

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический  
университет»

**Факультет «Магистратура»**

А.А. Балашов, Д.С. Кацуба

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭКОНОМИЧНЫХ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Утверждено Методическим советом ТГТУ  
в качестве методических указаний по организации  
самостоятельной работы для студентов магистратуры,  
обучающихся по направлению  
140100.68 «Теплоэнергетика и теплотехника»



Тамбов  
2014

**УДК 620.9 (076)**  
**ББК 335я73-5**  
**Б-202**

***Рецензент***

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электроэнергетика» ФГБОУ ВПО «ТГТУ» ***С.В. Кочергин***

**Б-202** Разработка высокоэкономичных и экологически безопасных энергетических установок: метод. указ. / Сост.: А.А. Балашов, Д.С. Кацуба. – Тамбов: ТГТУ, 2014. – 24 с.

(076)

УДК 620.9

ББК 335я73-5  
Б-202

Утверждено Методическим советом ТГТУ  
(протокол № 10 от 19.12.2013 г.)

© Балашов А.А., Кацуба Д.С., 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	2
1. СТРУКТУРА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	4
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ КУРСА.....	5
3. ВЫПОЛНЕНИЕ РЕФЕРАТА.....	20
4. ПОДГОТОВКА К ЭКЗАМЕНУ.....	23
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	24

## ВВЕДЕНИЕ

Важным элементом подготовки студентов и получения ими необходимых знаний по дисциплине «Разработка высокоэкономичных и экологически безопасных энергетических установок» является самостоятельная работа.

Процесс изучения дисциплины «Разработка высокоэкономичных и экологически безопасных энергетических установок» предусматривает ряд функционально связанных этапов, включающих проведение лекционных, практических аудиторных занятий, самостоятельную работу студентов в межсессионный период, отчет о самостоятельной работе и сдачу экзамена по дисциплине.

Самостоятельная работа студентов в межсессионный период предполагает активное, последовательное и подробное освоение ими соответствующих учебных материалов дисциплины по всем ее структурным разделам с использованием рекомендуемой основной и дополнительной литературы.

Освоение учебных материалов по основной и дополнительной литературе следует осуществлять строго системно и последовательно с учетом нижеизложенных заданий и рекомендаций.

Самостоятельная работа требует от студентов творческой активности, умения найти и переработать информацию, необходимую для усвоения вопросов, предложенных для самостоятельного изучения. Для этого рекомендуется:

- составить конспекты основных положений, понятий, определений, отдельных наиболее сложных вопросов;
- составить ответы на основные вопросы изучаемых тем.

В ходе самостоятельной работы студенты должны систематически осуществлять самостоятельный контроль хода и результатов своей работы, постоянно корректировать и совершенствовать способы ее выполнения.

Преподаватель контролирует ход и результаты самостоятельной работы в различных формах:

- рецензирование выполненных студентами в письменной форме докладов, рефератов, контрольных работ;
- проведение контрольных работ по вопросам, которые подготовлены студентами самостоятельно;
- обсуждение с учебной группой результатов индивидуальной самостоятельной работы.

Выполнение самостоятельной работы по дисциплине «Разработка высокоэкономичных и экологически безопасных энергетических установок» служит формированию следующих профессиональных компетенций (ПК):

- готовность к участию в разработке эскизных, технических и рабочих проектов объектов и систем теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологии с использованием средств автоматизации проектирования, передового опыта их разработки (ПК–12);
- готовность к определению потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, подготовке обоснований технического перевооружения, развития энергохозяйства, реконструкции и модернизации предприятий – источников энергии и систем энергоснабжения (ПК–19).

## 1. СТРУКТУРА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа студентов, согласно структуре дисциплины «Разработка высокоэкономичных и экологически безопасных энергетических установок» (табл. 1), включает:

– изучение теоретического курса: самостоятельная проработка студентами отдельных вопросов теоретического курса. Вопросы, выносимые на самостоятельную проработку, отмечены в п. 2. Общая трудоемкость самостоятельного теоретического обучения – 90 ч.

– подготовку к практическим занятиям (семинарам): освоение навыков и умений использования теоретического знания применительно к особенностям изучаемой дисциплины. Семинар помогает студентам глубоко овладеть дисциплиной, способствует развитию умения самостоятельно работать с учебной литературой, освоению методов научной работы, научного мышления.

Таблица 1. Распределение трудоемкости дисциплины

<b>Виды работ</b>	<b>Всего</b>	<b>2 семестр</b>
<i>Аудиторные занятия</i>	<i>90</i>	<i>90</i>
в том числе		
лекции, часов	<i>18</i>	<i>18</i>
практические занятия, часов	<i>72</i>	<i>72</i>
лабораторные работы, часов		
<i>Самостоятельная работа</i>	<i>90</i>	<i>90</i>
<i>Промежуточная аттестация</i>		
в том числе		
экзамен, часов	<i>36</i>	<i>36</i>
зачет		
курсовая работа (кр)		
<i>Общая трудоемкость</i>		
часов	<i>216</i>	<i>216</i>
зачетных единиц	<i>6</i>	<i>6</i>

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ КУРСА

Перечень тем для самостоятельного изучения, предусмотренных учебной программой дисциплины, представлен в табл. 2.

Таблица 2. Распределение трудоемкости самостоятельной работы

Номер недели в графике учебного процесса	Номер темы самостоятельной работы	Тема самостоятельной работы	Объем самостоятельной работы, часов	Форма текущего контроля
1	Тема 1	Термоэлектрогенераторы	10	Проверка решения задач
2				
3	Тема 2	Типовые конструкции топливных элементов	10	Проверка решения задач
4				
5	Тема 3	Получение водорода	10	Проверка решения задач
6				
7	Тема 4	Ветроэнергетика	5	Проверка решения задач
8		Ветроэнергетические установки	5	Проверка ответов на вопросы
9	Тема 5	Солнечное излучение	10	Проверка решения задач
10				
11	Тема 6	Фотоэлектрические преобразователи	5	Проверка решения задач
12		Солнечные фотоэлектрические модули и батареи	5	
13	Тема 7	Биомасса	5	Проверка решения задач
14		Установки для получения биодизельного топлива	5	
15	Тема 8	Океанские тепловые преобразователи энергии	5	Проверка решения задач
16		Преобразователи энергии океана	5	
17	Тема 9	Двигатель Стирлинга и практическое исполнение двигателя Стирлинга	10	Проверка решения задач
18				
		<b>ИТОГО по дисциплине, часов</b>	90	

## Тема 1. Термоэлектрогенераторы.

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 159–208] изучить тему «Термоэлектрогенераторы».

### Задачи.

1. Небольшой термоэлектрический генератор (единичная пара) снабжен двумя тепловыми сенсорами. Один измеряет температуру  $T_n$  (с горячей стороны), а второй  $T_c$  (с холодной стороны). Горячая сторона нагревается с помощью электрического нагревателя, и все генерируемое нагревателем тепло поступает в термопару. Специальная контрольно-измерительная система с обратной связью поддерживает температуру горячей стороны равной 1000 К. Мощность, потребляемая электрическим нагревателем, может быть измерена. Соответствующая система с холодной стороны поддерживает ее температуру неизменной и равной 500 К.

Может быть установлено требуемое значение тока  $I$ , протекающего через термопару. Когда ток равен нулю, для нагрева источника тепла с горячей стороны расходуется 10 Вт электрической мощности. При этом термоЭДС термопары составляет 5 В.

Пусть теперь через термопару протекает такой ток, чтобы при отключенном электрическом нагревателе температура  $T_n$  оставалась постоянной и равной 1000 К. Если направление тока поменяется на противоположное, то для поддержания температуры  $T_n = 1000$  К, потребуется 18,3 Вт электроэнергии.

Чему равен ток  $I$ ?

2. Термоэлектрический генератор состоит из ряда последовательно соединенных термопар и работает в температурном диапазоне от 1000 до 400 К. При сопротивлении нагрузки 0,1 Ом через термоэлектрический генератор протекает ток 266,7 А. При этом тепловой поток,



направленный от генератора к холодной стенке, составляет 48 кВт. В режиме холостого хода ЭДС термоэлектрического генератора равна 48 В.

Чему равна добротность  $Z$  устройства?

3. Термоэлектрический генератор работает на разности температур от 1000 до 400 К. ТермоЭДС генератора равна 70 В. Геометрия каждой ячейки оптимизирована. Измерения показали, что максимальная эффективность имеет место при токе 5,22 А и напряжении 38,68 В.

Чему равна эффективность генератора?

Чему равна эффективность генератора, когда на нагрузке выделяется только 100 Вт?

Почему эффективность генератора в случае, когда на нагрузке выделяется 100 Вт, существенно меньше, чем при выделении на нагрузке 200 Вт?

## **Тема 2. Типовые конструкции топливных элементов.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 280–312] изучить тему «Типовые конструкции топливных элементов».

### **Задачи.**

1. На космическом спутнике предполагается установить батарею топливных элементов. Она должна обеспечивать мощность 2 кВт при напряжении 24 В в течение недели. Масса батареи должна быть по возможности минимальной.

Производитель топливных элементов имеет модель ТЭ со следующими характеристиками:

- напряжение холостого хода 1,10 В;
- внутреннее сопротивление  $92 \cdot 10^{-6}$  Ом/м<sup>2</sup>;
- масса элемента 15 кг на 1 м<sup>2</sup> активной поверхности электрода;

– вольт-амперная характеристика линейная.

Какое количество топливных элементов нужно соединить, чтобы получить батарею с требуемыми характеристиками? Чему равна суммарная масса элементов в батарее?

2. Нужно сконструировать водородный манометр, действие которого основано на зависимости выходного напряжения от давления реагентов. Возьмем водородно-кислородный топливный элемент при температуре 298 К. Предположим, что продуктом реакции является водяной пар, а сам топливный элемент – идеальный. Давление кислорода поддерживается постоянным, равным 0,1 МПа, а давление водорода  $p_{\text{H}_2}$  – это измеряемая величина.

1) Чему равно выходное напряжение при давлении водорода  $p_{\text{H}_2} = 0,1$  МПа?

2) Чему равно выходное напряжение при давлении водорода  $p_{\text{H}_2} = 1$  МПа?

3) Получите выражение, показывающее скорость изменения напряжения в зависимости от  $p_{\text{H}_2}$ . Чему равна скорость изменения напряжения  $p_{\text{H}_2} = 0,1$  МПа?

4) Выходное напряжение элемента зависит от температуры. Предположим, погрешность измерения давления  $\pm 10\%$  является допустимой (при давлении около 1 МПа). Другими словами, предположим, что при измерении напряжения, соответствующего давлению 1 МПа при температуре 298 К, действительное значение давления составляет 0,9 МПа, так как температура газов не равна 298 К. Чему равно максимальное допустимое значение отклонения температуры?

### **Тема 3. Получение водорода.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 374–416] изучить тему «Получение водорода».

#### **Задачи.**

1. Для производства 1 т водорода в сутки в непрерывном режиме рабочее напряжение водяного электролизера, работающего при нормальных условиях, должно быть равно 1,83 В.

Определите, чему равна сила тока в электролизере при этих условиях.

Какой объем воды потребляет электролизер в сутки?

Какое количество теплоты выделяет (поглощает) электролизная установка в сутки?

2. Предполагается, что система получения водорода методом прямого разложения будет работать при температуре 1500 К. Для обеспечения требуемого расхода водорода через палладиевый фильтр, используемый для очистки водорода от кислорода и водяного пара, необходимо, чтобы перепад давления на мембране фильтра был равен 5 атм. Предположим, что со стороны чистого водорода давление газа равно 1 атм. Какое давление должно поддерживаться со стороны водяного пара? Расчет произвести также для температуры 3000 К.

### **Тема 4. Ветроэнергетика. Ветроэнергетические установки.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 622–660] изучить тему «Ветроэнергетика. Ветроэнергетические установки».

#### **Задачи.**

1. В районе Аэодия на о. Анемос ветры ведут себя своеобразно. Каждый день в этой местности ровно в 6 ч по местному времени абсолютно нет ветра. По этому временному затишью местные жители даже

могут сверять часы. Затем с течением времени наблюдается линейное увеличение его скорости, которая достигает максимального значения 8 м/с ровно в 22 ч. После этого скорость линейно уменьшается до наступления утреннего затишья.

В этой местности установлена вертикально-осевая ветротурбина. Высота лопастей ветроколеса 30 м. Относительное удлинение ветротурбины 0,8, а её эффективность с учетом эффективности генератора равна 0,5.

Чему равно среднее значение электрической мощности, вырабатываемой ветроустановкой?

Какова пиковая мощность?

Ветроустановка снабжена системой аккумулирования электроэнергии, эффективность которой условно будем считать равной 100%. Какое количество энергии должно быть изначально запасено в аккумуляторах, если запуск ветроколеса будет произведен в 6 ч по местному времени, а электрическая нагрузка со стороны потребителей постоянна и равна средней мощности ветроустановки? Сколько часов в день будет происходить зарядка аккумуляторов, т. е. мощность, вырабатываемая ветроустановкой, будет больше потребляемой мощности?

Заметим, что в данном случае нагрузка подключена непосредственно к системе аккумулирования. Это один из наиболее простых способов решения данной проблемы. На практике лучшим был бы вариант, когда нагрузка была бы подключена к ветроустановке напрямую, а излишек генерируемой мощности поступал бы на аккумулятор.

2. Ветроколесо, ометаемая площадь которого равна  $1000 \text{ м}^2$ , при нормальных условиях работает с эффективностью 56%.

В местности, где установлено ветроколесо, во временном интервале от 18 ч до 6 ч ветра никогда не бывает. Начиная с 6 ч, скорость

ветра с течением времени увеличивается линейно. В 18 ч ветер резко стихает. Средняя скорость ветра за день равна 20 м/с.

Какое максимальное количество электроэнергии может выработать ветроколесо за год?

### **Вопросы.**

1. Какой силы ветер нужен для работы ветрогенератора?
2. Каких мощностей бывают ветрогенераторы?
3. Что такое ветровой мониторинг?
4. Какова максимальная мощность ветрогенератора?
5. При какой скорости ветра начинает работать ветрогенератор?
6. Как влияют высота мачты и диаметр ротора ветрогенератора на выработку энергии?
7. Каков порядок проектирования ветрогенератора (сроки, стоимость, в каком виде Заказчик получает предварительный проект)?
8. Как будет выглядеть принципиальная схема при использовании нескольких ветрогенераторов, и как будут происходить переключения при малой нагрузке, при которой нет необходимости в работе всех ветрогенераторов?
9. Что происходит при отсутствии нагрузки и неполном (полном) заряде аккумуляторов ветрогенератора ?

### **Тема 5. Солнечное излучение.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 469–510] изучить тему «Солнечное излучение».

### **Задачи.**

1. Окна здания в Пало Альто, Калифорния, США (широта  $37,4^\circ$  с. ш.) ориентированы на юго-юго-восток. В течение какого пе-

риода года солнечные лучи попадают в помещение во время восхода солнца? Размером солнечного диска и затенением солнца пренебречь.

В какое время восходит солнце в первый и в последний день этого периода? Какова плотность потока солнечного излучения на стену с той же ориентацией в полдень в дни равноденствия?

2. В какое время дня солнце находится строго на востоке в Москве 11 августа и 15 ноября?

3. Фотоэлектрическая батарея имеет КПД 16,7%. Она расположена в месте, находящемся на широте  $45^\circ$  с. ш. Наблюдения проводили 1 апреля 1995 г. в 10 ч 00 мин. Если фотобатерею ориентировать строго на Солнце, ее мощность будет равна 870 Вт. Какую мощность будет вырабатывать та же батарея, если ее установить строго на восток с углом наклона к горизонту  $25^\circ$ ?

## **Тема 6. Фотоэлектрические преобразователи. Солнечные фотоэлектрические модули и батареи.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 550–613] изучить тему «Фотоэлектрические преобразователи. Солнечные фотоэлектрические модули и батареи».

### **Задачи.**

1. Предположим, что мы имеем дело с идеальным излучением черного тела при температуре 6000 К. Мы хотим проанализировать предельные возможности кремниевого фотодиода с шириной запрещенной зоны 1,1 эВ. Пренебрежем потерями излучения на отражение и неэффективное поглощение материалом фотодиода.

Какая доля энергии светового потока приходится на фотоны с энергией меньше 1,1 эВ?

Какой может быть эффективность фотодиода, если энергия оставшейся части фотонов преобразуется в электроэнергию?

Будет ли использование германия с шириной запрещенной зоны 0,67 эВ более или менее эффективным?

Определите долю энергии излучения черного тела, которая может быть преобразована в электроэнергию идеальным фотодиодом.

Пусть ток короткого замыкания фотодиода при некотором его облучении в  $10^7$  раз превышает обратный ток насыщения. Какова эффективность такого фотодиода по сравнению с идеальным фотодиодом?

2. Два фотодиода эффективной площадью  $10 \text{ см}^2$  каждый облучаются бихроматическим излучением мощностью  $500 \text{ Вт/м}^2$ , причем первая узкая полоса излучения приходится на частоту 430 ТГц, а вторая – на 600 ТГц. Один диод имеет ширину запрещенной зоны 1 эВ, а второй – 2 эВ. Обратный ток насыщения (в темноте) равен 10 нА. Диоды находятся при температуре 300 К.

Чему равен ток короткого замыкания?

Каково напряжение холостого хода для каждого диода?

Какова максимальная теоретическая эффективность каждого диода?

Какую максимальную мощность можно снять на нагрузку с каждого из диодов при отсутствии внутреннего сопротивления?

3. Каков ток короткого замыкания фоточувствительной ячейки размером  $10 \times 10 \text{ см}$  (100%-ный квантовый выход, внутреннее сопротивление отсутствует), облучаемой монохроматическим излучением на длине волны 400 мкм мощностью  $1000 \text{ Вт/см}^2$ ?

4. Оцените теоретическую эффективность фотоэлемента с шириной запрещенной зоны 2,5 эВ под потоком солнечного излучения

100 Вт/м<sup>2</sup> при условии, что излучение проходит через фильтр, пропускающий излучение лишь в диапазоне между 600 и 1000 нм.

5. Солнечный элемент изготовлен из полупроводниковых нанокристаллов с шириной запрещенной зоны  $W_g = 0,67$  В. Какова теоретическая эффективность фотоэлемента облучаемого излучением черного тела при температуре 6000 К? Предположите, что фотоны с энергией меньше  $3,3 W_g$  создают одну электрондырочную пару, а с энергией более  $3,3 W_g$  – две пары.

### **Тема 7. Биомасса. Установки для получения биодизельного топлива.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 515–546] изучить тему «Биомасса. Установки для получения биодизельного топлива».

#### **Задачи.**

1. Лист зеленого растения в атмосфере, содержащей 330 ppm CO<sub>2</sub> при плотности падающей солнечной радиации 50 Вт/м<sup>2</sup>, поглощает 0,05 мкмоль CO<sub>2</sub> за минуту в расчете на 1 см<sup>2</sup> поверхности листа. Когда плотность потока солнечной радиации повышается до 600 Вт/м<sup>2</sup>, поглощение увеличивается до 0,36 мкмоль CO<sub>2</sub> за минуту на 1 см<sup>2</sup>. Предполагается, что в данном диапазоне размеры отверстий устьиц не изменяются.

Каково ожидаемое поглощение CO<sub>2</sub> при плотности потока солнечной энергии 100 Вт/м<sup>2</sup> в той же атмосфере и при той же температуре? При потоке 1000 Вт/м<sup>2</sup>? Измерения показывают, что поглощение углекислого газа при 1000 Вт/м<sup>2</sup> составляет только 0,40 мкмоль/(мин·см<sup>2</sup>). Это может быть результатом частичного закрытия устьиц. Каково отношение площади отверстий устьиц при 1000 Вт/м<sup>2</sup> и при 100 Вт/м<sup>2</sup>?



Каково ожидаемое поглощение  $\text{CO}_2$  при плотности радиации  $100 \text{ Вт/м}^2$  и среднем содержании углекислого газа в атмосфере  $400 \text{ ppm}$ ?

2. При благоприятных условиях водяной гиацинт *Eichhornia crassipes* – плавающее растение – имеет скорость роста, при которой его сухая масса увеличивается на 5% в сутки, при этом в составе его биомассы 94% воды. Суточная урожайность гиацинта достигает  $400 \text{ кг}$  сухого вещества с  $1 \text{ га}$ . Рассмотрим плантацию водяного гиацинта площадью  $1 \text{ га}$ , состоящую из длинных каналов (обустроенных в виде спирали). Ширина канала в начальной точке (место засева плантации) равна  $0,5 \text{ м}$ , и он постепенно расширяется, чтобы вмещать растущие растения, которые медленно перемещаются течением. Предположим, что течение имеет постоянную скорость такую, чтобы за  $60$  дней растения переместились от исходного конца канала до места сбора урожая.

Какой должна быть ширина канала в месте сбора урожая?

Какой должна быть длина канала?

Какое количество энергии запасается в биомассе в течение дня (выразите эту величину в гигаджоулях и баррелях нефти)?

Сколько килограммов влажного растения нужно использовать ежедневно для засева?

Предположим, что 50% энергии биомассы конвертируется в метан через процесс брожения. Оцените количество получаемого метана в кубических метрах в день.

Если метан сжигается в газовых турбинах или в дизель-генераторе с 20%-ной эффективностью, какое количество электрической энергии можно при этом получить?

Предположим, что средняя глубина канала 1 м, какое количество воды необходимо в него добавлять ежедневно, чтобы компенсировать испарение и инфильтрацию?

Каким образом можно убедиться, что скорость движения воды остается постоянной с учетом расширения канала?

3. Метантенк состоит из цилиндрической коррозионно-стойкой стальной емкости диаметром  $d$  и высотой  $2d$ . Толщина стального листа 3 мм. Содержимое метантенка перемешивается так, что вся масса имеет одинаковую температуру  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для упрощения предположите, что поступающая в метантенк биомасса заранее нагрета до этой температуры. Сталь имеет теплопроводность  $\lambda = 60\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

Предположите, что чистая продуктивность процесса составляет 1 кВт метана. Метантенк должен, кроме того, производить дополнительное количество метана, необходимое для поддержания температуры процесса (некоторое незначительное количество энергии вырабатывается собственно в самом процессе метаногенезе). Эффективность нагревателя составляет 70%. Скорость загрузки  $L = 4\text{ кг}$  летучей части твердой фазы в расчете на  $1\text{ м}^3$  метантенка в сутки. Предположим, что 1 кг летучей части образует 25 МДж метана, и что 40% всего вещества перебраживается. На внешней стороне метантенка поддерживается температура  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Рассчитайте диаметр метантенка.

### **Тема 8. Океанские тепловые преобразователи энергии.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 144–156] изучить тему «Конфигурации океанских тепловых преобразователей энергии».

#### **Задачи.**

1. Гольфстрим переносит  $2,2 \cdot 10^{12}\text{ м}^3/\text{сут}$  воды. Средняя температура воды равна  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оцените размер площади морской поверхности, с

которой собирается энергия солнечного излучения, обеспечивающая энергией возникновение такого мощного течения.

2. Атомная электростанция мощностью 1,2 ГВт размещена на берегу реки, вода которой служит для охлаждения. КПД электростанции (отношение производимой электроэнергии к потребляемому теплу) – 20%. Охлаждающая вода выходит из теплообменника при температуре 80 °С. Предлагается использовать эту нагретую воду на электростанции, подобной океанской.

Предположите, что температура речной воды равна 20 °С, КПД электростанции составляет 1/2 от КПД цикла Карно, половина располагаемого температурного напора приходится на турбину.

Каков расход этой воды?

Какую максимальную электрическую мощность можно получить на такой электростанции?

### **Преобразователи энергии океана.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [6, с. 677–701] изучить тему «Преобразователи энергии океана».

#### **Задачи.**

1. Приливы в океане вызываются действием, как Луны, так и Солнца. Величина какого прилива – солнечного или лунного – больше?

Рассчитайте гравитационное ускорение на Земле, вызванное Солнцем и Луной.

Если вы рассчитали правильно, то вы обнаружите, что гравитационное поле Солнца на Земле гораздо больше, чем лунное. Тогда можно сделать вывод, что приливы не пропорциональны гравитационным силам.

Какова природа явления, вызывающего приливы? Рассчитайте отношение лунного и солнечного воздействия.

2. Предположим, что орбиты Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли круговые. Первая совершает свой оборот за  $3,1558157 \cdot 10^7$  с, а последняя – за  $2,36055 \cdot 10^6$  с или за 27,32 дня.

Полнолуние наступает, когда Солнце, Земля и Луна находятся приблизительно на одной прямой.

Рассчитайте число дней между последовательными полными лунами.

## **Тема 9. Двигатель Стирлинга и практическое исполнение двигателя Стирлинга.**

**Задание.** По рекомендованной литературе [5, 6, с. 102–135] изучить тему «Двигатель Стирлинга и практическое исполнение двигателя Стирлинга».

### **Задачи.**

1. Некоторый двигатель Стирлинга реализует при работе только половину своей теоретической эффективности. Двигатель работает в диапазоне температур от 1000 до 400 К. Какова будет эффективность устройства в следующих случаях:

– если использовать идеальный регенератор тепла (аргон) в качестве рабочего тела, степень сжатия 10:1;

– при тех же условиях, что и в п. 1, степень сжатия равна 20:1;

– при тех же условиях, что и в п. 1, но без использования регенератора.

2. В двигателе Стирлинга происходит изотермическое сжатие, за которым следует изохорический подвод тепла, изотермическое сжатие и изохорический отвод тепла.

Изотермическое сжатие достаточно сложно обеспечить, особенно в двигателях, имеющих большую частоту вращения. Поэтому предположим, что двигатель при работе осуществляет адиабатическое сжатие. Примем, что другие фазы работы рассматриваемого двигателя соответствуют фазам ранее описанного двигателя. Так, при изотермическом подводе тепла к рабочему телу подводится 293 Дж. То есть «горячий» цилиндр после процесса адиабатического сжатия будет иметь температуру 652 К до окончания процесса подвода теплоты.

Определите теоретическую эффективность двигателя (без регенерации тепла) и сравните её с эффективностью соответствующего цикла Карно.

Определите мощность, производимую одним цилиндром данного двигателя, принимая условие, что эффективность реального двигателя будет приблизительно в 2 раза меньше, чем эффективность идеального. Частота вращения вала двигателя 1800 об/мин. Каждый оборот вращения вала соответствует одному полному циклу двигателя. Для расчетов примите  $\gamma = 1,4$ .

### 3. ВЫПОЛНЕНИЕ РЕФЕРАТА

Текущий контроль знаний осуществляется в форме проверки реферата, который составлен по материалам, представленным в рекомендованной литературе [2, 5].

#### Список тем рефератов.

1. Определение энергетических показателей ГТУ электростанций по заводским характеристикам.
2. Типоразмеры и характеристики отечественных энергетических ГТУ.
3. Типоразмеры и характеристики зарубежных энергетических ГТУ.
4. Компоновка главного корпуса газотурбинной электростанции.
5. Применение авиационных и судовых газотурбинных двигателей при создании энергетических ГТУ.
6. Основные положения методики расчета тепловой схемы ПГУ–ТЭЦ с котлом-утилизатором.
7. Анализ режимов работы ПГУ-ТЭЦ с КУ.
8. Годовые показатели ПГУ-ТЭЦ.
9. Дожигание топлива в котле-утилизаторе ПГУ-ТЭЦ.
10. Идеальный цикл Стирлинга и основные уравнения.
11. Классификация механических систем Стирлинга.
12. Регенеративные теплообменники в машинах Стирлинга.
13. Направления исследований двигателя Стирлинга.

Реферат является научной работой, поскольку содержит в себе элементы научного исследования. В связи с этим к нему должны предъявляться требования по оформлению как к научной работе. Эти требования регламентируются государственными стандартами, в частности:

– ГОСТ 7.32–2001 «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления»;

– ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления»;  
Общие требования и правила составления»;

– ГОСТ 7.82–2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов».

Объем реферата: 20–30 листов.

Реферат должен быть выполнен на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм) через полтора интервала. Цвет шрифта должен быть черным. Гарнитура шрифта основного текста – «Times New Roman», кегль (размер) 14 пунктов. Размеры полей (не менее): правое – 15 мм, верхнее, нижнее – 20 мм, левое – 30 мм. Формат абзаца: полное выравнивание («по ширине»), отступ 8–12 мм, одинаковый по всему тексту.

Реферат должен начинаться титульным листом, выполненным по установленной форме, на котором указывается учебное заведение, кафедра, название работы, учебная группа, шифр задания, фамилии и инициалы студента и преподавателя, год выполнения. Далее следует содержание реферата.

Каждая глава работы должна начинаться с новой страницы. Параграфы следуют друг за другом без вынесения нового параграфа на новую страницу. Не допускается начинать новый параграф внизу стра-

ницы, если после заголовка параграфа на странице остается три-четыре строки основного текста. В этом случае параграф необходимо начать с новой страницы.

Заголовки структурных элементов работы и разделов основной части следует располагать слева строки без точки в конце и печатать прописными буквами, не подчеркивая. От текста заголовки отделяются снизу двумя интервалами. Заголовки подразделов и пунктов следует начинать с абзацного отступа и печатать слева от строки с прописной буквы вразрядку, не подчеркивая, без точки в конце. Если заголовок включает несколько предложений, их разделяют точками. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту (титuleльный лист включают в общую нумерацию). Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки. На титульном листе номер не проставляют.

В реферате необходимо использование не менее 5–10 литературных источников.

Библиографические ссылки в тексте реферата оформляются в виде номера источника в квадратных скобках. В необходимых случаях (обычно при использовании цифровых данных или цитаты) указываются и страницы, на которых помещается используемый источник, например: [6, с. 4–5]. Ссылки на таблицы, рисунки, приложения берутся в круглые скобки. При ссылках следует писать: «в соответствии с данными табл. 5», (табл. 2), «по данным рис. 3», (рис. 4), «в соответствии с приложением 1», (приложение 2), «... по формуле (3)».



#### 4. ПОДГОТОВКА К ЭКЗАМЕНУ

Итоговый контроль знаний осуществляется в форме экзамена по вопросам.

##### Список вопросов к экзамену.

1. Энергетические газотурбинные установки разомкнутого типа.
2. Тепловые схемы и показатели парогазовых установок с котлом-утилизатором.
3. Паротурбинные установки в тепловой схеме парогазовой установки.
4. Тепловые схемы и показатели экономичности газотурбинных теплоэлектроцентралей.
5. Энергетические показатели газотурбинных теплоэлектроцентралей.
6. Использование газотурбинных установок для надстройки теплофикационных систем.
7. Энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания.
8. Тепловые схемы парогазовых установок пылеугольных теплоэлектростанций с параллельной схемой работы.
9. Показатели тепловой экономичности парогазовой установки с параллельной схемой работы.
10. Парогазовые установки с полузависимой схемой работы.
11. Особенности тепловых схем парогазовых установок сбросного типа.
12. Показатели тепловой экономичности парогазовых установок сбросного типа.
13. Тепловые схемы пылеугольных парогазовых установок сбросного типа.
14. Газомазутные парогазовых установок сбросного типа.
15. Парогазовые установки с газификацией угля.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная:

1. Луканин, П.В. Технологические энергоносители предприятий (Низкотемпературные энергоносители) [Электронный ресурс]: учебное пособие / ГОУ ВПО СПбГТУРП. – СПб., 2009. – 116 с. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/library/pdf2txt/236/76236/57405>

### Дополнительная:

2. Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева. – 2-е изд., стер. – М.: МЭИ, 2006. – 584 с.

3. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / В.И. Виссарионов [и др.]; под ред. В.И. Виссарионова. – М.: ООО фирма "ВИЭН", 2004. – 448 с.

4. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: учебник для вузов / В.Л. Иванов [и др.]; под ред. А.И. Леонтьева. – 2-е изд., стер. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 592 с.

5. Двигатели Стирлинга / В.Н. Даниличев [и др.]; под ред. М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1977. – 151 с.

6. да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие / А. да Роза; пер. с англ. под ред. С.П. Малышенко, О.С. Попеля. – Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект", 2010. – 704 с.

7. ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА: Ежемес. теорет. и науч.-практ. журн. / РАН и др. – Издается с 1954 г.