую среду	Способствует загрязнению окружающей среды
Не зависит от расценок на электро- энергию	Расходы увеличиваются ежегодно с ростом тарифов на электроэнергию
Горячая вода доступна независимо от доступа к электроэнергии	Нагрев воды недоступен в случае отклю- чения электроэнергии

Таблица 3 – Сравнительные затраты теплоносителей

Источник энергии	Капи- тальные затраты	Стои- мость 1 кВт·ч	кВт·ч за сезон	Экспл. затраты за сезон	Общие за- траты за 10 лет	Общие затраты за 20 лет
Дизельное топливо	300000	1,90	25200	47880	778800	1257600
Электрическая энергия	40000	1,80	25200	45360	493600	947200
Дрова	80000	0,70	25200	17640	256400	432800
Солнечные коллекторы	240000	0,60	25200	15120	391200	542400

Система солнечных коллекторов является комбинированной с электрической и считается, что использует в среднем 70 % солнечной энергии и 30 % электрической. Для упрощения опустим расходы на содержание и примем срок службы 20 лет. По данным таблицы 6 наиболее экономически эффективной (и с наименьшими трудозатратами) является комбинированная система солнечных коллекторов и электронагревателей, которая за 20 лет получается в 2,5 раза дешевле дизельной и почти в два раза дешевле чисто электрической. А за весь срок жизни дома экономия будет еще выше, тем более, что цены на все энергоносители будут расти, а солнечная энергия так и останется бесплатной. Например, при цене 3 руб. за 1 кВт·ч электроэнергии система солнечных коллекторов сэкономит за 10 лет около 300 тыс. руб., а за 20 лет 700 тыс. руб. без учёта затрат на техническое обслуживание, ремонт и инфляцию. Нужно отметить, что такую выгоду для отопления могут обеспечить только качественные вакуумные коллекторы модели 20-21 с U-трубками производства компании Himin или такого же качества других производителей, и которые является примером наиболее эффективного и в то же время сравнительно компактного солнечного коллектора.

Такой коллектор при правильной установке (на южную сторону под углом 50-60°, без затенения) за отопительный сезон обеспечивает около 2200 кВт·ч тепловой энергии, что соответствует теплу от примерно 400 кг каменного угля или 200 л дизельного топлива (в зависимости от КПД печи или котла количество может быть больше или меньше). Но уголь и дрова надо постоянно запасать и закидывать в печь, а топливо привозить и заливать. В то время как солнечная энергия поступает сама (в светлое время суток, интенсивно в течение 6-8 ч) и распределяется в систему отопления дома автоматически.

Из вышеизложенного следует, что при всей привлекательности использование возобновляемых источников электроэнергии в центральной России не эффективно при ориентации на большие мощности. Однако, если поставить вопрос о компенсации потерь электроэнергии при транспортировании от генерирующих установок до потребителя, то идея становится более привлекательной. С этой целью рассмотрим структуру коммерческих потерь электроэнергии.

Потери электроэнергии при передаче от электростанции до потребителя неизбежны в силу ряда объективных причин, поэтому уровень потерь является важнейшим показателем экономичности работы энергоснабжающей организации, технического состояния электрооборудования станций и потребителей и системы учёта электроэнергии, а также эффективности их энергосбытовой деятельности. Решения в развитии, реконструкции и техническом перевооружении электрических сетей принимаются с учётом потерь электроэнергии. Следствием этих решений является совершенствование методов и средств их эксплуатации и автоматизации управления электрическими сетями, а также в повышении точности измерения и учёта отпускаемой и потребляемой электроэнергии, эффективности и своевременности сбора денежных средств за поставленную потребителям всех уровней электроэнергию и т.п.

Принято считать, что относительные потери электроэнергии, при передаче от электростанции до потребителя, в электрических сетях большинства наиболее промышленно развитых стран мира можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4-5 % от выработанной электроэнергии.

Потери электроэнергии на уровне 10 % можно считать максимально допустимыми с точки зрения физики передачи электроэнергии по сетям, а уровень потерь более 12 % абсолютно недопустимым. Отметим, что особое внимание к проблеме снижения потерь электроэнергии в электрических сетях связано как с грядущим кризисом органических энергоносителей, так и с возникновением ряда негативных тенденций, отрицательно влияющих на уровень потерь в сетях, таких как: устаревшее оборудование (износ до 70 %), физический и моральный износ средств учёта электроэнергии, несоответствие установленного оборудования передаваемой мощности вследствие недостаточной развитости электрических сетей. Поэтому проблема снижения потерь электроэнергии в электрических сетях актуальна, поскольку связана с решением обеспечением финансовой стабильности энергоснабжающих организаций (реализация планов модернизации электрических сетей) и экономически обоснованного, качественного и надежного электроснабжения потребителей.

Одним из видов потерь электроэнергии, влияющих на финансовое благополучие энергоснабжающих организаций, являются коммерческие потери, в создании которых участвуют две стороны, как производители, так и потребители электроэнергии [7].

Степень их участия следует из определений:

**Абсолютные потери электроэнергии** – разность электроэнергии, отпущенной в электрическую сеть генерирующей компанией и полезно отпущенной потребителям электроснабжающей организацией.

**Технические потери электроэнергии** – потери, обусловленные физическими процессами передачи, распределения и трансформации электроэнергии, определяются расчётным путём по методикам электроснабжающих организаций. Технические потери электроэнергии делятся на условно-постоянные и переменные (зависящие от электрической нагрузки).

**Коммерческие потери электроэнергии** – потери, определяемые как разность абсолютных и технических потерь (структура коммерческих потерь приведена в таблице 4).

Таблица 4 – Причины коммерческих потерь электроэнергии

Коммерческие потери электроэнергии	
Потери из-за недостатков энергосбытовой деятельности	Потери при востребовании оплаты за потребленную электроэнергию
- потери при выставлении счетов; - потери из-за несоответствия дат снятия показаний расчетных счётчиков с расчётным периодом; - потери из-за расчётов потребленной электроэнергии абонентом на основе договоров без учётного электропотребления и др.	- задержки платежей; - недоплата или неполная оплата и др.
Потери из-за ограничения потребляемой мощности	Хищение электроэнергии
- неоплата мощности ограничения	- незаконное подключение к сетям электроснабжения; - мошенничество с приборами учета и др.
Потери на истребование долгов, выявление и ликвидация хищения электроэнергии	Потери из-за нарушения качества электроэнергии
- судебные расходы; - транспортные расходы и др.	- законный отказ от оплаты некачественной электроэнергии или уменьшение платежей; - затраты на ремонт электроустановок, локализацию и ликвидацию причин нарушения качества электроэнергии.



Необходимо отметить, что в большинстве случаев коммерческие потери электроэнергии обусловлены конкретными объективными причинами, в том числе и человеческим фактором. Однако, потребители электроэнергии с преимущественно однофазной нагрузкой, к которым относятся учреждения здравоохранения, образования, жилищно-коммунальное хозяйство и др. обеспечивают значительную долю (до 50 %) коммерческих потерь за счёт несимметричных режимов работы и являются вероятными виновниками ухудшения качества электроэнергии.

Однако финансовая ответственность за потери, созданные в этом случае потребителем, перекладывается на поставщиков электроэнергии.

Подключение несимметричных электрических нагрузок даже в синусоидальном режиме без компенсирующих устройств приводит к появлению токов обратной последовательности, дополнительных потерь, пульсаций мгновенной мощности и не симметрии напряжения, в конечном итоге к ухудшению качества энергии.

Дополнительные потери при несимметричной электрической нагрузке, а она составляет около 40 % всей нагрузки промышленного предприятия и 80 % для жилищно-бытового комплекса, могут даже превышать потери от реактивной мощности. При этом предельно допустимое значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, в точках общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям с номинальным напряжением 0,38 кВ превышает 10 % вместо 4 % [7]. Поскольку эти дополнительные потери не влияют на количество электроэнергии, зафиксированной счетчиками потребителя, то в проигрыше остается энергоснабжающая организация, которая в свою очередь закладывает эти потери в тарифы на электроэнергию для потребителя. Поэтому расчёт дополнительных потерь электроэнергии при несимметричных режимах представляется актуальной и довольно интересной задачей, для решения которой необходимо рассмотреть в качестве исходных симметричные режимы, а затем частичные и полные несимметричные режимы.

В синусоидальном режиме энергетические процессы, в точках общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям несимметричной трехфазной электрической нагрузки, полностью определяются комплексами действующих значений фазных напряжений и токов (в общем случае трёхмерными комплексными векторами с вещественными координатами)

$$U = \begin{bmatrix} \dot{U}_a \\ \dot{U}_b \\ \dot{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_a e^{j\psi_a} \\ U_b e^{j\psi_b} \\ U_c e^{j\psi_c} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Известно, что скалярное произведение трёхмерных комплексных векторов (транспонированный вектор напряжения  $m$  на комплексно сопряженный вектор тока) в случае синусоидального режима позволяет определить полную комплексную мощность трехфазной электрической нагрузки

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (2)$$

В этом случае действительная и мнимая части полной комплексной мощности (2) определяют активную и реактивную мощности трёхфазной нагрузки

$$P = P_a + P_b + P_c, Q = Q_a + Q_b + Q_c. \quad (3)$$

В случае синусоидального режима активная и реактивная мощности жестко связаны между собой через модуль полной комплексной мощности, который можно назвать геометрической мощностью трёхфазной нагрузки (в математике это среднегеометрическое)

$$S_G = |\dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c|. \quad (4)$$

При синусоидальном режиме и симметричной нагрузке (комплексные проводимости фаз равны) геометрическая мощность трёхфазной нагрузки, определяемая как произведение модулей трёхмерных комплексных векторов, будет равна геометрической мощности, вычисляемой по

$$S = \sqrt{U_a^2 + U_b^2 + U_c^2} \cdot \sqrt{U_a^2 + U_b^2 + U_c^2}, \quad (5)$$

т. е. выполняется равенство  $S_B = S_G$ .

В случае синусоидального симметричного режима в точке подключения несимметричной нагрузки напряжение смещения нейтрали и ток в нейтральном проводе будут отличны от нуля и поэтому векторное произведение трёхмерных комплексных векторов с вещественными координатами позволяет определить мощность не симметрии нагрузки (мощность небаланса)

$$D = U \cdot I. \quad (6)$$

Вектор D будет нулевым только при синусоидальном симметричном режиме и симметричной нагрузке (как произведение двух нулевых векторов), а при несимметричной нагрузке вектор D считают трёхмерным вектором реактивной (по определению векторного умножения) мощности небаланса (все слагаемые выражения (6) имеют размерность мощности), (7) а его модуль – действующей величиной реактивной мощности небаланса.

В случае синусоидального режима при несимметричных напряжениях фаз и несимметричной нагрузке вектор D геометрически суммируется с вектором полной мощности симметричного режима, поэтому справедливо следующее соотношение

$$|I|^2 \cdot |U|^2 = |U^m \cdot I^n| \cdot |U \cdot I|^2. \quad (8)$$

Следовательно

$$S_B^2 = S_u^2 + D_u^2. \quad (9)$$



Таким образом, геометрическая мощность трёхфазной нагрузки в случае синусоидального режима при несимметричных напряжениях фаз и несимметричной нагрузке включает в себя и дополнительные потери, обусловленные током небаланса и напряжением смещения нейтрали и имеющие смысл потерь от реактивной мощности, не учитываемые счётчиками активной энергии энерго-снабжающей организации

$$S_B^2 = P^2 + Q^2 + D_u^2. \quad (10)$$

Поскольку вектор напряжения смещения нейтрали и ток в нейтральном проводе (ток небаланса) обусловлены как несимметрией фазных напряжений, так и несимметрией сопротивлений фаз нагрузки, то мощность небаланса (вектор D) можно определить также векторным произведением вектора смещения напряжения нейтрали на вектор тока нейтрали

$$D_u = \dot{U}_N \cdot \dot{I}_N. \quad (11)$$

Наличие дополнительных потерь, обусловленных током небаланса и напряжением смещения нейтрали, приводит к несимметричным падениям напряжения, ухудшению качества электроэнергии, уменьшению коэффициента мощности, недоучёту электроэнергии, т. е. к увеличению коммерческих потерь.

В идеальном случае коммерческие потери электроэнергии в электрической сети, должны быть равны нулю. Очевидно, однако, что в реальных условиях отпуск от генерации в сеть, полезный отпуск потребителю и технические потери определяются с погрешностями. Разности этих погрешностей фактически и являются структурными составляющими коммерческих потерь.

К основным составляющим погрешностей измерений отпущенной в сеть и полезно отпущенной электроэнергии относятся:

- погрешности измерений электроэнергии в нормальных условиях работы измерительных комплексов ИК, определяемые классами точности трансформаторов тока ТТ, трансформаторов напряжения ТН и счётчика электроэнергии СЭ;
- дополнительные погрешности измерений электроэнергии в реальных условиях эксплуатации ИК, обусловленные;
- заниженным против нормативного коэффициентом мощности нагрузки (дополнительной угловой погрешностью);
- влиянием на СЭ магнитных и электромагнитных полей различной частоты; недогрузкой и перегрузкой ТТ, ТН и СЭ;
- не симметрией и уровнем подведенного к ИК напряжения;
- работой СЭ в не отапливаемых помещениях с недопустимо низкой температурой и т.п.;
- недостаточной чувствительностью СЭ при их малых нагрузках, особенно в ночные часы;
- систематические погрешности, обусловленные сверхнормативными сроками службы ИК;

- погрешности, связанные с неправильными схемами подключения электросчетчиков, ТТ и ТН, в частности, нарушениями фазировки подключения счетчиков;

- погрешности, обусловленные неисправными приборами учёта электроэнергии;

- погрешности снятия показаний электросчетчиков из-за ошибок или умышленных искажений записей показаний;

- не одновременности или невыполнения установленных сроков снятия показаний счетчиков, нарушения графиков обхода счетчиков;

- ошибок в определении коэффициентов пересчёта показаний счетчиков в электроэнергию.

Следует отметить, что при одинаковых знаках составляющих погрешностей измерений отпуска в сеть и полезного отпуска коммерческие потери будут уменьшаться, а при разных – увеличиваться. Это означает, что с точки зрения снижения коммерческих потерь электроэнергии необходимо проводить согласованную техническую политику повышения точности измерений отпуска в сеть и полезного отпуска. В частности, если, например, односторонне уменьшать систематическую отрицательную погрешность измерений (модернизировать систему учёта), не меняя погрешность измерений, коммерческие потери при этом возрастут, что, кстати, имеет место на практике.

Коммерческая составляющая потеря, обусловленная занижением полезного отпуска из-за недостатков энергосбытовой деятельности, включает в себя:

- неточность данных о потребителях электроэнергии, в том числе, недостаточной или ошибочной информацией о заключенных договорах на пользование электроэнергией;

- ошибками при выставлении счётов, в том числе не выставленными счётами потребителям из-за отсутствия точной информации по ним и постоянного контроля за актуализацией этой информации;

- отсутствием контроля и ошибками в выставлении счётов клиентам, пользующимся специальными тарифами;

- отсутствием контроля и учёта откорректированных счетов и т. п.

Потери от хищений электроэнергии являются наиболее существенной составляющей коммерческих потерь. Опыт борьбы с хищениями электроэнергии в различных странах обобщается специальной экспертной группой по изучению вопросов, касающихся кражи электроэнергии и неоплаченных счётов (неплатежей). При этом термин «кража электроэнергии» применяется только в тех случаях, когда электроэнергия не учитывается или не полностью регистрируется по вине потребителя, либо, когда потребитель вскрывает счетчик или нарушает систему подачи электропитания с целью снижения учитываемого счётчиком расхода потребляемой электроэнергии.

Обобщение международного и отечественного опыта по борьбе с хищениями электроэнергии показало, что в основном этими хищениями занимаются бытовые потребители. Имеют место кражи электроэнергии, осуществляемые промышленными и торговыми предприятиями, но объём этих краж нельзя считать определяющим. Хищения электроэнергии имеют достаточно чёткую тен-

денцию к росту, особенно в регионах с неблагополучным теплоснабжением потребителей в холодные периоды года. А также практически во всех регионах в осенне-весенние периоды, когда температура воздуха уже сильно понизилась, а отопление еще не включено.

Как правило, в осенне-зимние и зимне-весенние периоды года имеют место недоплаты за электроэнергию, а в весенне-летние и летне-осенние периоды эти недоплаты в определенной мере компенсируются. В докризисный период эта компенсация была практически полной, и потери электроэнергии за год редко, когда имели коммерческую составляющую. В настоящее время осенне-зимние и зимне-весенние сезонные недоплаты за электроэнергию намного превышают в большинстве случаев суммарную оплату в другие периоды года. Поэтому коммерческие потери имеют место по месяцам, кварталам и за год в целом.

Коммерческие потери электроэнергии нельзя измерить, их можно с той или иной погрешностью вычислить. Значение этой погрешности зависит не только от погрешностей измерений объёма хищений электроэнергии, наличия «бесхозных потребителей», других рассмотренных выше факторов, но и от погрешности расчёта технических потерь электроэнергии. Чем более точными будут расчёты технических потерь электроэнергии, тем, очевидно, точнее будут оценки коммерческой составляющей.

## 2.3 Ветроэнергетика

Традиционно энергия ветра в России использовалась главным образом для помола зерна деревянными четырёхлопастными ветряными мельницами число которых достигало 200 тыс. шт., средней мощностью 3,5 кВт. Самые большие мельницы имели диаметр ветроколеса 20-24 м и мощность 10-15 кВт. Ветряные мельницы перемалывали в год около 34 млн. тонн зерна. Все ветряные мельницы были местного крестьянского производства, их постройка основывалась на многолетнем практическом опыте.

Теоретические и экспериментальные работы по ветродвигателям начали проводиться в 1920-х годах, в результате чего для нужд сельского хозяйства были разработаны многолопастные ветродвигатели цельнометаллической конструкции диаметром 5-8 м (ТВ-5 и ТВ-8). Массовое производство этих установок относится к 1936 г., когда было построено 1300 установок, укомплектованных поршневыми насосами. Производительность ТВ-5 составляла 1 м<sup>3</sup>/ч при скорости ветра 3 м/с и 5 м<sup>3</sup>/ч при  $V = 5$  м/с. ТВ-8 обеспечивала в 3-3,5 раза большую производительность. К довоенному периоду относится также разработка ВЭУ с ветроколёсами диаметром 8 и 12 м. Последний агрегат был укомплектован генератором 15 кВт. Он использовался на станциях Северного морского пути и показал высокую надёжность в работе в условиях Крайнего Севера.

Первая в мире ВЭС мощностью 100 кВт с асинхронным генератором была разработана в ЦАГИ и построена в Крыму недалеко от г. Севастополь в 1931 г. Станция работала на местную энергосистему, она имела диаметр вет-

роколеса 30 м. Станция успешно работала, но была разрушена в 1942 г. во время войны.

В 50-х годах в СССР ветродвигатели выпускали 44 завода. Максимальный уровень производства был достигнут в 1955 г. 9142 шт. Наибольшим спросом пользовался ветродвигатель ТВ-8, который стал применяться не только для подъема воды, но и для переработки кормов. На водоснабжение ферм в России в 7 областях в 1958 г. работали 2352 установки. Ветродвигатели окупали себя за 1-2 года работы. Ветродвигатель Д-12 также использовался для механизации трудоемких процессов в животноводстве и для подъема воды. Более 3 тыс. радиоузлов в стране в 1956 г. питалось от АБ, заряжаемых с помощью ветроэлектрических агрегатов типа ВЭ-2 мощностью 100 кВт. На базе ветроагрегата Д-18 была создана ветродизельная электростанция мощностью 100 кВт и многоагрегатная мощностью 400 кВт.

С развитием электрификации сельского хозяйства ВЭУ стали терять свое прежнее значение для села. Задачей ветроэнергетики на новом этапе стало обеспечение энергией объектов сельского хозяйства, не подключенных к электросетям. Это отгонные пастбища Поволжья, Сибири, Казахстана, Туркмении. В период с 1968 по 1975 гг. в ряде организаций были разработаны новые ветроэлектрические агрегаты мощностью от 1 до 30 кВт. Наиболее удачной оказалась конструкция двухлопастного ветроагрегата АВЭУ-6 с диаметром ветроколеса 6 м и мощностью 4 кВт. Серийное производство АВЭУ-6 было организовано в НПО «Ветроэн». Объем годового производства в 80-е годы составлял 400-500 шт. АВЭУ-6 применялся в составе установок различного назначения: для подъема воды и обогрева помещений, для заряда аккумуляторов на маяках, для опреснения морской и солоноватой воды, для катодной защиты магистральных водопроводов. В частности, ветроагрегатов обеспечивали теплоснабжение бытовых помещений в Антарктиде на станции Новолазаревская. НПО «Ветроэн» освоило также серийное производство зарядных ветроагрегатов мощностью 100250 Вт и водоподъемных ветроагрегатов механического типа производительностью до 1 м<sup>3</sup>/ч.

В настоящее время серийно производятся только малые ВЭУ мощностью от 0,1 до 10 кВт, но разработаны и прошли опытную проверку ветроагрегаты больших мощностей. Начато создание ВЭС мощностью 24 МВт под Элистой (Калмыкия). Работает ВЭС «Заполярная» (г. Воркута) мощностью 2,0 МВт, оборудованная сетевыми ветроагрегатами отечественной разработки типа АВЭ-250. В условиях России с её огромными по площади и слабо заселёнными северными территориями наибольшие перспективы имеют автономные ВЭУ, а также гибридные системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Хотя энергия ветра известна человечеству многие тысячелетия её использование для производства электрической энергии бурно развивалось в последние 10-15 лет. К настоящему времени в мире установлено более 20000 ветроэлектрических агрегатов, общая мощность которых превышает 16 млн. кВт. Современные ветроэнергетические установки (ВЭУ) имеют мощность от единиц киловатт до нескольких мегаватт и позволяют экономически эффективно с

высокой степенью надежности преобразовывать энергию ветра. ВЭУ могут использоваться для различных целей, начиная от заряда аккумуляторных батарей (АБ) и энергоснабжения различных объектов (дома, фермы и пр.) до подачи электроэнергии в сети централизованного электроснабжения.

Возрастающий интерес к проблемам использования ВИЭ связан с увеличением до невиданных ранее масштабов потребления ископаемого топлива. В настоящее время понимание того, что запасы органического топлива истощаются и его использование во все возрастающих объемах ведет к загрязнению окружающей среды стало всеобщим. Выделение углекислого газа, приводящего к глобальному потеплению, в России достигло 16 т в год на одного жителя; в Европе – 12 т. Выделение двуокиси серы является причиной участившихся в последние десятилетия кислотных дождей. В будущем неизбежно сокращение потребления органического топлива и его замена другими источниками энергии. Использование ВИЭ наиболее привлекательно, так как оно не нарушает естественного баланса энергии, получаемой нашей планетой. В ближайшем будущем ожидается значительный рост использования ВИЭ. В настоящее время доля возобновляемой энергии в энергобалансе Европы составляет около 12 %.

В России ВИЭ используются не так широко, а их доля в производстве электроэнергии составляет менее 1 % (без учёта крупных ГЭС). Однако перспективы их применения велики. Около 60 % территории страны, преимущественно сельскохозяйственного использования, имеют плотность электрической нагрузки 0,5-10 кВт/м<sup>2</sup>. Электроснабжение населения и производственных объектов здесь обеспечивается, как правило, за счёт дизельных электростанций. Постоянный рост цен на привозное жидкое топливо делает экономически целесообразным привлечение в энергобаланс этих территорий местных, в том числе возобновляемых энергоресурсов.

Валовой потенциал ВИЭ, которым располагает Россия, эквивалентен 4-5·10<sup>12</sup> тонн условного топлива, а экономический потенциал нетрадиционных ВИЭ составляет около 30 % её годового энергопотребления. До 80 % ВИЭ могут быть использованы в сфере сельского хозяйства, что будет способствовать повышению надежности энергообеспечения, экологической чистоте и повышению продуктивности сельскохозяйственного производства России. Ветроэнергетический потенциал нашей страны составляет около 1/4 общего потенциала всех видов ВИЭ.

Ветер меняется в зависимости от времени суток и сезона года. Причем в зимние месяцы скорость ветра обычно выше, чем летом. Дневные изменения скорости ветра наблюдаются, как правило, вблизи морей и больших озер. Утром солнце нагревает землю быстрее, чем воду, поэтому ветер дует в направлении побережья. Вечером же земля остывает быстрее, чем вода, поэтому ветер дует от побережья. Скорость ветра зависит от высоты над уровнем земли. Близко к земле ветер замедляется за счёт трения о земную поверхность. Таким образом, ветры бывают сильнее на больших высотах по отношению к земле. Для сельскохозяйственных полей и пустынных территорий при увеличении высоты над поверхностью земли в два раза наблюдается увеличение скорости ветра приблизительно на 12 %.

На скорость ветра оказывают значительное влияние географические условия и характер земной поверхности, включая различные природные и искусственные препятствия, такие, как холмы и пр., а также деревья и здания. По этой причине ВЭУ располагают, по возможности, на возвышенных и удаленных от высоких деревьев, жилых домов и других сооружений местах, т.к. такие препятствия снижают скорость ветра и приводят к завихрениям потока, затрудняющим преобразование энергии ветра.

Среднегодовая скорость ветра ( $V_c$ ) характеризует ветровой потенциал территории. Средние скорости ветра могут быть вычислены и для других периодов, например, месячные, дневные, часовые. Энергия, заключенная в ветре, находится в кубической зависимости от величины скорости ветра. Удвоение скорости ветра дает увеличение энергии в 8 раз. Таким образом, средняя скорость ветра 5 м/с может дать примерно в 2 раза больше энергии, чем ветер со средней скоростью 4 м/с. Характеристики ветра измеряются на метеостанциях. На основе данных многолетних наблюдений скоростей ветра в различных областях России составляются специализированные карты ветров (атлас ветров России).

Современные ВЭУ – это машины, которые преобразуют энергию ветра в механическую энергию вращающегося ветроколеса, а затем в электрическую энергию. В настоящее время применяются две основные конструкции ветроагрегатов (рисунок 4):

- 1) горизонтально-осевые;
- 2) вертикально-осевые.



Рисунок 4 – Конструкции ветроагрегатов

Оба типа ВЭУ имеют примерно равный КПД, однако наибольшее распространение получили ветроагрегаты первого типа. Мощность ВЭУ может быть от сотен ватт до нескольких мегаватт. Ранее в ветроустановках применялись

ветроколеса так называемого «активного» типа (карусельного типа, Савониуса и др.), использующие силу давления ветра (в отличие от выше указанных ветроколес, использующих подъемную силу). Однако такие установки имеют очень низкий КПД (менее 20 %), поэтому в настоящее время для производства энергии не применяются.

Основные компоненты установок обоих типов:

- ветроколесо (ротор), преобразующее энергию набегающего ветрового потока в механическую энергию вращения оси турбины. Диаметр ветроколеса колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров. Частота вращения составляет от 15 до 100 мин<sup>-1</sup>. Обычно для соединенных с сетью ВЭУ частота вращения ветроколеса постоянна. Для автономных систем с выпрямителем и инвертором – обычно переменная;

- мультипликатор – промежуточное звено между ветроколесом и электрогенератором, который повышает частоту вращения вала ветроколеса и обеспечивает согласование с оборотами генератора. Исключение составляют ВЭУ малой мощности со специальными генераторами на постоянных магнитах; в таких ветроустановках мультипликаторы обычно не применяются;

- башня (её иногда укрепляют стальными растяжками), на которой установлено ветроколесо. У ВЭУ большой мощности высота башни достигает 75 м. Обычно это цилиндрические мачты, хотя применяются и решетчатые башни; основание (фундамент), предназначено для предотвращения падения установки при сильном ветре.

Автономные ветроэлектрическая система энергоснабжения работает независимо от сети централизованного энергоснабжения. В этих условиях ВЭУ может функционировать самостоятельно или в качестве компонента комбинированной системы энергоснабжения. Как правило, маломощные автономные ВЭУ генерируют постоянный ток для заряда аккумуляторной батареи (АБ). Система содержит инвертор для преобразования постоянного тока в переменный с напряжением 230 В. В настоящее время в России получили распространение такие ветроэнергетические установки мощностью до 0,5 кВт. Разработаны и используются опытные образцы ВЭУ мощностью 2,5; 5; 8 и 10 кВт. Более мощные системы, используемые, например, для электроснабжения нескольких объектов, обычно генерируют переменный ток.

Приоритетным направлением развития ветроэнергетики в России на ближайшее время будет автономное использование малых и средних ВЭУ в отдаленных регионах Крайнего Севера, т.к. там сосредоточены основные ветроэнергетические ресурсы страны, низкая плотность населения, отсутствуют крупные электрические сети и имеется около 17 тыс. малых населённых пунктов, где целесообразно использовать ВЭС для целей энергоснабжения. В 1996-1998 г.г. в Мурманской и Архангельской областях установлены первые автономные ВЭУ мощностью 10 кВт.

Гибридная энергосистема подразумевает использование ВЭУ совместно с другими источниками энергии (дизель-генератор, солнечные модули, микроГЭС и т. п.). Соотношение мощности компонентов системы зависит от схемы генерирования нагрузки и ресурсов ветра (рисунок 5).





Рисунок 5 – Гибридная энергетика

Использование режима раздельной работы ВЭУ и ДЭС позволяет поднять долю участия ветроустановки до 50-60 % и более. Однако, в этом случае неизбежно усложнение системы за счет необходимости введения системы управления, инверторного оборудования и АБ, которые аккумулируют энергию, вырабатываемую ветроагрегатом при рабочих скоростях ветра для питания нагрузки в безветренную погоду или при небольших скоростях ветра. Всякий раз, когда это возможно, энергия получается за счёт ВЭУ, а АБ непрерывно подзаряжаются. В периоды ветрового затишья, когда заряд АБ падает ниже определенного уровня, для обеспечения потребителей энергией автоматически (или вручную) запускается дизель-генератор. Ветро-дизельные системы рассматриваемого типа в настоящее время используются в Архангельской и Мурманской областях России.

Гибридные ветро-дизельные системы мощностью от 2 до 500 кВт различных конструкций и назначения в настоящее время испытываются, разрабатываются или планируются к реализации в рамках Федеральной программы «Энергоснабжение удаленных территорий Крайнего Севера РФ». Как правило, эти гибридные системы предназначены для надежного электроснабжения автономных потребителей с одновременной экономией жидкого топлива.

Электрическая энергия может быть получена за счёт преобразования солнечного излучения фотоэлектрическими батареями (ФБ). Несмотря на довольно высокую, в настоящее время, стоимость ФБ, их использование совместно с ВЭУ в некоторых случаях может быть эффективным. Поскольку зимой существует большой потенциал ветра, а летом в ясные дни максимальный эффект можно получить, используя ФБ, то сочетание этих ресурсов оказывается выгодным для потребителя.

ВЭУ могут использоваться в комбинации с микроГЭС, имеющими резервуар для воды. В таких системах при наличии ветра ветроагрегат питает нагрузку, а излишки энергии используются для закачивания воды с нижнего



бъефа на верхний. В периоды ветрового затишья энергия вырабатывается микроГЭС. Подобные схемы особенно эффективны при малых ресурсах гидроэнергии.

ВЭУ, подключенные к энергосетям, подразумевают связь с какой-либо существующей энергетической сетью, которая поставляет ветроустановке активную и реактивную мощность для обеспечения запуска, работы и контроля ветроагрегата. Это означает, что электроэнергия, выработанная ВЭУ, поступает непосредственно в сеть. ВЭУ начинают вырабатывать энергию при некоторой скорости ветра, обычно около 4 м/с для большинства современных установок. Ток возбуждения берется из сети и используется для синхронизации генератора ВЭУ. Это означает, что если сеть отключена, то ветроагрегат не может производить энергию. Соединенные с сетью ВЭУ устанавливаются на территориях с хорошими ветроэнергетическими ресурсами для производства электроэнергии с целью продажи её энергетическим компаниям. Группа таких турбин составляет так называемую «ветроферму».

Ветроферма – это комплекс ВЭУ, часто установленных рядами, которые перпендикулярны господствующему направлению ветра. При разработке такого проекта нужно учитывать наличие дорог для доступа к агрегатам, подстанции и мониторинговой и контрольной систем. Обычно участок земли, отведенный под ветроферму, используется и на другие нужды, например, сельскохозяйственные. Обычно в ветрофермах используются крупные ветроагрегаты мощностью от 200 кВт до 1,5 МВт и выше. При этом общая мощность ветрофермы может достигать десятков и сотен мегаватт. В штате Калифорния (США), например, за счёт использования ветроферм производится столько электроэнергии, что её хватает для удовлетворения потребностей в энергии крупного города, такого, как Сан-Франциско, в течение года.

### 3 Задачи для контрольной работы студентов

#### Задача № 1

Использование солнечной энергии для отопления «чёрного солнечного дома». «Чёрный солнечный дом» с большим окном с южной стороны размером  $H \cdot L$  (высота, длина) и массивной зачернённой стенкой с северной стороны (таблица 1). Толщина поглощающей стенки, изготовленной из бетона ( $\vartheta$ ), его плотность  $\rho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$ , коэффициент пропускания стекла  $\tau_n = 0,9$ , коэффициент поглощения стенки  $\alpha_n = 0,8$ .

Определить:

Какой требуется поток солнечного излучения, чтобы нагреть воздух в комнате на  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  градусов выше наружного.

Температуру воздуха в доме в 8 часов утра, т. е. через 16 часов. Температура наружного воздуха  $T_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Теплоёмкость бетона  $c = 840 \text{ Дж} \cdot \text{кг} \cdot \text{К}$ . Удельное термическое сопротивление потерям тепла из комнаты наружу через стекло  $r = 0,07 \text{ м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{Вт}$ .

Таблица 1 – Исходные данные

Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$H$ , м	3	4	5	4	5	3	5	4	3	5	3	4	5	4	5
$L$ , м	5	3	4	6	5	4	4	3	6	3	6	4	5	4	6
$v$ , м	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3

**Задача № 2**

Зная площадь бассейна  $F \cdot 10^3$ , км<sup>2</sup> и среднюю величину прилива  $R$ , м (таблица 2). Оценить приливной потенциал бассейна  $\mathcal{E}_{ном}$ , используя формулу Л. Б. Бернштейна.

Таблица 2 – Исходные данные

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$F \cdot 10^3$ , км <sup>2</sup>	1	1,2	1,4	1,5	1,8	2,0	2,4	2,2	2,6	2,8	1	1,2	1,5	2,0	2,2
$R$ , м	7	8	9	10	11	12	13	14	15	12	11	10	9	8	7

**Задача № 3**

Размеры плоского пластинчатого нагревателя  $H \cdot L$  (ширина и длина) (таблица 3), сопротивление теплопотерям  $r = 0,13$  м<sup>2</sup>·К·Вт, коэффициент теплопередачи,  $a = 0,85$ . Коэффициент пропускания стеклянной крышки  $\tau = 0,9$ . Коэффициент поглощения пластины  $\alpha_n = 0,9$ . Температура входящей в приёмник жидкости  $T_2$ . Температура окружающего воздуха  $T_1$ , поток лучистой энергии  $G$ , Вт·м<sup>2</sup>, теплоёмкость воды,  $c = 4200$  Дж·(кг·°С). Температура выходящей жидкости  $T_3$ .

Определить скорость прокачки, которая необходима для повышения температуры на  $t$  градусов. Насос работает и ночью, когда  $G = 0$ . Как будет снижаться температура воды за каждый проход через приёмник ( $T_3$ ,  $T_2$ ). Необходимо учитывать среднюю температуру проходящей жидкости  $t_{cp}$ .

Таблица 3 – Исходные данные

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$H$ , м	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2
$L$ , м	0,8	0,7	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
$G$ , Вт·м <sup>2</sup>	750	650	600	600	650	750	700	600	650	700	750	700	650	700	750
$T_1$ , °С	20	15	10	5	20	15	10	5	20	15	10	5	20	15	10
$T_2$ , °С	40	45	35	40	35	45	35	40	45	35	40	50	50	40	40
$t$ , °С	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4	4	4

**Задача № 4**

Плотность потока излучения, падающего на солнечную батарею, составляет  $G$ , Вт·м<sup>2</sup>, КПД,  $\eta$  %. Какую площадь  $F$  должна иметь солнечная батарея с КПД  $\eta$  и мощностью  $P$ , Вт.

Таблица 4 – Исходные данные

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$G, \text{Вт}\cdot\text{м}^2$	460	500	550	600	700	750	450	480	500	520	550	580	600	650	700
$\eta, \%$	20	18	19	20	21	22	23	18	19	20	21	22	23	24	20
$P, \text{Вт}$	100	90	110	120	130	150	140	90	100	110	120	130	140	150	160

**Задача № 5**

Солнечная батарея состоит из ( $n$ ) фотоэлементов, мощность каждого 1,5 Вт, размер 20·30 см. Определить КПД ( $\eta$ ) солнечной батареи, если плотность потока  $G, \text{Вт}\cdot\text{м}^2$  (таблица 5).

Таблица 5 – Исходные данные

Величина	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$n, \text{шт.}$	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	600
$G, \text{Вт}\cdot\text{м}^2$	500	450	550	600	650	700	750	450
Величина	9	10	11	12	13	14	15	
$n, \text{шт.}$	1700	1800	2000	2200	2400	2700	3000	
$G, \text{Вт}\cdot\text{м}^2$	500	550	600	650	700	750	500	

**Задача № 6**

Площадь солнечной батареи  $S, \text{м}^2$ , плотность тока  $i, \text{А}\cdot\text{см}^2$ , плотность излучения  $G, \text{Вт}\cdot\text{м}^2$  (таблица 6). Определить ЭДС в солнечной батарее при КПД  $\eta$ .

Таблица 6 – Исходные данные

Величина	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
$S, \text{м}^2$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$i, \text{А}\cdot\text{см}^2$	$3\cdot 10^{-3}$	$2\cdot 10^{-8}$	$4\cdot 10^{-3}$	$1\cdot 10^{-2}$	$2\cdot 10^{-2}$	$3\cdot 10^{-2}$	$4\cdot 10^{-2}$
$G, \text{Вт}\cdot\text{м}^2$	300	400	500	400	450	500	550
$\eta$	0,3	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3
Величина	8	9	10	11	12	13	14
$S, \text{м}^2$	0,9	1,0	1,1	1,2	0,3	0,4	0,5
$i, \text{А}\cdot\text{см}^2$	$5\cdot 10^{-2}$	$1\cdot 10^{-3}$	$2\cdot 10^{-3}$	$3\cdot 10^{-3}$	$4\cdot 10^{-3}$	$5\cdot 10^{-3}$	$6\cdot 10^{-3}$
$G, \text{Вт}\cdot\text{м}^2$	600	650	700	750	600	650	700
$\eta$	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,25

**Задача № 7**

Небольшая домашняя осветительная система питается от аккумуляторной батареи напряжением  $U, \text{В}$  (таблица 7). Освещение включается каждый вечер на 4 ч, потребляемый ток  $I, \text{А}$ . Какой должна быть солнечная батарея, чтобы за-

рядить аккумуляторную батарею, если известно, что кремниевый элемент имеет ЭДС  $E = 0,5$  В при токе  $0,5$  А. Расход энергии на заряд батареи 20 % больше, чем энергия отдаваемая потребителю при разряде.

Таблица 7 – Исходные данные

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U, \text{В}$	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
$I, \text{А}$	3,0	2,5	3	3,5	4,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,5	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5

### Задача № 8

Приёмник расположен на теплоизоляторе с коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , Вт·м·К, (таблица 8), удельное термическое сопротивление поверхности приёмника  $r = 0,13$  м<sup>2</sup>·К·Вт. Определить какой толщины требуется изоляция, чтобы обеспечить термическое сопротивление дна, равное сопротивлению поверхности.

Таблица 8 – Исходные данные

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\lambda$ , Вт·м·К	0,034	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,15	0,1	0,12	0,13	0,14	0,05	0,06	0,04

### Задача № 9

Определить температуру трубки  $T_{тр}$  вакуумированного приёмника, если внутренний диаметр трубки  $d$ , см, поток солнечной энергии  $G$ , Вт·м<sup>2</sup>, температура среды  $T_{ср}$ , (таблица 9). Сопротивления потерям теплоты  $R = 10,2$  К·Вт, коэффициент пропускания стеклянной крышки  $\beta = 0,9$ , коэффициент поглощения (доля поглощённой энергии),  $\alpha_n = 0,85$ .

Таблица 9 – Исходные данные

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$d, \text{см}$	1	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1
$G, \text{Вт·м}^2$	750	700	650	600	550	500	750	700	650	600	550	500	750	700	650
$T_{ср}, \text{°С}$	20	15	10	5	10	15	20	15	10	5	0	5	10	15	20

### Задача № 10

Содержание влаги в собранном рисе  $W_n$ , % (таблица 10). При температуре воздуха  $T_2 = 30$  °С и относительной влажности  $\varphi = 80$  %, равновесная влажность.  $W_p = 16$  %, плотность влажного воздуха  $\rho = 1,15$  кг·м<sup>3</sup>, удельная теплота парообразования воды  $r = 2,4$  МДж·кг. Рис необходимо высушить до  $W_k = 16$  %. Подсчитать, какое количество воздуха при температуре сушки  $t$ , °С, необходи-

мо, чтобы просушить  $M$ , кг риса.

Таблица 10 – Исходные данные

Величина	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$W_n$ , %	28	26	30	24	26	28	30	24
$t$ , °C	45	50	40	45	50	40	45	50
$M$ , кг	1000	800	1200	1000	1550	1000	1200	1800
Величина	9	10	11	12	13	14	15	
$W_n$ , %	26	28	30	24	26	28	30	
$t$ , °C	40	45	50	40	45	50	45	
$M$ , кг	2000	2500	3000	1000	2000	1500	1200	

### Задача № 11

Площадь солнечного дистиллятора  $B \cdot L$ , м<sup>2</sup>. Поток излучения составляет  $G$ , МДж·м<sup>2</sup> в день (таблица 11). Удельная теплота парообразования воды  $r = 2,4$  МДж·кг. Определить производительность дистиллятора.

Таблица 11 – Исходные данные

Величина	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$B$ , м	5	5	10	15	10	15	20	15
$L$ , м	5	10	15	5	20	20	20	10
$G$ , МДж·м <sup>2</sup> ·день	20	15	10	10	15	20	20	15
Величина	9	10	11	12	13	14	15	
$B$ , м	10	10	25	25	25	25	25	
$L$ , м	10	5	5	10	15	20	25	
$G$ , МДж·м <sup>2</sup> ·день	15	10	15	15	20	20	15	

### Задача № 12

Небольшой хорошо изолированный дом требует среднего внутреннего расхода тепла  $Q$ , кВт. (таблица 12). Вместе с дополнительным теплом от освещения это обеспечивает поддержание внутренней температуры 20 °C. Под домом находятся аккумулятор горячей воды в виде прямоугольной ёмкости, верхней частью которой служит пол дома  $S$ , м<sup>2</sup>. Аккумулятор теряет тепло в процессе охлаждения от 60 до 40 °C в течение  $\tau$ , суток. Потеря тепла происходит только через пол.

Необходимо определить: глубину ёмкости, м; термическое сопротивление, К·Вт; толщину покрытия верхней крышки ёмкости, см; плотность энергии, запасённой в аккумуляторе.

Таблица 12 – Исходные данные

Величина	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$Q$ , кВт	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1	1,1
$S$ , м <sup>2</sup>	200	100	120	140	150	170	280	250
$\tau$ , суток	100	150	110	120	130	140	80	90
Величина	9	10	11	12	13	14	15	
$Q$ , кВт	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	
$S$ , м <sup>2</sup>	220	120	130	150	140	100	150	
$\tau$ , суток	100	120	140	70	80	90	100	

**Задача № 13**

Радиус ветроколеса  $R$ , м, скорость ветра до колеса  $V_o$ , м·с, после колеса  $V_2$ , м·с (таблица 13). Определить: скорость ветра в плоскости ветроколеса  $V_1$ , мощность ветрового потока  $P_o$ , мощность ветроустановки  $P$  и силу  $F$ , действующую на ветроколесо. Плотность воздуха  $\rho = 1,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^3$ .

Таблица 13 – Исходные данные

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R$ , м	4	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	45	50	7,5	12,5
$V_o$ , м·с	10	11	12	13	14	15	6	7	8	9	10	11	12	9	10
$V_2$ , м·с	5	6	4	8	7	8	3	3	3	4	5	6	6	5	4

**Задача № 14**

Активная гидротурбина с одним соплом ( $n = 1$ ), мощностью  $P$  и рабочим напором  $H$  (таблица 14). Угловая скорость  $\omega$ , при которой достигается максимальный КПД  $\eta = 0,9$ . Определить диаметр  $D$  колеса турбины и угловую скорость  $\omega$ .

Таблица 14 – Исходные данные

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P$ , кВт	10	20	30	40	50	690	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$H$ , м	10	15	20	25	30	26	40	45	50	55	60	65	70	75	80

**Задача № 15**

Определить объём биогаза, получаемого с помощью биогазогенератора, утилизирующего навоз  $n$  коров, и обеспечиваемую им мощность. Подача сухого сбраживаемого материала от одного животного идёт со скоростью  $V_m$ , кг·сут. Выход биогаза составляет  $C$ , м<sup>3</sup>·кг. Эффективность горелочного устройства 0,68. Содержание метана в получаемом биогазе  $f$  (таблица 15). Время пребыва-

ния очередной порции в биогенераторе  $t_2$ .

Таблица 15 – Исходные данные

Величина	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$n$	4	10	15	20	25	30	40	45
$V_m$ , кг·сут.	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5
$C$ , м <sup>3</sup> ·кг	0,24	0,3	0,2	0,24	0,3	0,35	0,4	0,2
$f$	0,8	0,75	0,7	0,75	0,8	0,75	0,7	0,75
$t_2$ , сутки	20	18	16	14	12	10	8	10
$R$ , м	7	8	9	10	11	12	13	14
Величина	9	10	11	12	13	14	15	
	50	55	60	65	70	80	100	
$n$	3	2	2,5	3	2	2,5	3	
$V_m$ , кг·сут.	0,24	0,3	0,35	0,4	0,2	0,24	0,3	
$C$ , м <sup>3</sup> ·кг	0,8	0,75	0,7	0,75	0,8	0,75	0,7	
$f$	12	14	16	18	20	15	13	
$t_2$ , сутки	15	12	11	10	9	8	7	
$R$ , м								

## Заключение

В период подготовки к занятиям по дисциплине «Электростанции современной энергетики» студенту необходимо научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учёбы и поведения. Чёткое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин. Ежедневной учебной работе студенту следует уделять от 9 до 10 ч своего времени, т. е. при шести часах аудиторных занятий самостоятельной работе необходимо отводить 3-4 ч.

Планирование самостоятельной работы должно быть связано со структурой и содержанием дисциплины, а также с распределением часов аудиторных и внеаудиторных занятий по изучаемой дисциплине.

Основные задачи самостоятельной работы:

- развитие и привитие навыков студентам самостоятельной учебной работы и формирование потребностей в самообразовании;
- освоение содержания дисциплины в рамках тем, выносимых на самостоятельное изучение студента;
- осознание, углубление содержания и основных положений курса в ходе конспектирования материала на лекциях, отработки в ходе подготовки к семинарским и практическим занятиям;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий, при написании курсовых и дипломной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

В результате самостоятельной работы студенты приобретают дополнительные для изучения вопросов перспективного развития средств передачи электроэнергии, их проектирования и эксплуатации знания основных нормативных документов проектно-конструкторской, производственно-технологической и других видах профессиональной деятельности. Приобретают умения применять современные методы и средства исследования, проектирования, технологической подготовки производства и эксплуатации электроэнергетических и электротехнических объектов. Овладевают программными средствами для решения профессиональных задач в области электроэнергетики.



## Библиографический список

а) основная литература:

1 Васильева Т. Н. Использование программного обеспечения для оценки мероприятий по повышению надежности воздушных линий / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин. – Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. № 6. – С. 22-24.

2 Лопатин, Е.И. Оценка организационно-технических мероприятий повышения надежности электроснабжения / Е. И. Лопатин. – Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2011, № 1. – часть 1. – С. 221- 224.

3 Лопатин, Е. И. Анализ надежности электрооборудования распределительных сетей напряжением 0,38-10 кВ / Е. И. Лопатин. – Сельский механизатор, – 2011, № 6. – С. 30-31.

4 Васильева, Т. Н. Использование программного обеспечения для оценки организационно-технических мероприятий повышения надежности электроснабжения / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин. – Вестник РГАТУ. – 2011, № 2. – С. 56-58.

5 Васильева, Т. Н. Анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38-10 кВ / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин. – Вестник РГАТУ, 2011. № 3. – С. 64-66.

6 Васильева, Т. Н. Надежность и техническое обслуживание электроэнергетических систем в сельском хозяйстве: [монография]. – Рязань: Т. Н. Васильева; рец. А. С. Красников; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования ФГБОУ «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева». – Рязань, 2013. – 194 с.: табл., рис. – Библиогр.: с. 185-192. – ISBN 978-5-98660-138-0.

б) дополнительная литература:

1 Васильева, Т. Н. Надёжность счётчиков электрической энергии при их эксплуатации / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин. – Вестник РГАТУ. – 2012, № 1. – С. 58-61.

2 Васильева, Т. Н. Надёжность электрооборудования и систем электроснабжения: монография / Т. Н. Васильева. – М.: Горячая линия-Телеком, 2017. – 132 с.

3 Степанов, В. М. Основные направления развития и обеспечения надёжности систем электроснабжения / В. М. Степанов, А. А. Шпиганович. – Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2015, № 12-2. – С. 3-12.

4 Степанов, В. М. Имитационное и физическое моделирование систем электроснабжения для повышения надёжности их работы / В. М. Степанов, И. М. Базыль. – Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015 № 12-2. – С.139-142.

Учебное издание

**Лопатин Евгений Игоревич**

**ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Методические указания

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Тираж 5 экз.  
Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения  
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53