

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета

Дата подписания: 18.04.2024 16:10:50

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

## Содержание

№		Стр.
п/п	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа №1. Использование энергии солнца. Снятие воль-амперной характеристики фотоэлектрического модуля $U=f(I)$	
4.2	Лабораторная работа №2. Использование энергии солнца. Снятие энергетической характеристики фотоэлектрического модуля $P= f(I)$	
4.3	Лабораторная работа №3. Использование энергии солнца. Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от энергетической освещенности $IK=f(E)$	
4.4	Лабораторная работа №4. Использование энергии солнца. Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от угла падения на его поверхность лучей света $IK=f(\varphi)$	
4.5	Лабораторная работа №5. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС). Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от его температуры $IK=f(T)$	
4.6	Лабораторная работа №6. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС). Снятие зависимости напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля от его температуры $IXX=f(T)$	
4.7	Лабораторная работа №7. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС). Снятие зависимости максимальной мощности фотоэлектрического модуля от его температуры $PM=f(T)$	
7.8	Лабораторная работа №8. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС). Снятие режимных характеристик контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи	
4.9	Лабораторная работа №9. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС). Моделирование режимов работы автономной фотоэлектрической солнечной электростанции	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	

- 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
  - 5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
  - 5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины
- Приложения

## Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

## **1. Цель и задачи изучения дисциплины**

Целью дисциплины является изучение современного состояния и перспектив использования в России и за рубежом энергии солнца, ветра, геотермальных вод, малых рек, океанов, морей, вторичных энергоресурсов и других возобновляемых источников энергии.

Задачами изучения дисциплины являются:

– ознакомление студентов с нетрадиционными источниками энергии, современными методами их использования, проблемами и перспективами развития нетрадиционной энергетики.

– освоение студентами методов расчета установок альтернативной энергетики, оценки их эффективности.

## **2. Оборудование и материалы**

Аппаратные средства:

– Комплект учебно-лабораторного оборудования «Модель фотоэлектрической солнечной электростанции».

– Комплект учебно-лабораторного оборудования «Инструментальный энергоаудит – теплотехнические измерения при тепловизионном обследовании зданий».

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

## **3. Наименование лабораторных работ**

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие лабораторные работы: Лабораторная работа №1. Использование энергии солнца. Снятие воль-амперной характеристики фотоэлектрического модуля  $U=f(I)$  – 2 часа; Лабораторная работа №5. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС). Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от его температуры  $I_K=f(T)$  – 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
1	<b>Лабораторная работа №1. Использование энергии солнца.</b> Снятие воль-амперной характеристики фотоэлектрического модуля $U=f(I)$	2	

2	<b>Лабораторная работа №2. Использование энергии солнца.</b> Снятие энергетической характеристики фотоэлектрического модуля $P=f(I)$	2	
3	<b>Лабораторная работа №3. Использование энергии солнца.</b> Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от энергетической освещенности $IK=f(E)$	2	
4	<b>Лабораторная работа №4. Использование энергии солнца.</b> Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от угла падения на его поверхность лучей света $IK=f(\varphi)$	2	
5	<b>Лабораторная работа №5. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).</b> Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от его температуры $IK=f(T)$	2	
6	<b>Лабораторная работа №6. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).</b> Снятие зависимости напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля от его температуры $I_{XX}=f(T)$	2	
7	<b>Лабораторная работа №7. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).</b> Снятие зависимости максимальной мощности фотоэлектрического модуля от его температуры $P_M=f(T)$	2	
8	<b>Лабораторная работа №8. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).</b> Снятие режимных характеристик контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи	2	
9	<b>Лабораторная работа №9. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).</b> Моделирование режимов работы автономной фотоэлектрической солнечной электростанции	2	
	<b>Итого:</b>	<b>18</b>	

#### 4. Содержание лабораторных работ

##### Лабораторная работа №1. Использование энергии солнца. Снятие воль-амперной характеристики фотоэлектрического модуля $U=f(I)$

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие и построение воль-амперной характеристики фотоэлектрического модуля  $U=f(I)$ .

##### **Основы теории:**

Фотоэлектрический эффект (фотоэффект) был открыт французским ученым А.Э. Беккерелем в 1839 году и основан на способности токопроводящих материалов испускать электроны под действием электромагнитного излучения, в том числе и света.

Фотоэффект проявляется в фотоэлектрической системе, напрямую преобразующей солнечную энергию в электричество. Для работы фотоэлектрической системы необходим дневной свет. Фотоэлектрические системы не должны обязательно находиться под прямыми солнечными лучами, так что даже в пасмурные дни фотоэлектрические панели могут вырабатывать некоторое количество электроэнергии.

Простейшая конструкция фотоэлектрического или солнечного элемента (СЭ) – прибора для преобразования энергии солнечного излучения – на основе монокристаллического кремния показана на рис. 1.

На малой глубине от поверхности кремниевой пластины р-типа сформирован р–п-переход с тонким металлическим контактом; на тыльную сторону пластины нанесен сплошной металлический контакт.

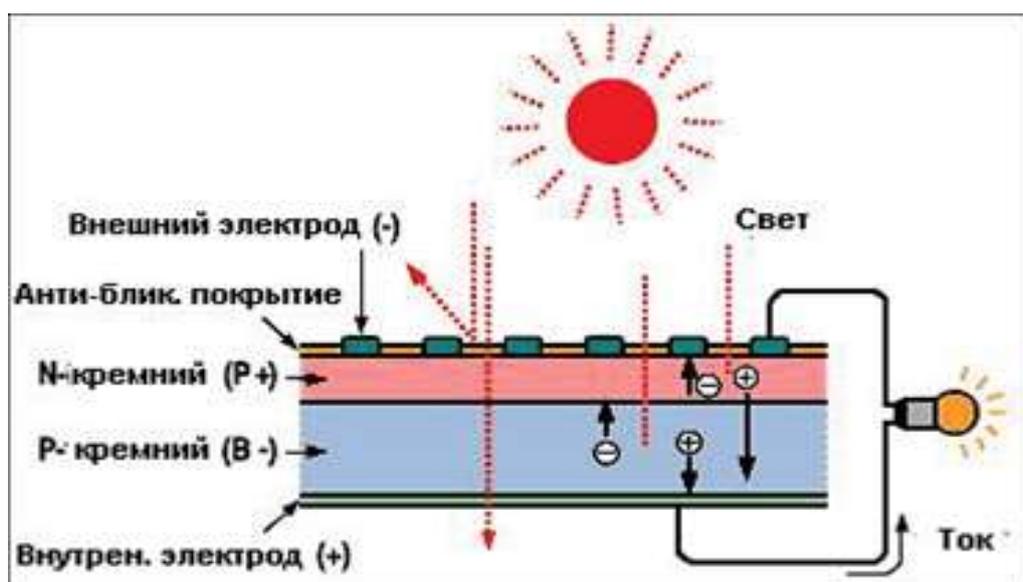


Рисунок 1 – Простейшая конструкция фотоэлектрического элемента

Фотоэлектрические модули состоят из солнечных элементов. Так как один солнечный элемент не производит достаточного количества электроэнергии для большинства применений, солнечные элементы собираются в фотоэлектрических модулях для того, чтобы производить больше электричества.

Производятся модули 4 основных типов:

Модули в алюминиевой рамке и покрытые стеклом имеют лицевую поверхность из стекла (по специальному заказу возможно применение специального закаленного стекла), обеспечивающего наилучшие показатели по пропусканию света и защиту от внешних воздействий.

Модули на стекле без рамки и клеммной коробки. Поставляются на заказ. В наличии обычно есть модули мощностью 10-12 Вт 12В.

Безрамочные ламинированные фотоэлектрические модули (облегченные) без стекла и клеммной коробки. Такие модули подходят для применения как компонент переносных устройств, устройств со встроенной солнечной батареей, и т.п. Обычно такие модули изготавливаются на основе стеклотекстолита с пиковой мощностью до 15 Вт. Напряжение обычно 12 или 6 В. Изготовление других модулей такого типа (на другой основе и большей мощностью) производится по заказу.

Двусторонние модули - это новый тип модулей, преобразующих энергию света с обеих сторон - как с тыльной, так и с лицевой. Также имеют алюминиевую рамку. Эти модули могут быть использованы в любой фотоэлектрической установке. Требованием является открытость задней поверхности для того, чтобы она могла получать отраженное и рассеянное излучение. Такие модули обеспечивают существенное снижение стоимости пикового ватта мощности фотоэлектрической установки. Естественно, такие модули могут использоваться и в "обычных" фотоэлектрических системах, где задняя сторона модуля не освещается.

Солнечные модули (состоящие из различного числа фотоэлектрических или солнечных элементов) производятся многих типов и размеров. Наиболее типичные - это кремниевые фотоэлектрические модули мощностью 40-160 Вт<sub>p</sub> (пиковый ватт, т.е. мощностью максимум в 40-160 Вт при ярком солнце). Такой фотоэлектрический модуль имеет размер от 0,4 до 1,6 м<sup>2</sup>.

Фотоэлектрические (солнечные) модули могут соединяться между собой в фотоэлектрические (солнечные) батареи для того, чтобы получить большую мощность (например, 2 модуля по 50 Вт<sub>p</sub>, соединенных вместе, эквивалентны модулю мощностью 100 Вт<sub>p</sub>).

Электрические характеристики солнечной батареи: вольт-амперная характеристика.

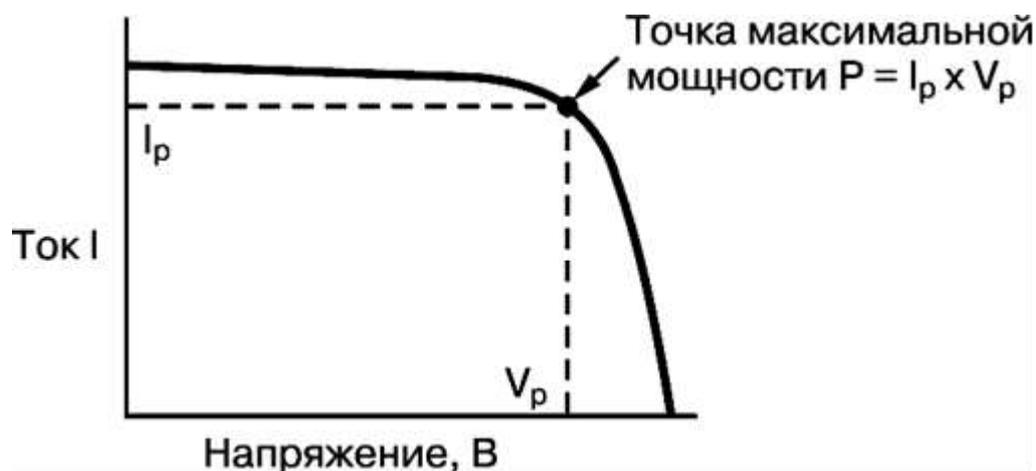


Рисунок 2 – Вольт-амперная характеристика фотоэлемента

Важные точки вольт-амперной характеристики, которые характеризуют солнечный модуль:

Солнечный модуль может работать при любой комбинации напряжения и тока, расположенным на его вольт-амперной характеристике (ВАХ). Однако в реальности модуль работает в одной точке в данное время. Эта точка выбирается не модулем, а электрическими характеристиками цепи, к которой данный модуль (или солнечная батарея) подключен.

Напряжение, при котором ток равен 0, называется напряжением холостого хода ( $V_{oc}$ ). С другой стороны, ток, при котором напряжение равно 0, называется током короткого замыкания ( $I_{sc}$ ). В этих крайних точках ВАХ мощность модуля равна 0. На практике, система работает при комбинации тока и напряжения, когда вырабатывается достаточная мощность. Лучшее сочетание называется точкой максимальной мощности (ТММ, или МРР). Соответствующие напряжение и ток обозначаются как  $V_p$  (номинальное напряжение) и  $I_p$  (номинальный ток). Именно для этой точки определяются номинальная мощность и КПД солнечного модуля.

При прямом соединении солнечного модуля к аккумуляторной батарее, модуль работает при напряжении, равном напряжению аккумуляторной батареи в данный момент. По мере заряда АБ ее напряжение растет, поэтому модуль может работать в диапазоне напряжения от 10 до 14,5В (здесь и далее используются напряжения для модуля номинальным напряжением 12В. Для модулей с номинальным напряжением 24В значения напряжения нужно умножить на 2). Соответственно, его рабочая точка может быть довольно далеко от оптимальной.

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения P2.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности E равной, например, 400 Вт/м<sup>2</sup> и следите за ее постоянством в ходе эксперимента.
- Переключите мультиметр блока P1 с подключенной термопарой в режим измерения температуры.
- Контролируя температуру поверхности T фотоэлектрического модуля по показаниям мультиметра, выждете (7... 10 минут), пока она не установится, и зафиксируйте ее.
- Вращая регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ, изменяйте ток нагрузки I фотоэлектрического модуля блока А1 и заносите показания амперметра (ток I) и вольтметра (напряжение U фотоэлектрического модуля блока А1) в таблицу.

I, A									
U, B									

- При этом обязательно измерьте ток  $I$  и напряжение  $U$  при максимальной мощности, отдаваемой фотоэлектрическим модулем, которую контролируйте по ваттметру блока нагрузки и измерения АЗ.

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатели "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения АЗ.

- Используя результаты табл. 1.1, постройте искомую вольт-амперную характеристику фотоэлектрического модуля  $U=f(I)$  при  $E = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ .

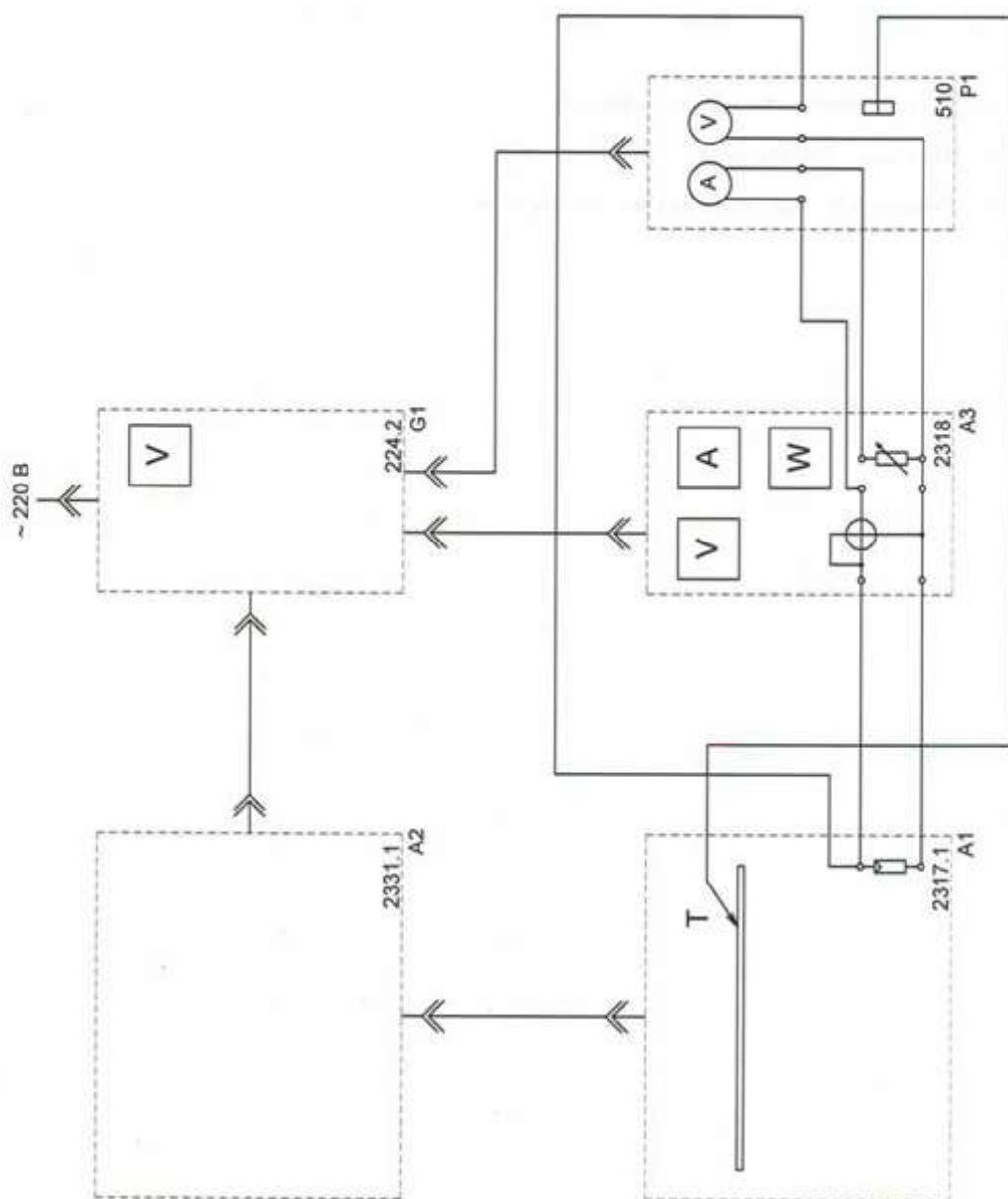


Рисунок 3 – Схема электрических соединений

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Сформулируйте цель лабораторной работы и поясните, как достигается поставленная цель.
2. Назовите основные элементы лабораторного стенда и объясните их назначение.
3. Конструкция солнечного элемента.
4. Что называют солнечным модулем? Основные типы модулей?
5. Что такое вольт-амперная характеристика (ВАХ) солнечного элемента?

## Лабораторная работа №2. Использование энергии солнца. Снятие энергетической характеристики фотоэлектрического модуля $P=f(I)$

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие и построение энергетической характеристики фотоэлектрического модуля  $P=f(I)$ .

### Основы теории:

Напряжение холостого хода – это максимальное напряжение, создаваемое солнечным элементом, возникающее при нулевом токе (рис. 4). Оно равно прямому смещению, соответствующему изменению напряжения р–n-перехода при появлении светового тока. Напряжение холостого хода обычно обозначается  $U_{xx}$ . Напряжение холостого хода монокристаллических солнечных элементов высокого качества достигает 730 мВ. В коммерческих устройствах оно обычно находится на уровне 600 мВ. Напряжение холостого хода солнечного элемента мало меняется при изменении освещенности.

Ток короткого замыкания – это ток, протекающий через солнечный элемент, когда напряжение равно нулю (то есть когда солнечный элемент замкнут накоротко) (рис. 2.2). Ток короткого замыкания обычно обозначается  $I_{кз}$  или  $I_{ss}$ . Он возникает в результате генерации и разделения сгенерированных светом носителей. В идеальном солнечном элементе при условии умеренных резистивных потерь он равен световому току. Поэтому ток короткого замыкания можно считать максимальным током, который способен создать солнечный элемент. Кроме того, он прямо пропорционально зависит от интенсивности света.

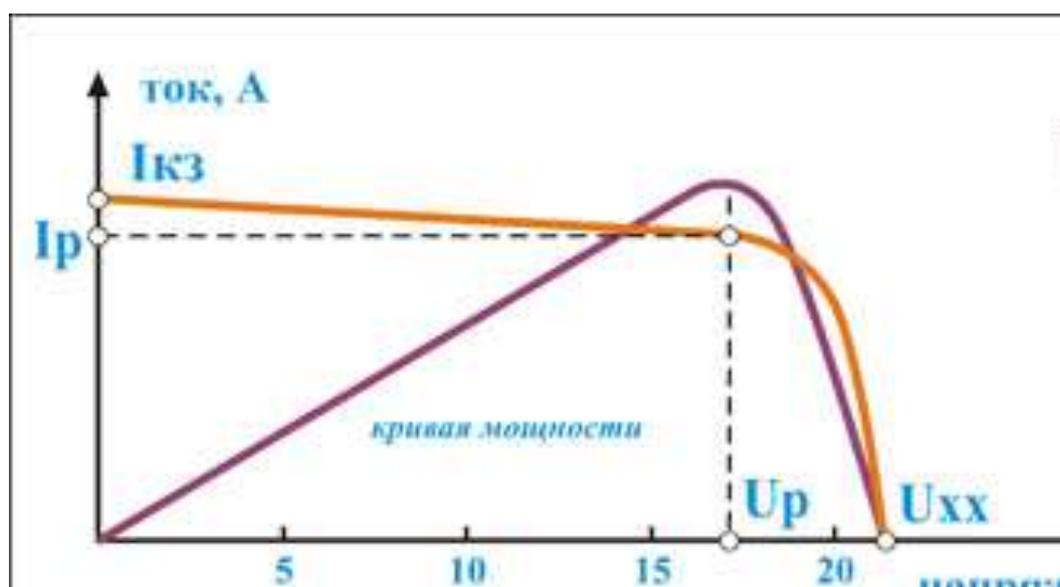


Рисунок 4 – Вольт-амперная характеристика солнечного элемента и напряжение холостого хода

На практике солнечный элемент работает при комбинации тока и напряжения, когда вырабатывается достаточная мощность. Лучшее их сочетание называется точкой максимальной мощности (ТММ), соответствующие напряжение и ток обозначаются  $U_{ТММ}$  и  $I_{ТММ}$ .

Коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечного элемента (fill factor, FF). Ток короткого замыкания и напряжение холостого хода – это максимальные ток и напряжение, которые можно получить от солнечного элемента. Однако, при напряжении холостого хода и токе короткого замыкания мощность солнечного элемента равна 0.

Коэффициент заполнения – параметр, который в сочетании с напряжением холостого хода и током короткого замыкания определяет максимальную мощность солнечного элемента. Он вычисляется, как отношение максимальной мощности солнечного элемента к произведению напряжения холостого хода и тока короткого замыкания:

$$FF = (U_{ТММ} \cdot I_{ТММ}) / (I_{кз} \cdot U_{хх}),$$



Рисунок 5 – Кривая мощности

Графически коэффициент заполнения представляет собой меру квадратичности солнечного элемента и равен максимальной площади прямоугольника, который можно вписать в вольт-амперную кривую (рис. 5).

Так как коэффициент заполнения является мерой квадратичности вольт-амперной кривой, солнечный элемент с более высоким напряжением будет иметь и более высокий возможный коэффициент заполнения, поскольку закругленная часть кривой занимает меньше места. Коэффициент заполнения ВАХ является одним из основных параметров, по которому можно судить о качестве фотоэлектрического преобразователя. Типичные качественные серийно выпускаемые солнечные элементы имеют коэффициент заполнения ВАХ

более 0,7. Бракованные элементы имеют коэффициент заполнения ВАХ от 0,4 до 0,65. У аморфных элементов и других тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей коэффициент заполнения ВАХ 0,4–0,7. Чем больше коэффициент заполнения ВАХ, тем меньше потери в элементе из-за внутреннего сопротивления.

При изготовлении каждый солнечный элемент тестируется и при этом измеряется его ВАХ и коэффициент заполнения. Если последний меньше 0,7, то элемент классифицируется как Grade В и продается производителям супердешевых панелей, которые должны уведомлять покупателей о низком качестве элементов.

Коэффициент полезного действия (КПД) является самым распространенным параметром, по которому можно сравнить производительность двух солнечных элементов. Он определяется как отношение мощности, вырабатываемой солнечным элементом, к мощности падающего солнечного излучения. Кроме собственно производительности солнечного элемента, КПД также зависит от спектра и интенсивности падающего солнечного излучения и температуры солнечного элемента. Поэтому для сравнения двух солнечных элементов нужно тщательно выполнять принятые стандартные условия. КПД солнечного элемента определяется как часть падающей энергии, преобразованной в электричество:

$$\eta = (P_{\text{max}} / P_{\text{пад}}) \cdot 100\%,$$

где  $P_{\text{max}}$  – максимальная мощность солнечного элемента, Вт, вычисляется по формуле  $P_{\text{max}} = U_{\text{тмм}} \cdot I_{\text{тмм}} = FF \cdot I_{\text{кз}} \cdot U_{\text{хх}}$ , где  $U_{\text{тмм}}$  – напряжение в точке максимальной мощности, В;  $I_{\text{тмм}}$  – ток в точке максимальной мощности, А;  $FF$  – коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики;  $I_{\text{кз}}$  – ток короткого замыкания, А;  $U_{\text{хх}}$  – напряжение холостого хода, В.

$P_{\text{пад}}$  – мощность падающего солнечного излучения, Вт.

#### ***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

#### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).

- Регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения P2.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности E равной, например, 400 Вт/м<sup>2</sup> и следите за ее постоянством в ходе эксперимента.
- Контролируя температуру поверхности T фотоэлектрического модуля по показаниям мультиметра, выждете (7... 10 минут), пока она не установится, и зафиксируйте ее.
- Вращая регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ, изменяйте мощность P, отдаваемую фотоэлектрическим модулем блока A1 и заносите показания ваттметра (мощность P) и вольтметра (напряжение U фотоэлектрического модуля блока A1) в таблицу.

P, Вт									
U, В									

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатели "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения АЗ.
- Используя результаты табл. постройте искомую энергетическую характеристику фотоэлектрического модуля  $P=f(U)$  при  $E = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ .

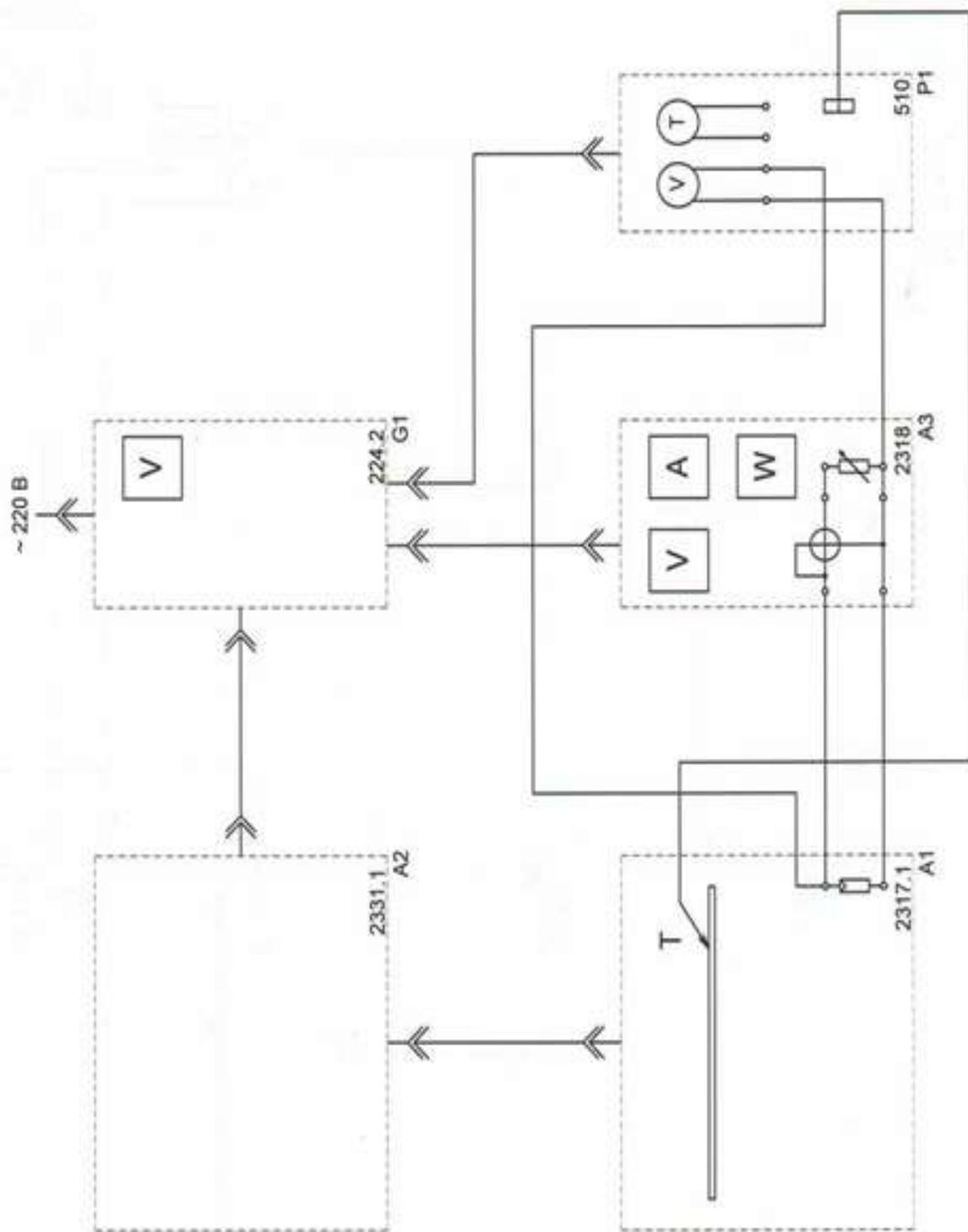


Рисунок 6 – Схема электрических соединений

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Сформулируйте цель лабораторной работы и поясните, как достигается поставленная цель.
2. Назовите основные элементы лабораторного стенда и объясните их назначение.
3. Назовите основные характеристики солнечного элемента.
4. Графическое представление коэффициента заполнения вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечного элемента?
5. От каких параметров зависит КПД фотоэлектрического элемента?

**Лабораторная работа №3. Использование энергии солнца. Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от энергетической освещенности  $IK=f(E)$**

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие и построение энергетической характеристики фотоэлектрического модуля  $IK=f(E)$ .

**Основы теории:**

Солнечные фотоэлектрические модули представляют собой батарею полупроводниковых элементов, обладающих фотоэлектрическими свойствами (способностью генерировать ЭДС под воздействием фотонов света), объединённую в единую конструкцию. Для лицевой поверхности модуля в настоящее время используют специальное просветлённое и закалённое стекло с антибликовой поверхностью или прозрачный поликарбонат. Элементы герметизируются в вакуумной камере пластическими материалами. Наибольшее распространение получили модули с применением поли- и монокристаллов кремния. Также используется аморфный кремний и полупроводники не на кремниевой основе. Элементы соединены последовательно и/или параллельно для получения нужных параметров по току и напряжению. Обычно для придания дополнительной прочности модуль обрамляется в рамку из алюминиевого профиля. Контакты выводятся в герметичную коробку на задней поверхности модуля. Для построения солнечной электростанции модули располагают на каркасе под оптимальным углом к солнечным лучам, для каждого времени года и местности этот угол имеет разное значение. Иногда применяют специальные устройства для автоматического позиционирования модулей на солнце — трекеры, это позволяет увеличить дневную выработку энергии на 20-50%. Модули соединяют в общую систему проводами, для уменьшения потерь длина проводов должна быть как можно меньше, а их сечение как можно большим.

Электрическая энергия постоянного тока, которую вырабатывают солнечные модули, поступает на устройство, называемое контроллером. Если система автономная, то контроллер является контроллером заряда и не допускает выхода из строя от перезаряда аккумуляторов, в которых накапливается энергия, если её производится больше, чем потребляется. Существует великое множество конструкций контроллеров заряда, наиболее эффективные – импульсные ШИМ (используют широтно-импульсную модуляцию) и использующие функцию MPPT (Maximum Power Point Tracker) – отслеживания точки максимальной мощности. Дело в том, что выработка энергии фотоэлектрическим модулем сильно зависит от освещённости, а при зарядке аккумуляторов и от их степени заряда. Контроллер

МРРТ отслеживает эти параметры и обеспечивает максимальную эффективность фотоэлектрической системы.

Для автономных систем применяются герметичные, необслуживаемые аккумуляторы, собранные по технологиям GEL и AGM, с длительным сроком службы. В отдельных случаях допустимо применение щелочных аккумуляторов, не обладающих эффектом «памяти», в тех устройствах, где потребляется постоянный ток. Применение кислотных стартерных аккумуляторов нецелесообразно, т.к. такие аккумуляторы могут быстро выйти из строя из-за сульфатации и расслоения электролита.

Инвертор – это устройство, преобразующее запасённую в аккумуляторах энергию постоянного тока в энергию переменного тока нужного напряжения и частоты. По форме выходного сигнала инверторы бывают с чисто синусоидальным выходом, с квазисинусоидальным и сигналом прямоугольной формы. Применение чисто синусоидальных инверторов не имеет ограничений, если вы применяете инверторы с другой формой выходного сигнала – могут не работать отдельные приборы, например, аналоговые блоки питания, асинхронные двигатели работают с повышенным шумом и могут выйти из строя, не работают некоторые устройства автоматики и т.д.

Стоимость инвертора с чистой синусоидой значительно выше, но качество получаемой энергии можно назвать идеальным. Мощность инвертора подбирается, как было сказано выше, с запасом с учётом пусковых токов, и лучше иметь ещё дополнительный запас по мощности в 20-30%, в таком случае инвертор будет работать долго и надёжно. Иногда используются солнечные электростанции для подпитки существующей электросети, в таком случае аккумуляторы не используются, а энергия, полученная от солнечного света, напрямую передаётся в сеть – такие системы называются «grid-tie» (связанные с сетью) и используются там, где существует локальная перегрузка электрических сетей. В России до настоящего времени подобные системы не находили применения.

Таким образом, применение солнечной энергии для электроснабжения самых разных потребителей развивается в соответствии с ростом потребностей и стоимостью углеводородного топлива. Можно прогнозировать бурный рост этой отрасли в ближайшие годы. Интерес к солнечной энергетике постоянно подогревается сообщениями информационных агентств о запуске в эксплуатацию мощных солнечных электростанций в южной Европе, США, Австралии, Японии, Китае.

***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- С помощью мультиметра зафиксируйте температуру поверхности T фотоэлектрического модуля.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее желаемой энергетической освещенности E, быстро занесите показания амперметра блока мультиметров P1 (ток короткого замыкания Iк фотоэлектрического модуля блока A1) в таблицу 1.3 и быстро поверните регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Дождитесь восстановления температуры (если она изменилась) до ранее зафиксированного значения и повторите предыдущую операцию при другом значении энергетической освещенности E.
- Выполните две предыдущие операции число раз, необходимое для заполнения таблицы

E, Вт/м <sup>2</sup>										
I <sub>к</sub> , А										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1.
- Используя результаты табл. 1.4, постройте искомую зависимость  $I_K=f(E)$  при  $E = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ .

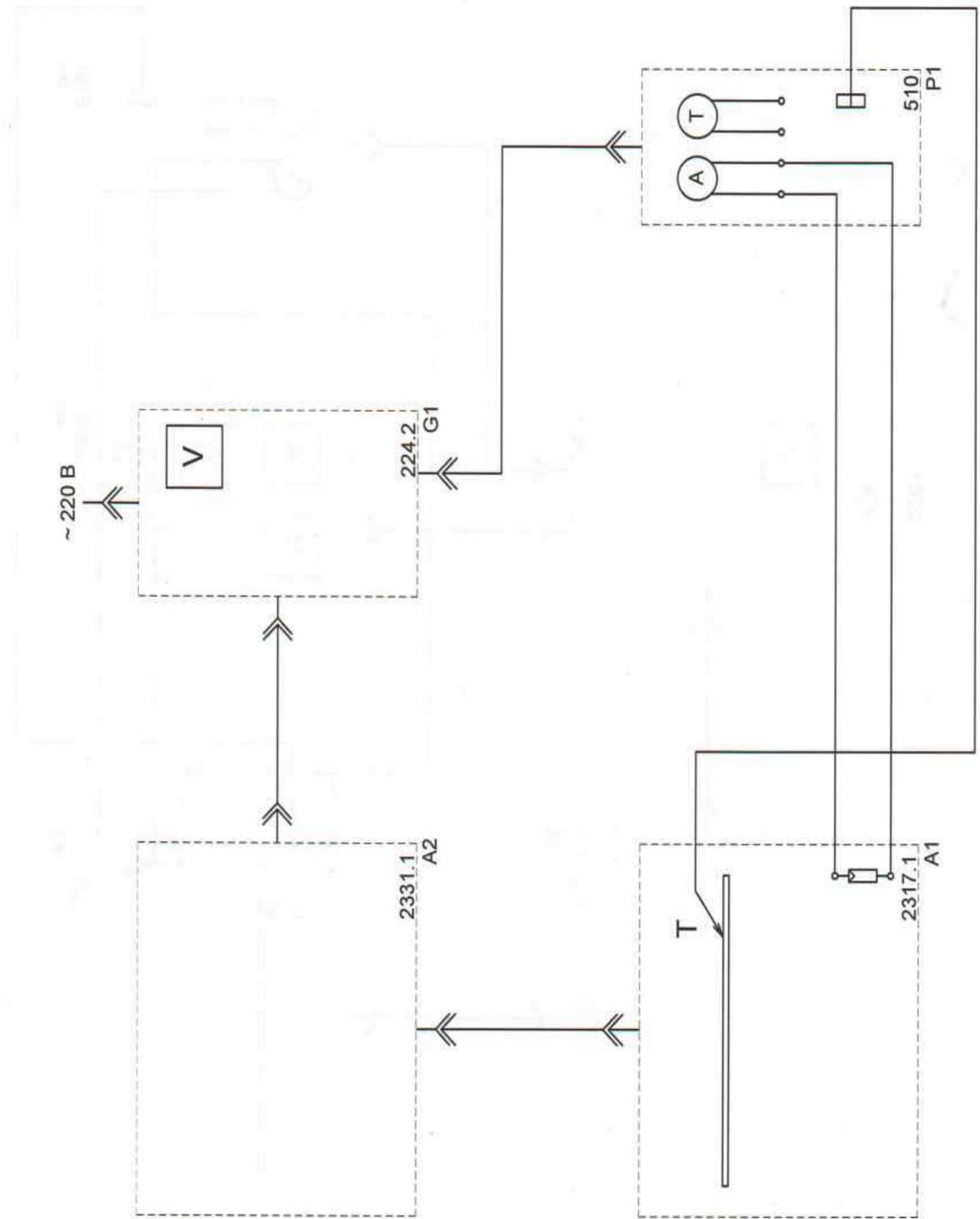


Рисунок 7 – Схема электрических соединений

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Назовите основные типы солнечных коллекторов, их преимущества, недостатки и область применения.
2. Назовите среднегодовое значение солнечной радиации на 1 м<sup>2</sup> земной поверхности для южных и северных стран.
3. Назовите преимущества и недостатки солнечных водонагревательных установок с естественной циркуляцией теплоносителя.
4. Перечислите основные направления использования солнечной энергии в энергетике. Где и в какой мере они развиты?

**Лабораторная работа №4. Использование энергии солнца. Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от угла падения на его поверхность лучей света  $I_K=f(\varphi)$**

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от угла падения на его поверхность лучей света  $I_K=f(\varphi)$

**Основы теории:**

Существует ряд способов преобразования солнечной энергии в электричество, за основу которых приняты различные процессы: термодинамические, термоэмиссионные, термоэлектрические, фотоэлектрические, фотогальванические, фотоэмиссионные. Однако до сих пор практическое применение находят только два из них:

- термодинамические, в основе которых – применение известных термодинамических циклов тепловых двигателей;
- фотоэлектрические, основанные на непосредственном преобразовании полупроводниковыми фотоэлементами светового и инфракрасного излучения в электричество.

Термодинамические солнечные электростанции. С помощью криволинейного солнечного коллектора, состоящего из большого числа зеркал (гелиостатов), солнечная энергия фокусируется в небольшом объеме, где размещается теплоприемник, теплоносителем в котором является вода, воздух или иные газы. В результате получают соответственно либо насыщенный пар с температурой до 550 °С, либо газ с температурой до 1000 °С.

Далее реализуется один из традиционных термодинамических циклов (Ренкина или Брайтона). Наибольшую сложность вызывает управление солнечным коллектором. Гелиостаты должны отслеживать движение Солнца, совершая при этом вращения вокруг двух осей. Самая незначительная деформация коллектора, связанная, например, с неравномерным тепловым расширением элементов его конструкции, приводит к нарушению фокусировки и снижению общей эффективности коллектора. В результате система слежения получается очень сложной, и ее управление осуществляется с помощью ЭВМ. Поэтому, в частности, ограничиваются получением насыщенного пара, так как выделение отдельного пароперегревателя в еще большей степени усложнит управление коллектором.

В настоящее время термодинамические СЭС строятся в основном двух типов: башенного и распределенного (или модульного) типа.

В башенных СЭС паровой котел поднимают высоко над землей (иначе на нем не удастся сфокусировать солнечное излучение). Принципиальная схема башенной СЭС представлена на рис.

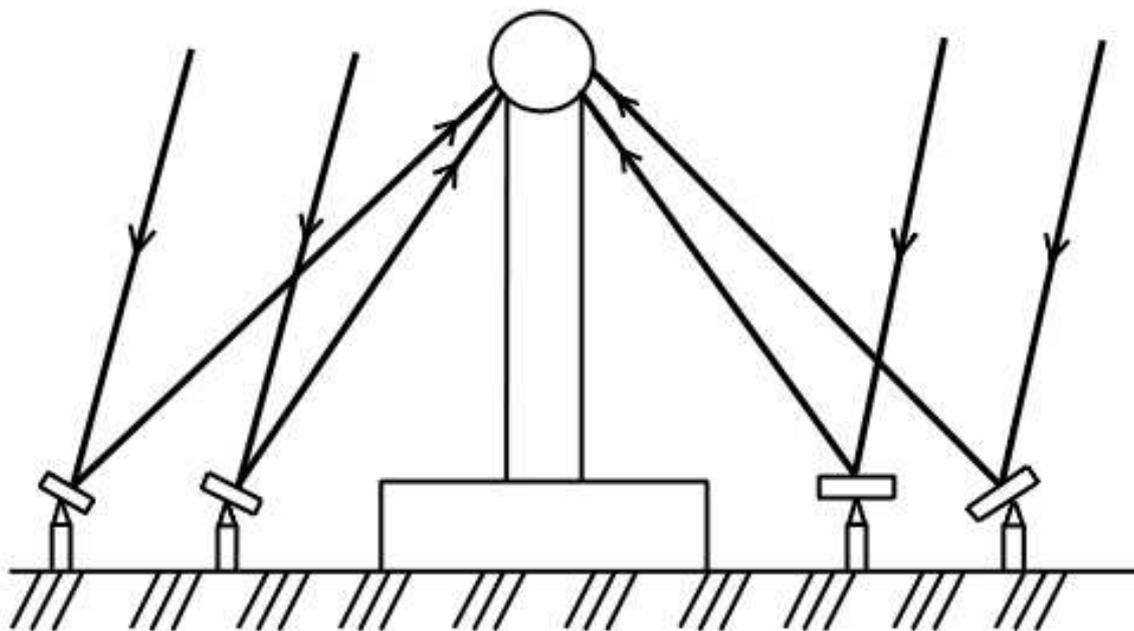


Рисунок 8 – Схема СЭС башенного типа

Главные недостатки башенных СЭС – высокая стоимость и большая занимаемая площадь. Считается, что при мощностях менее 10 МВт СЭС башенного типа нерентабельны, а их оптимальная мощность примерно 100 МВт. При мощности 100 МВт башенная СЭС занимает площадь 200 га и высота ее башни должна быть 250 м. С 1965 года ряд СЭС данного типа построены в США и некоторых европейских странах. В частности, в 1985 году введена в эксплуатацию башенная СЭС в Крыму (пос. Щелкино) мощностью 5 МВт. Солнечный коллектор этой СЭС образуют 1600 гелиостатов (плоских зеркал), каждый из которых имеет площадь 25,5 м<sup>2</sup> и коэффициент отражения 0,71 (естественно, пока гелиостаты остаются чистыми), парогенератор имеет цилиндрическую форму и находится на башне высотой 89 м.

В СЭС распределенного (модульного) типа используется большое количество модулей, каждый из которых снабжен параболоцилиндрическим концентратором. В его фокусе осуществляется нагревание рабочего тела, поступающего далее на общий тепловой двигатель, соединенный с электрогенератором. Самая крупная СЭС такого типа построена в США и имеет мощность 12,5 МВт. Считается, что при небольших мощностях модульные СЭС дешевле, чем башенные.

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности  $E=500 \text{ Вт/м}^2$ .

$\varphi$ , град										
$I_k$ , А										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1.
- Используя результаты табл. 1.4, постройте искомую зависимость  $I_k=f(\varphi)$  при  $E = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ .

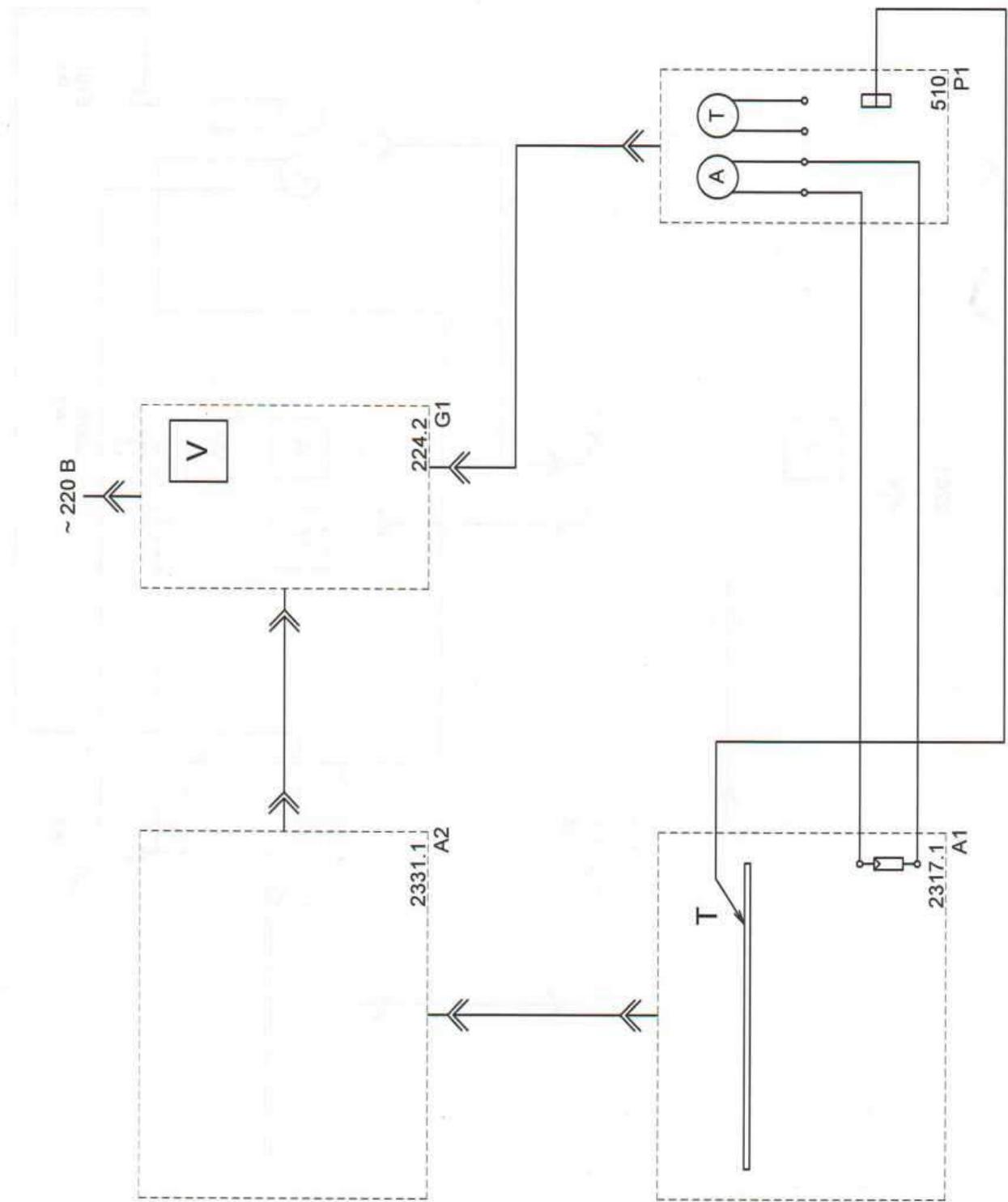


Рисунок 9 – Схема электрических соединений

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Назовите среднее значение к.п.д. преобразования солнечной энергии в электрическую, достигаемую на современных ФЭС.
2. Назовите максимальные значения мощности современных ФЭС.

**Лабораторная работа №5. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).  
Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от его  
температуры  $I_K=f(T)$**

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от его температуры  $I_K=f(T)$

**Основы теории:**

Эффективность (в широком понимании) практического применения автономных энергоустановок определяется широким набором различных параметров: энергетическая эффективность (КПД), стоимость оборудования и эксплуатационные затраты, надежность, безопасность, экологичность и др. Показатели энергоустановки в целом во многом определяются показателями отдельных компонентов, входящих в систему, и тем насколько конфигурация системы оптимальна для заданных условий эксплуатации. Очевидно, что показатели эффективности могут быть оценены только на основе создания экспериментальных и демонстрационных систем и разработки адекватных математических моделей энергоустановок. Одной из принципиальных особенностей модели является

возможность моделирования первичных возобновляемых источников энергии с характерной для них неравномерной генерируемой мощностью в зависимости от географической точки, сезона, и времени суток. Для этой цели используется климатическая база данных, созданная в ИВТ РАН на основе обобщения результатов многолетних метеорологических наблюдений на отечественных метеостанциях и спутниковых данных НАСА.

Реальные климатические условия формируются в формате так называемого типичного метеогода (годовые часовые последовательности интенсивности солнечной радиации, скорости ветра, температуры наружного воздуха и других метеопараметров), что позволяет моделировать работу первичных источников в любой заданной географической точке. В качестве основы для проведения расчетов использована среда автоматического моделирования сложных систем преобразования энергии возобновляемых источников TRNSYS, широко применяемая ведущими зарубежными научными центрами для моделирования установок и систем по преобразованию солнечной энергии, для которых характерны нестационарные режимы работы.

Среда динамического моделирования TRNSYS, первоначально разработана в Висконсинском университете (США) в 1973 году для моделирования систем солнечного теплоснабжения. На сегодня TRNSYS является отраслевым стандартом де-факто, что позво-

ляет говорить о достоверных результатах моделирования. Конфигурация моделируемой системы задается пользователем в виде специального файла описания связей между элементами системы. Этот файл в последних версиях TRNSYS генерируется специальной программой с удобным графическим интерфейсом. Модульный характер TRNSYS, наличие исходного кода и четких правил описания и связывания модулей определяют открытый характер TRNSYS, позволяя пользователю создавать модули описания собственных элементов и включать их в моделируемые системы расширяя таким образом возможности среды моделирования.

Расчетная схема включает в себя как стандартные модули, входящие в поставляемую конфигурацию пакета TRNSYS, так и специально написанные для решения поставленной задачи. Из стандартных модулей в схеме использованы программы генерации часовых последовательностей сумм солнечной радиации, температуры окружающего воздуха и скорости ветра в формате типичного метеогода по среднемесячным данным (TMY), пересчета потоков солнечной радиации с горизонтальной на наклонную поверхность (PV orientation), модули визуализации временных процессов (Type 65) и контроля интегральных критериев работы энергоустановки (Efficiency). Специально разработаны модули расчета батареи фотоэлементов (PV-module) и ветроагрегата (WindTurbine), нагрузки (Load), аккумуляторного накопителя (Battery), электролизера с согласующим преобразователем (Electrolyser), ресивера (Receiver) батареи топливных элементов с согласующим преобразователем (FuelCell), а также модель блока управления (Controller). Модель допускает расширение состава и характеристик блоков.

***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.

- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности  $E=500 \text{ Вт/м}^2$ .

$T, ^\circ\text{C}$										
$I_{\text{к}}, \text{A}$										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1.

- Используя результаты табл. 1.5, постройте искомую зависимость  $I_{\text{к}}=f(T)$  при  $E = \text{const}$

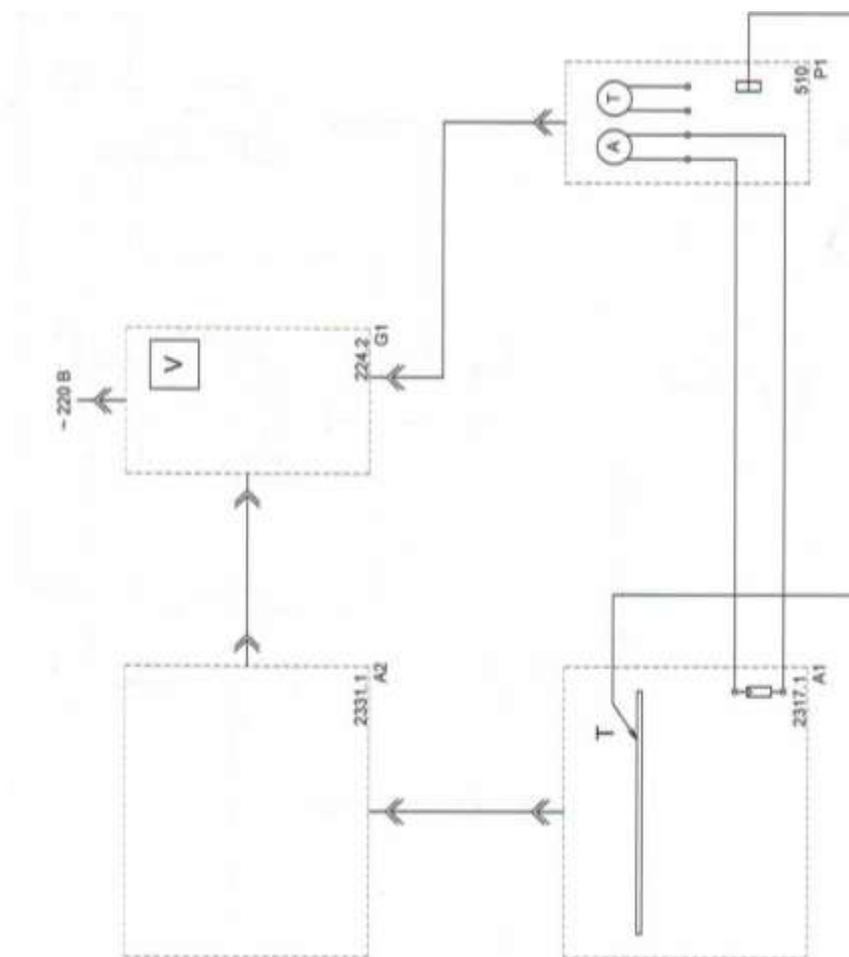


Рисунок 9 – Схема электрических соединений

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Поясните принцип работы солнечного пруда.
2. Назовите два основных принципа действия солнечных электростанций, перечислите их преимущества и недостатки.
3. Чем ФЭС башенного типа отличаются от модульных?

**Лабораторная работа №6. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).**  
**Снятие зависимости напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля от его температуры  $I_{XX}=f(T)$**

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие зависимости напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля от его температуры  $U_{XX}=f(T)$

**Основы теории:**

В общем случае вольт-амперная характеристика фотопреобразователя солнечной энергии с р-п-переходом выражается следующим уравнением:

$$I = I_{\text{н}} \cdot \left[ \exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right] - I_{\text{ф}}$$

где  $I_{\text{н}}$  - ток насыщения в темноте;  $I_{\text{ф}}$  - фототок, то есть ток, созданный возбужденными светом носителями заряда и проходящий через р-п-переход;  $U$  – напряжение на переходе,  $q$  – величина заряда носителей (элементарный заряд).

Если во внешней цепи сила тока  $I = 0$  (цепь разомкнута), то из выражения (1) можно найти напряжение холостого хода  $U_{\text{хх}}$ .

$$U_{\text{хх}} = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{\text{ф}}}{I_{\text{н}}} + 1\right)$$

Поскольку сила фототока обычно прямо пропорциональна световому потоку  $I_{\text{ф}} \sim \Phi$ , то из формулы (2) следует нелинейная зависимость напряжения холостого хода  $U_{\text{хх}}$  от светового потока  $\Phi$ .

Если освещаемый фотопреобразователь включен во внешнюю цепь с малым сопротивлением (или сопротивление нагрузки  $R_{\text{н}} = 0$ ), то напряжение  $U = 0$ . А поскольку напряжение отсутствует, то в цепи течёт ток  $I = -I_{\text{ф}}$ , часто называемый током короткого замыкания  $I_{\text{кз}}$ . Знак минус означает, что ток в цепи течёт в том же направлении, что и при обратном (запирающем) напряжении.

Эффективность преобразования солнечной энергии фотопреобразователя характеризуют с помощью коэффициента полезного действия  $\eta$ .

К.п.д. фотопреобразователя  $\eta$  называют отношение максимальной электрической мощности  $P_{\text{макс}}$ , выделяемой при освещении в нагрузке, к потоку  $\Phi$  падающего солнечного излучения, то есть к мощности солнечного излучения, падающего на поверхность ФЭПа.

$$\eta = P_{\text{макс}} / \Phi = I_{\text{макс}} \cdot U_{\text{макс}} / \Phi$$

Используя другую характеристику фотопреобразователя  $f$  (коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики), к.п.д. можно выразить в следующем виде:

$$\eta = I_{\text{макс}} \cdot U_{\text{макс}} / \Phi = f I_{\text{кз}} \cdot U_{\text{хх}} / \Phi \quad (3)$$

Зависимость  $U_{\text{хх}}$  и  $f$  от температуры в основном вызвана изменением концентрации собственных носителей заряда, что при повышении температуры приводит к уменьшению  $U_{\text{хх}}$  и  $f$ . Для напряжения холостого хода температурная зависимость показана на рис.2. Эта зависимость хорошо согласуется с теоретической, полученной из формулы (3)  $dU_{\text{хх}}/dT = 0,00288 \text{ В}/^\circ\text{С}$ , что отвечает примерно 0,5 % на  $1^\circ\text{С}$ .

Коэффициент полезного действия преобразования фотопреобразователя с р-п переходом на основе кремния, определяемый с помощью формулы (3), достигает максимального значения при температурах от  $-150^\circ\text{С}$  до  $-100^\circ\text{С}$ . При температуре, близкой к  $25^\circ\text{С}$ , к.п.д. изменяется со скоростью, равной примерно  $d\eta/dT = -0,05\%/^\circ\text{С}$ .

При работе фотопреобразователей в условиях низкой температуры возможно значительное уменьшение диффузионной длины и, следовательно,  $I_{\text{кз}}$ . Кроме того при низких температурах металлические контакты могут утратить свои омические свойства, что приведёт к существенному уменьшению коэффициента заполнения  $f$ . В современных кремниевых солнечных элементах последняя проблема в значительной мере устранена.

#### ***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

#### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рис. 1.4.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом  $90^\circ$  градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.

- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности  $E=500 \text{ Вт/м}^2$ .

- Заносите значения термометра блока мультиметров P1 (температура T поверхности фотоэлектрического модуля блока A1) и вольтметра блока мультиметров P1 (напряжение холостого хода  $U_{xx}$  фотоэлектрического модуля блока A1) в таблицу. При этом не допускайте превышение температуры свыше  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

T, °C										
$U_{xx}$ , В										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1.

- Используя результаты табл. 1.6, постройте искомую зависимость  $U_{xx}=f(T)$  при  $E = \text{const}$

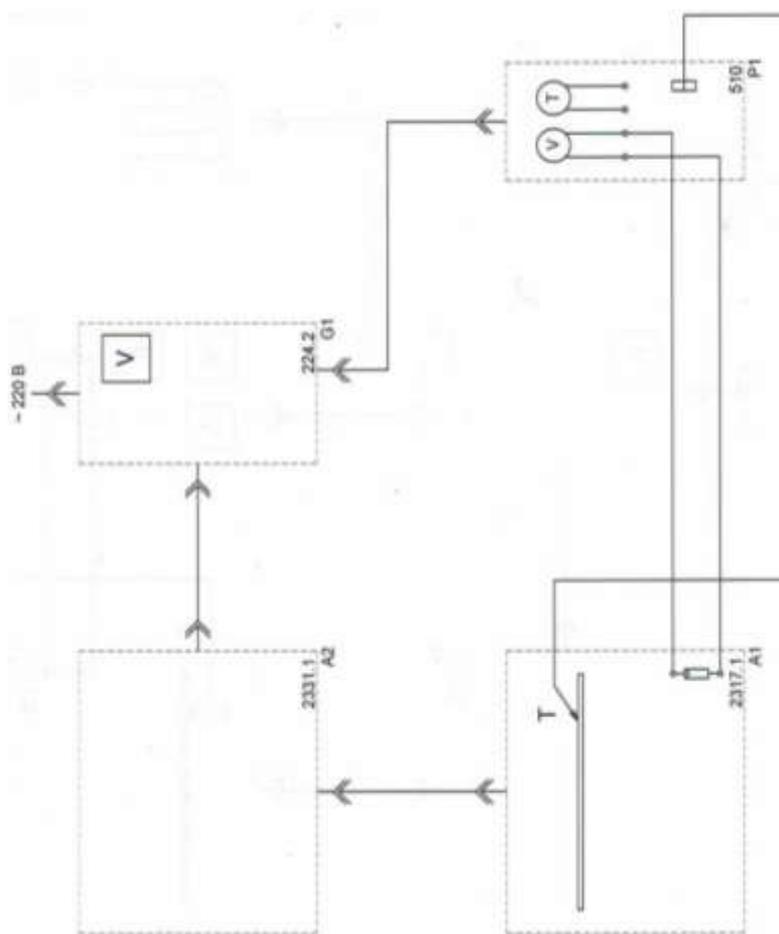


Рисунок 10 – Схема электрических соединений

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Вольт-амперная характеристика фотопреобразователя с р-п переходом.
2. Что называют напряжением холостого хода, током короткого замыкания?
3. Можно ли осуществлять короткое замыкание ФЭПа без вреда для него?
4. Выражение для напряжения холостого хода.
5. Что такое к.п.д. фотопреобразователя? Формула к.п.д.
6. Как зависят  $I_{кз}$ ,  $U_{хх}$  и к.п.д. фотопреобразователя от температуры?
7. Как зависят  $I_{кз}$ ,  $U_{хх}$  и к.п.д. фотопреобразователя от уровня освещённости?
8. Что такое коэффициент концентрации солнечного излучения?
9. Каким образом можно сконцентрировать солнечное излучение на поверхность фотопреобразователя? Причины применения энергетических устройств, состоящих из солнечной батареи и концентратора солнечного излучения?
10. Как зависит  $I_{кз}$  и  $U_{хх}$  от размеров солнечного фотопреобразователя?

**Лабораторная работа №7. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).  
Снятие зависимости максимальной мощности фотоэлектрического модуля от его  
температуры  $P_M=f(T)$**

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие зависимости максимальной мощности фотоэлектрического модуля от его температуры  $P_M=f(T)$

**Основы теории:**

Основу малой энергетики России составляют дизель-генераторы (ДГ) и дизельные электростанции (ДЭС) на их основе. Как источники электроэнергии автономных систем электроснабжения они наряду с очевидными достоинствами имеют и значительные недостатки, основные из которых — большой расход органического топлива на выработку 1 кВт • ч электроэнергии и загрязнение окружающей среды. В то же время полноценной замены им пока нет.

К числу наиболее перспективных направлений повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения относятся использование в энергетическом балансе регионов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и оптимизация режимов работы основного энергетического оборудования. Так как для потребителей электроэнергии децентрализованных зон необходим гарантированный источник питания, наиболее целесообразными вариантами автономных систем представляются ветродизельные и ветрофото-дизельные энергетические установки.

Большинство находящихся в эксплуатации и предлагаемых на рынке автономных энергетических систем, использующих ВИЭ, являются технически законченными изделиями, адаптированными под строго определенный тип энергетического оборудования, не допускающими возможности расширения их функциональных возможностей и наращивания мощностей за счет подключения новых генерирующих источников. Это обусловлено главным образом существенным различием основных технических показателей генерируемой ВИЭ электроэнергии, такими, как род тока, частота и значение выходного напряжения.

Отсутствие на рынке возобновляемой энергетики универсальных устройств, обеспечивающих возможность объединения в рамках единой энергетической системы разнотипных энергетических установок с эффективным управлением

режимами работы, негативно отражается на развитии малой энергетики России, поэтому их создание является актуальной задачей.

Возможны разные варианты сопряжения ДЭС, ветроэнергетических установок (ВЭУ) и фотоэлектрических установок (ФЭУ) при работе на общего потребителя, которые

могут значительно различаться как по составу используемого электрооборудования, так и по технико-экономическим характеристикам.

Система управления станцией при этом должна обеспечивать не только стратегию регулирования мощностей ДГ, ФЭУ и ВЭУ, но и синхронизацию запуска агрегатов и их дальнейшую синхронную работу.

***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.4.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности  $E=500 \text{ Вт/м}^2$ .
- Заносите значения термометра блока мультиметров P1 (температура T поверхности фотоэлектрического модуля блока A1) и вольтметра блока мультиметров P1 (напряжение холостого хода  $U_{xx}$  фотоэлектрического модуля блока A1) в таблицу 1.6. При этом не допускайте превышение температуры свыше 50 °С.

T, °С										
P <sub>м</sub> , Вт										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).

Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения A3.

- Используя результаты табл. 1.7, постройте искомую зависимость  $P_m=f(T)$  при  $E = \text{const}$ .

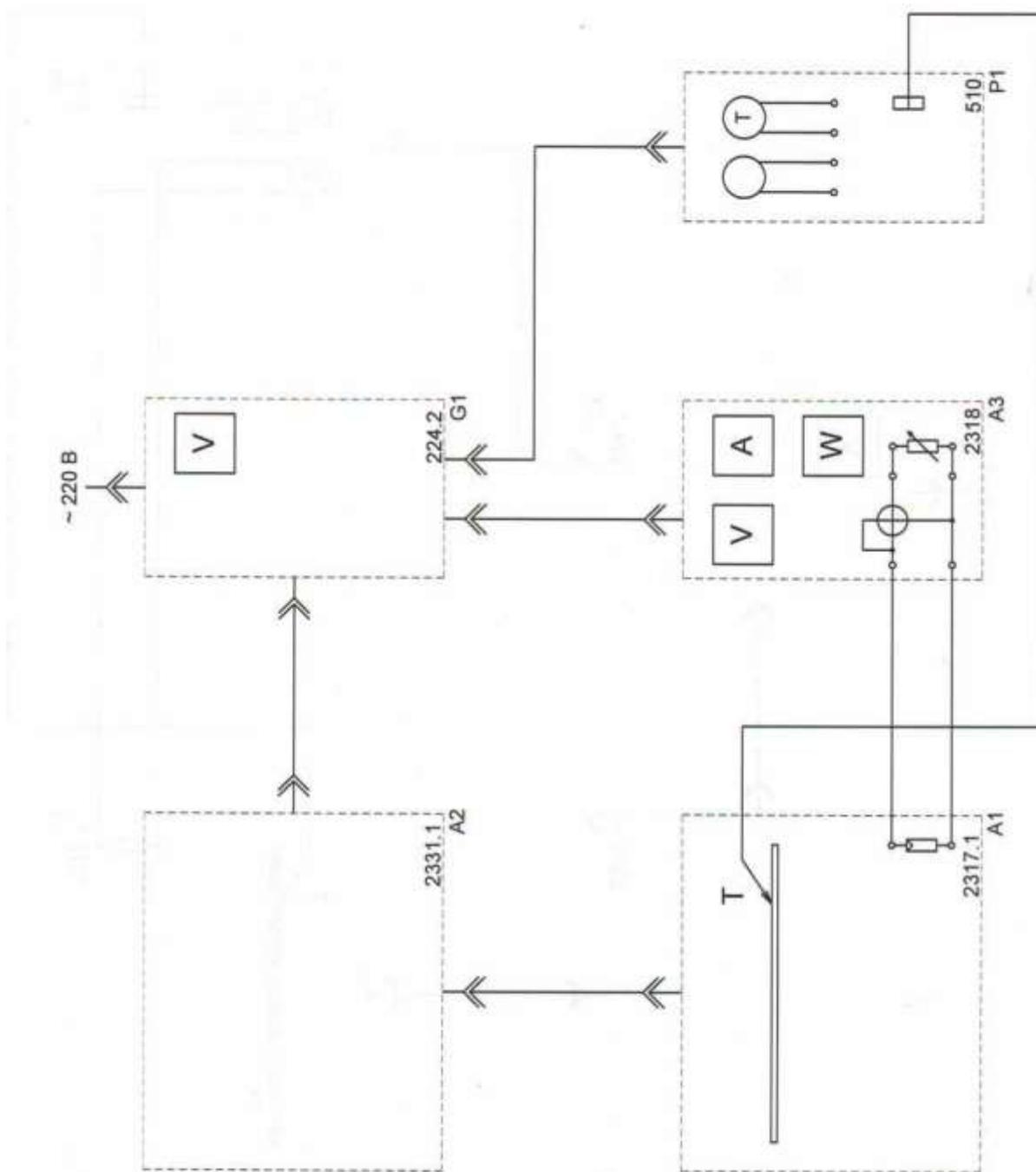


Рисунок 11 – Схема электрических соединений

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Назовите основные типы солнечных коллекторов, их преимущества, недостатки и область применения.
2. Назовите среднегодовое значение солнечной радиации на 1 м<sup>2</sup> земной поверхности для южных и северных стран.
3. Назовите преимущества и недостатки солнечных водонагревательных установок с естественной циркуляцией теплоносителя.

**Лабораторная работа №8. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).  
Снятие режимных характеристик контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи**

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие режимных характеристик контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи

**Основы теории:**

Контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи (АКБ) несомненно является одним из важнейших компонентов солнечной электростанции(СЭС). Он выступает своеобразным связующим звеном между солнечной батареей и аккумуляторной батареей. В его основные функциональные обязанности входит:

- автоматическое подключение солнечной батареи на заряд АКБ;
- многостадийный заряд аккумуляторной батареи;
- автоматическое отключение солнечной батареи при полном заряде АКБ;
- автоматическое отключение нагрузки при установленном уровне разряда АКБ;
- переподключение нагрузки при восполнении заряда АКБ;

Все эти функции необходимы для сохранения ресурса аккумуляторной батареи, преждевременный выход из строя которой повышает расходы на обслуживание системы. Систематический перезаряд приводит к кипению электролита и вспучиванию герметичных АКБ. Глубокий же разряд опасен для аккумуляторов тем, что ведет к сульфатации пластин и гибели АКБ. Особенно чувствительны к перезаряду и переразряду свинцово-кислотные аккумуляторы, наиболее часто применяемые в фотоэлектрических системах. Подробнее об аккумуляторных батареях, их типах, особенностях применения и многом другом читайте в разделе «Аккумуляторы».

Сейчас популярны контроллеры двух типов: технологии ШИМ (PWM) - широтно-импульсная модуляция (Pulse-width modulation) и MPPT - поиск точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking). Существовавшие ранее модели контроллеров отключали солнечный модули при полной зарядке АКБ путем их закорачивания. Это ограничивало область применения подобных контроллеров лишь солнечными батареями, которые не боятся короткого замыкания. Контроллер с ШИМ - это последовательный контроллер и он отключает зарядку не закорачивая солнечные модули. Его алгоритм работы позволяет достигать 100% уровень зарядки аккумулятора. Происходит это в 4 стадии, которые выполняются автоматически в зависимости от фактического уровня заряда АКБ:



Рисунок 12 – Стадии управления зарядки АКБ

1) Стадия Основной заряд/Накопление/Bulk. Когда АКБ получает полностью весь ток солнечной батареи;

2) Стадия Поглощающий заряд/Насыщение/Absorbtion/ШИМ заряд. Когда напряжение на АКБ достигает определенного уровня, контроллер начинает поддерживать постоянное напряжение за счет ШИМ тока заряда. Это позволяет избежать перегрева и газообразования в аккумуляторе. Ток уменьшается по мере заряда АКБ;

3) Стадия Поддерживающий заряд/Равновесие/Float. Когда АКБ полностью заряжена, зарядное напряжение уменьшается для предотвращения дальнейшего нагрева или газообразования в батарее. АКБ поддерживается в заряженном состоянии;

4) Стадия Уравновешивающий заряд (выравнивание/equalization). Только для АКБ открытого типа. Многие батареи с жидким электролитом улучшают свою работу при периодическом заряде до газообразования, при этом выравниваются напряжения на различных банках АКБ и происходит очищение пластин и перемешивание электролита. Зарядка аккумуляторов уравнивательным зарядом – это метод контролируемой перезарядки, который предусматривает перемешивание электролита и восстанавливает неиспользуемые зоны материала пластин, что полностью восстанавливает емкость аккумуляторов. Процесс стадии выравнивания сопровождается большим газовыделением - образуются газообразные водород и кислород. Во избежание взрыва необходимо предусмотреть достаточную вентиляцию и устранить все источники зажигания.

Большинство контроллеров имеют неизменные пользовательские (заводские) настройки режимов заряда. Наиболее правильный же заряд АКБ обеспечивают контроллеры, позволяющие настройку типа, емкости АКБ, напряжений заряда, рекомендованных производителем АКБ.

ШИМ-контроллеры обычно применяются в небольших системах от 100 Вт до 2 кВт, где нужна зарядка аккумуляторов небольшой емкости и установлено немного модулей. Некоторые из них имеют как светодиодную индикацию, так и LCD-экраны, на которые выводится вся текущая информация о работе системы. Ниже приводятся в виде таблицы сокращенные технические характеристики ШИМ-контроллера на примере Steca PR3030:

Когда напряжение на АБ достигает определенного значения, алгоритм ШИМ постепенно снижает ток заряда для предотвращения перегрева, вздувания или закипания аккумуляторов. Однако заряд АБ продолжается для достижения максимального количества энергии, запасаемой в АБ. Более того, сокращается время заряда. Результатом является более высокий КПД процесса заряда, быстрый заряд и полностью заряженная батарея. Аккумуляторы, которые заряжаются с использованием алгоритма ШИМ, будут поддерживаться при очень высоком среднем уровне заряженности в типичной солнечной системе электроснабжения.

Кроме обеспечения более высокой резервной емкости в системе, срок службы аккумуляторной батареи может быть значительно увеличен. При использовании алгоритма ШИМ выравнивание элементов возможно и при более низких напряжениях. ШИМ заряд позволяет поддерживать отдельные элементы аккумуляторной батареи в более сбалансированном состоянии. Это важно при использовании герметичных аккумуляторов, которые не допускают газовыделения.

Также, это очень полезно при использовании при заряде аккумуляторов от солнечных батарей, так как на практике в солнечных системах электроснабжения очень редко бывают случаи, когда возможно поддержание напряжения на АБ на высоком уровне в течение длительного времени.

Специальное исследование контроллеров с ШИМ показало, что контроллеры повышали восприимчивость АБ к заряду именно вследствие использования широтно-импульсной модуляции тока заряда. Контроллеры ШИМ позволили даже увеличить эффективность заряда АБ на 2-8% даже по сравнению с контроллерами, которые поддерживали постоянно высокое напряжение на АБ. Ряд испытаний показал, что алгоритм ШИМ имеет значительные преимущества для повышения восприимчивости АБ к заряду. Это исследование, проведенное Morningstar, было проведено в одинаковых тестовых условиях.

Контроллер с ШИМ позволял "закачать" в аккумулятор на 20%-30% больше энергии от солнечных батарей, чем on-off контроллер.

***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения P2.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности E равной, например, 400 Вт/м<sup>2</sup>.
- Дождитесь когда загорится (если он не горит) правый красный светодиод панели индикаторов «СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТОРА» контроллера А4 и с этого момента начните по часам отсчет времени.
- Заносите прошедшее с момента начала отсчета время t (с интервалом, например 1 мин.) и соответствующие ему показания амперметра и вольтметра блока АЗ (ток I<sub>m</sub> и напряжение U<sub>M</sub> фотоэлектрического модуля), амперметра и вольтметра контроллера А4 (ток заряда I<sub>з</sub> и напряжение U аккумулятора) в таблицу 2.1.

t, мин										
$I_M, A$										
$U_M, B$										
$I_3, A$										
U, B										

- Фиксируйте изменения состояния индикаторов «РЕЖИМ» и «СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТОРА» на лицевой панели контроллера заряда - разряда А4 и моменты времени, когда эти изменения происходят

- Через минуту после снижения тока  $I_1$ , фотоэлектрического модуля до 0,1 А поверните регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 против часовой стрелки до упора (со щелчком).

- Регулировочной рукояткой «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения А3 установите ток разряда  $I_p$  аккумулятора равным, например, 0,5 А и с этого момента начните по часам отсчет времени

- Заносите прошедшее с момента начала отсчета время t (с интервалом, например 1 мин.) и соответствующие ему показания амперметра (ток разряда  $I_p$  аккумулятора) и вольтметра (напряжение U аккумулятора) контроллера заряда-разряда А4 в таблицу 2.2.

t, мин										
$I_p, A$										
U, B										

- Фиксируйте изменения состояния индикаторов «РЕЖИМ» и «СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТОРА» на лицевой панели контроллера заряда - разряда А4 и моменты времени, когда эти изменения происходят.

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения А3.

- Используя данные таблиц 2.1 и 2.2 постройте искомые режимные характеристики  $I_M=f(t)$ ,  $U_M=f(t)$ ,  $I_3=f(t)$ ,  $I_p=f(t)$ ,  $U=f(t)$  контроллера заряда - разряда аккумуляторной батареи.

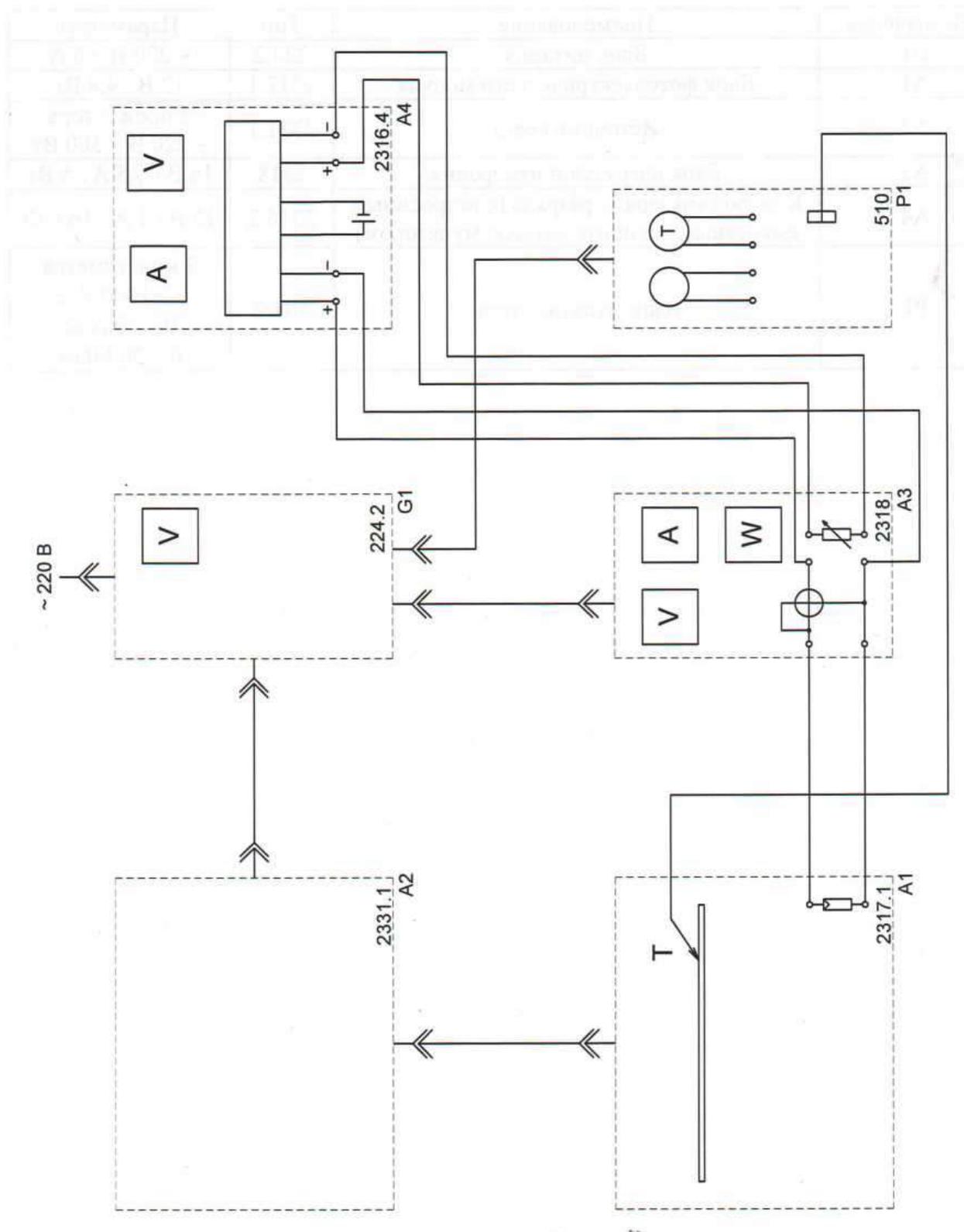


Рисунок 13 – Схема электрических соединений

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Как устроена батарея солнечных элементов?
2. В каких странах и для каких целей активно используются солнечные батареи?
3. До какой температуры нагреты внешние неактивные слои Солнца?

**Лабораторная работа №9. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).  
Моделирование режимов работы автономной фотоэлектрической солнечной электростанции**

**Цель работы:** изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, моделирование режимов работы автономной фотоэлектрической солнечной электростанции

**Основы теории:**

При использовании фотоэлектрических станций (ФЭС) в системах электроснабжения изолированных потребителей, в большинстве практических случаев, они работают в составе гибридных энергетических комплексов с несколькими генерирующими источниками соизмеримой мощности.

При этом гибридные системы могут существенно различаться по составу источников энергии, структуре построения, способам управления режимами. Важнейшей задачей проектирования гибридных систем с возобновляемыми энергоисточниками является согласование режимов производства и потребления энергии, для чего требуется высокая дискретизация прогнозной выработки электрической энергии различными источниками: от среднесуточной до почасовой.

Тщательный анализ энергетического баланса необходим для решения таких задач проектирования, как оптимизация соотношения установленных мощностей генерирующих источников, выбора параметров регулирующих устройств и настройки систем управления.

Основная проблема достоверного определения энергетического баланса ФЭС заключается в том, что непосредственное влияние на него оказывают разнообразные факторы, многие из которых имеют стохастическую природу.

Например, на энергетические характеристики фотоэлектрических преобразователей существенное влияние оказывает интенсивность солнечного излучения и температура окружающего воздуха. Величина солнечной радиации определяет величину фототока фотоэлектрических модулей (ФМ), а температура окружающей среды оказывает определяющее влияние на температуру поверхности солнечной батареи (СБ), от которой практически линейно зависит величина напряжения холостого хода ФМ [6–8].

Нелинейность характеристик основных элементов ФЭС, а также их зависимость от внешних факторов существенно усложняют решение обозначенной задачи, что вызывает необходимость применения методов математического моделирования.

Основными элементами автономной ФЭС являются: СБ, состоящая из набора последовательно параллельно соединенных ФМ; преобразователь постоянного напряжения, работающий под управлением контроллера поиска точки максимальной мощности; накопитель энергии на базе аккумулятора торных батарей и выходной инвертор напряжения. Часто для повышения энергетической эффективности ФЭС ее дополнительно комплектуют системой слежения за Солнцем. В этом случае в состав ФЭС также будет входить блок управления солнечным трекером и исполнительный механизм следящей системы, построенный на базе двигателей с редукторами.

Необходимым условием построения комплексной модели электростанции является согласование моделей элементов в составе единой энергетической системы, что определяет выбор единого универсального инструмента моделирования.



Рисунок 14 – Модель фотоэлектрической солнечной электростанции

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.

- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).

- Регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ поверните против часовой стрелки до упора.

- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.

- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.

- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения P2.

- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.

- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности E равной, например, 400 Вт/м<sup>2</sup>.

- Дождитесь когда загорится (если он не горит) правый красный светодиод панели индикаторов «СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТОРА» контроллера А4 и с этого момента начните по часам отсчет времени.

- Вращая регулировочные рукоятки «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания Ши «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ добейтесь работы модели фотоэлектрической солнечной электростанции в следующих режимах:

- фотоэлектрический модуль заряжает аккумулятор без внешней нагрузки;

- фотоэлектрический модуль заряжает аккумулятор и одновременно питает внешнюю нагрузку;

- фотоэлектрический модуль питает внешнюю нагрузку без аккумулятора;

- фотоэлектрический модуль и аккумулятор одновременно питают внешнюю нагрузку;

- накопитель электрической энергии питает внешнюю нагрузку без аккумулятора.

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).

Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения АЗ.

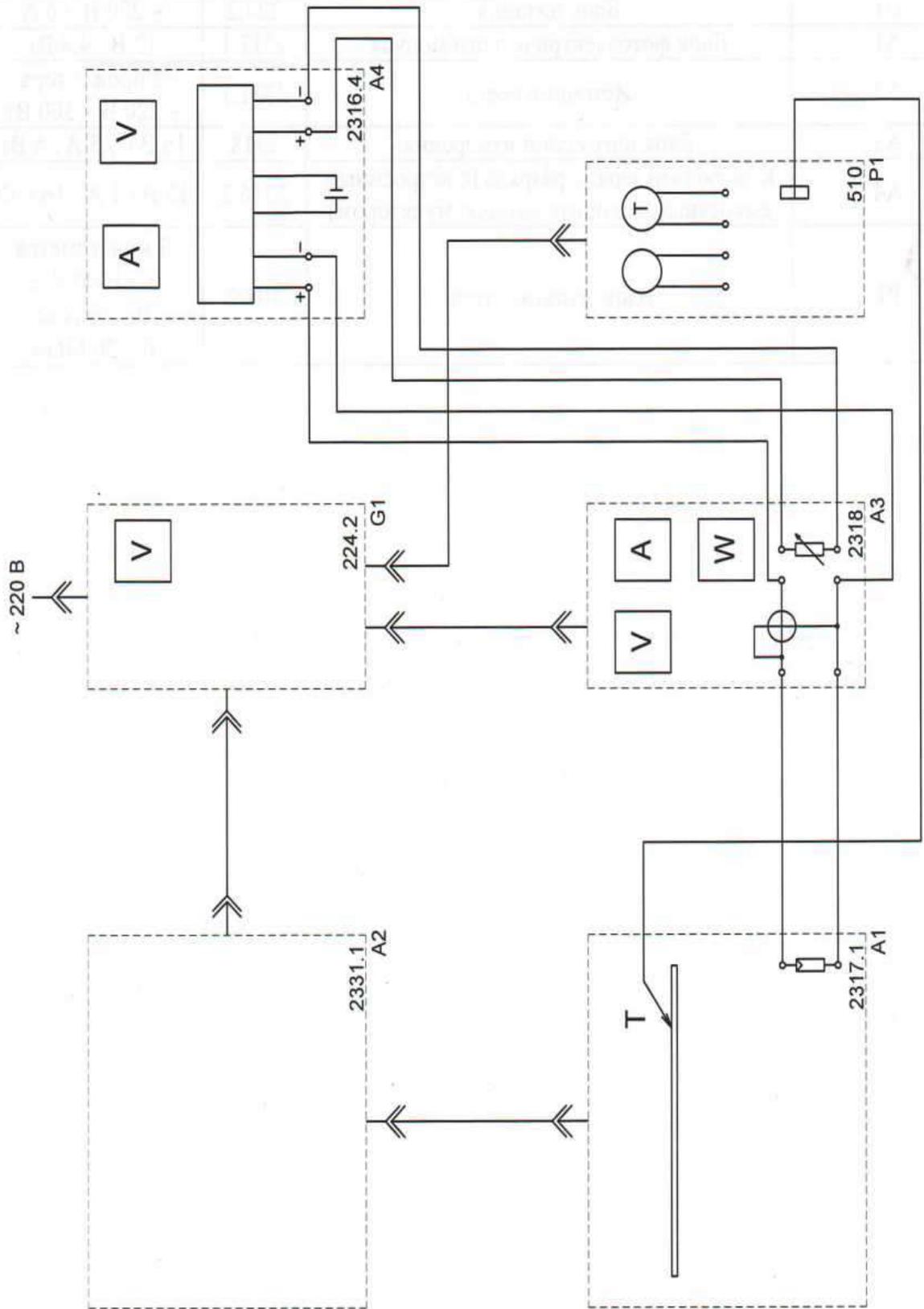


Рисунок 15 – Схема электрических соединений

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какое значение имеет наибольшая интегральная плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю (в полдень в тропиках)?
2. Чему равна энергия фотонов в максимуме спектрального распределения солнечного излучения?
3. В каком виде энергии выгоднее всего аккумулировать и использовать энергию Солнца в средней полосе России?
4. Дайте характеристику активным и пассивным системам солнечного отопления.
5. Как устроен и как работает плоский коллектор солнечной энергии?
6. Для чего верхнюю поверхность абсорбера окрашивают в чёрный цвет или покрывают спектрально-селективными слоями?

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **5.1.2 Перечень основной литературы:**

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

#### **5.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

### **5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

2. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

### **5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

*Указание по технике безопасности*

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранный схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

– трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;

– производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;

– заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест

– без разрешения преподавателя или лаборанта;

– отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;

– перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по выполнению контрольной работы  
по дисциплине «НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»  
для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

## Содержание

№		Стр.
п/п		
	Введение	
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины	
2.	Формулировка задания и ее объем	
3.	Общие требования к написанию и оформлению работы	
4.	Рекомендации по выполнению задания	
5.	План-график выполнения задания	
6.	Критерии оценивания работы	
7.	Порядок защиты работы	
8	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
8.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
8.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
8.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

## Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» является выполнение контрольной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

## 1. Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины

Целью дисциплины является изучение современного состояния и перспектив использования в России и за рубежом энергии солнца, ветра, геотермальных вод, малых рек, океанов, морей, вторичных энергоресурсов и других возобновляемых источников энергии.

Задачами изучения дисциплины являются:

– ознакомление студентов с нетрадиционными источниками энергии, современными методами их использования, проблемами и перспективами развития нетрадиционной энергетики.

– освоение студентами методов расчета установок альтернативной энергетики, оценки их эффективности.

При выполнении контрольной работы реализуются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-2 ПК-1 Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Знает общие представления о ресурсах, основных технологиях, состоянии и перспективах развития энергетических установок, использующих возобновляемые источники энергии. Умеет выбирать типовые схемы объектов проектирования с нетрадиционными источниками энергии. Владеет проблематикой применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии при выборе проектного решения систем электроснабжения объектов.

## 2. Формулировка задания и ее объем

### Задание №1

На солнечной электростанции башенного типа установлено гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность  $F_r$  м<sup>2</sup>. Коэффициент отражения гелиостата  $R_{отр}$ . Максимальная облученность зеркала гелиостата.

Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность  $E_{пр}$ . Коэффициент поглощения приемника  $A_{погл}$ . Степень черноты приемника  $\varepsilon_{пр}$

В приемнике нагревается и испаряется рабочее тело (вода) до температуры  $t_0$ . Давление рабочего тела составляет  $p_0$ . Полученный перегретый пар направляется в турбину мощностью  $N_э$ , работающую по циклу Ренкина. Давление пара за турбиной составляет  $p_k$ . Относительный внутренний КПД турбины  $\eta_{oi}$ . Механический КПД  $\eta_m = 0,975$ . КПД электрогенератора  $\eta_э = 0,985$ . Работой насоса, потерями тепла при его транспортировке, собственными нуждами – пренебречь.

#### Определить:

- расход пара на турбину, кг/с;  $D_0$
- площадь поверхности приемника и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией. Принять, что конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения;  $F_{пр}$   
 $Q_{пот}$
- энергию, полученную приемником от солнца через гелиостаты (кВт).
- количество гелиостатов  $n_{гел}$ ;
- как изменится мощность СЭС, если вместо паротурбинной установки применить кремниевые преобразователи с КПД  $\eta_{фэ} = 0,141$ , занимающие ту же площадь, что и зеркала гелиостатов?

Исходные данные взять из таблицы 1 по вариантам.

Таблица 1 – Исходные данные для задачи №1

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поверхность гелиостата, м <sup>2</sup> $F_2$	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
Коэффициент отражения гелиостата, $R_{отр}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность зеркала гелиостата, $E_z$ , Вт/м <sup>2</sup>	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605

Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{np}$ , МВт/м <sup>2</sup>	2,5	2,1	2,2	2,3	2,6	2,5	2,0	1,9	2,1	1,9
Коэффициент поглощения приемника, $A_{ногл}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,95	0,96	0,97	0,95	0,95
Степень черноты приемника, $\varepsilon_{np}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,97	0,94	0,94	0,93	0,95	0,94
Начальная температура пара, $t_0$ , °С	590	580	570	600	545	550	555	535	565	585
Начальное давление пара, $p_0$ , МПа	10	11	12	13	14	13,5	13,7	12,5	11,2	10,6
Мощность СЭС, $N_3$ , МВт	1,05	3	1,1	5	2	1,2	4,0	1,0	5,5	4,0
Конечное давление пара, $p_k$ , кПа	4,5	5	5,5	6	6,5	3	3,5	4,2	4,3	4,4
Относительный внутренний КПД турбины, $\eta_{oi}$	0,85	0,84	0,83	0,88	0,84	0,86	0,87	0,82	0,83	0,84
<b>Величина</b>	<b>Номер варианта</b>									
	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Поверхность гелиостата, м <sup>2</sup> $F_2$	54	51	68	65	62	69	66	63	60	67
Коэффициент отражения гелиостата, $R_{отр}$	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82
Максимальная облученность зеркала гелиостата, $E_z$ , Вт/м <sup>2</sup>	595	580	605	600	610	595	580	605	600	610
Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{np}$ , МВт/м <sup>2</sup>	2,44	2,14	2,24	2,34	2,64	2,54	2,04	1,94	2,14	1,94
Коэффициент поглощения приемника, $A_{ногл}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,93	0,95	0,96	0,94	0,95
Степень черноты приемника, $\varepsilon_{np}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,96	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94
Начальная температура пара, $t_0$ , °С	450	480	470	400	445	450	455	435	465	485
Начальное давление пара, $p_0$ , МПа	10	11	12	13	14	13,5	13,7	12,5	11,2	10,6
Мощность СЭС, $N_3$ , МВт	2,05	3,5	1,5	5,5	2,5	1,4	3,4	2,0	4,5	4,2
Конечное давление пара, $p_k$ , кПа	6	6,5	3	3,5	4,2	6	6,5	3	3,5	4,2
Относительный внутренний КПД турбины, $\eta_{oi}$	0,85	0,84	0,83	0,88	0,84	0,86	0,87	0,82	0,83	0,84
<b>Величина</b>	<b>Номер варианта</b>									
	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
Поверхность гелиостата, м <sup>2</sup> $F_2$	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
Коэффициент отражения гелиостата, $R_{отр}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность зеркала гелиостата, $E_z$ , Вт/м <sup>2</sup>	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605

Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{np}$ , МВт/м <sup>2</sup>	2,5	2,1	2,2	2,3	2,6	2,54	2,0	1,9	2,15	1,95
Коэффициент поглощения приемника, $A_{пол}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,93	0,95	0,96	0,94	0,95
Степень черноты приемника, $\varepsilon_{np}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,96	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94
Начальная температура пара, $t_0$ , °С	590	580	570	600	545	550	555	535	565	585
Начальное давление пара, $p_0$ , МПа	9	12,5	11,5	13,5	14,5	12,7	11,7	14,5	16,2	12,6
Мощность СЭС, $N_3$ , МВт	4,5	3	2,5	1,55	4,2	3,2	2,5	2,0	5,5	4
Конечное давление пара, $p_k$ , кПа	4,5	5	5,5	6	6,5	3	3,5	4,2	4,3	4,4
Относительный внутренний КПД турбины, $\eta_{oi}$	0,85	0,84	0,83	0,88	0,84	0,86	0,87	0,82	0,83	0,84

### Задание №2

На крыше здания установлен пластинчатый приемник солнечной энергии проточного типа, который имеет поверхность  $F$ , м<sup>2</sup>. Коэффициент использования солнечной энергии  $\eta_{пр}$ . Облученность приемника  $E$ . Приемник освещается солнцем в течение суток  $\tau_{осв}$ .

В приемнике нагревается рабочее тело (вода) от температуры в  $t_1$  до температуры в  $t_2$ . Вода направляется в систему теплоснабжения здания, тепловой мощностью  $Q_{т.сн}$  и в аккумулятор тепловой энергии.

#### Определить:

- расход воды через приемник  $G_6$ , кг/с
- расходы воды в систему теплоснабжения  $G_{т.сн}$  и в аккумулятор  $G_{акк}$ , кг/с
- площадь поверхности приемника  $F$ , м<sup>2</sup>
- емкость аккумулятора  $V$ , м<sup>3</sup>

Исходные данные взять из таблицы 2 по вариантам.

Таблица 2 – Исходные данные для задачи №2

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент использования солнечной энергии $\eta_{пр}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность приемника, $E$ , Вт/м <sup>2</sup> .	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Температура воды на входе, $t_{в1}$ , °С	32	45	27	40	30	45	37	25	30	19

Температура воды на выходе, $t_{в2}$ , °С	45	53	45	55	54	56	49	55	50	36
Тепловая мощность системы теплоснабжения, $Q_{т.сн}$ , кВт	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Период освещения приемника, $\tau_{осв}$ , час	5	6	4	6	7	5	6	7	5	4
<b>Величина</b>	<b>Номер варианта</b>									
	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Коэффициент использования солнечной энергии $\eta_{пр}$	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76
Максимальная облученность приемника, $E$ , Вт/м <sup>2</sup> .	450	475	480	485	490	400	410	420	515	505
Температура воды на входе, $t_{в1}$ , °С	35	44	24	41	34	41	38	21	19	18
Температура воды на выходе, $t_{в2}$ , °С	48	58	47	56	55	58	52	53	45	36
Тепловая мощность системы теплоснабжения, $Q_{т.сн}$ , кВт	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	1,1	1,6	2,1	2,6	3,1
Период освещения приемника, $\tau_{осв}$ , час	7	6	4	6	7	5	6	7	5	4
<b>Величина</b>	<b>Номер варианта</b>									
	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
Коэффициент использования солнечной энергии $\eta_{пр}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность приемника, $E$ , Вт/м <sup>2</sup> .	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Температура воды на входе, $t_{в1}$ , °С	32	45	27	40	30	45	37	25	30	19
Температура воды на выходе, $t_{в2}$ , °С	45	53	45	55	54	56	49	55	50	36
Тепловая мощность системы теплоснабжения, $Q_{т.сн}$ , кВт	1,2	1,3	2,2	2,7	3,1	3,2	4,1	4,3	5,1	5,2
Период освещения приемника, $\tau_{осв}$ , час	4	6	7	5	6	4	6	7	5	6

### Задание №3

Геотермальная электростанция состоит из двух турбин:

– первая – работает на насыщенном водяном паре, полученном в расширителе. Электрическая мощность –  $N_3^{пт}$ ;

– вторая – работает на насыщенном паре хладона – R11, который испаряется за счёт тепла воды, отводимой из расширителя.

Вода из геотермальных скважин с давлением  $p_{гв}$  температурой  $t_{гв}$  поступает в расширитель. В расширителе образуется сухой насыщенный пар с давлением  $p_p$ . Этот пар направляется в паровую турбину. Оставшаяся вода из расширителя идёт в испаритель, где охлаждается на  $t_в$  и закачивается обратно в скважину. Температурный напор в испарительной установке и  $\delta t_n$  20 °С. Рабочие тела расширяются в турбинах и поступают в конденсаторы, где охлаждаются водой из реки с температурой  $t_{хв}$ . Нагрев воды в конденсаторе в  $\Delta t_в=10$  °С, а недогрев до температуры насыщения к  $t$  5 °С.

Относительные внутренние КПД турбин  $\eta_{oi}^{ХТ} = \eta_{oi}^{ПТ} = 0,8$  Электромеханический КПД турбогенераторов эм  $\eta_{ЭМ} = 0,95$ .

**Определить:**

- электрическую мощность турбины, работающей на хладоне –  $N_э^{ХТ}$ ;
- суммарную мощность ГеоТЭС с учетом затрат энергии на насос, закачивающий геотермальную воду в скважину;
- расходы рабочих тел на обе турбины;
- расход геотермальной воды из скважины;
- КПД ГеоТЭС.

Исходные данные взять из таблицы 3 по вариантам.

Таблица 3 – Исходные данные для задачи №3

Вариант	$N_э^{ПТ}$ , МВт	$p_{гв}$ , МПа	$t_{гв}$ , °С	$p_p$ МПа	$\Delta t_в^H$ , °С	$t_{хв}$ , °С
1	1	15	160	0,25	40	5
2	2	16	165	0,26	50	6
3	2,5	17	170	0,27	60	7
4	3	18	165	0,28	45	8
5	3,5	19	160	0,29	55	9
6	3,0	20	155	0,30	65	10
7	2,5	21	150	0,20	42	6
8	2	22	155	0,21	43	7
9	1,5	23	170	0,22	45	8
10	3,0	24	160	0,23	48	9
11	2,5	25	170	0,31	47	5
12	2	26	160	0,24	49	6
13	1,5	27	155	0,26	59	7
14	2	28	150	0,28	60	10
15	2,5	29	155	0,22	54	9
16	3	30	170	0,21	56	5
17	2,5	20	150	0,23	58	6
18	3	19	170	0,27	57	10
19	3,5	18	140	0,22	52	8

20	3,0	17	165	0,23	58	9
21	2,5	16	150	0,31	55	5
22	2	15	160	0,24	65	6
23	1,5	14	155	0,26	42	7
24	2	13	150	0,28	43	10
25	2,5	12	155	0,22	45	9
26	3	11	145	0,21	48	5
27	2,5	10	150	0,23	47	6
28	3	15	145	0,27	57	10
29	3,5	18	150	0,22	47	8
30	3,0	17	165	0,23	49	9
31	4	19	140	0,31	59	9
32	4,5	12	145	0,24	60	5
33	5	14	150	0,26	54	6
34	5,5	15	155	0,28	56	10
35	6	21	160	0,32	58	8
36	6,5	23	165	0,21	57	9
37	7	15	170	0,33	52	5
38	7,5	17	155	0,27	58	6
39	8	20	160	0,32	60	7

### ***3. Общие требования к написанию и оформлению работы***

#### **Основные требования к работе**

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;
- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;
- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

#### **Оформление по ГОСТу текста контрольной**

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;
- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;
- заголовки набираются прописными буквами;
- все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;
- названия разделов размещаются посередине строки, подразделы — с левого края;
- работа распечатывается в принтере на листах А4;

– текст должен располагаться только на одной стороне листа.

**Работа имеет такую структуру:**

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

#### 4. Рекомендации по выполнению задания

##### Указание к решению задачи №1

1. Изобразим схематично солнечную электростанцию башенного типа (рис. 1).

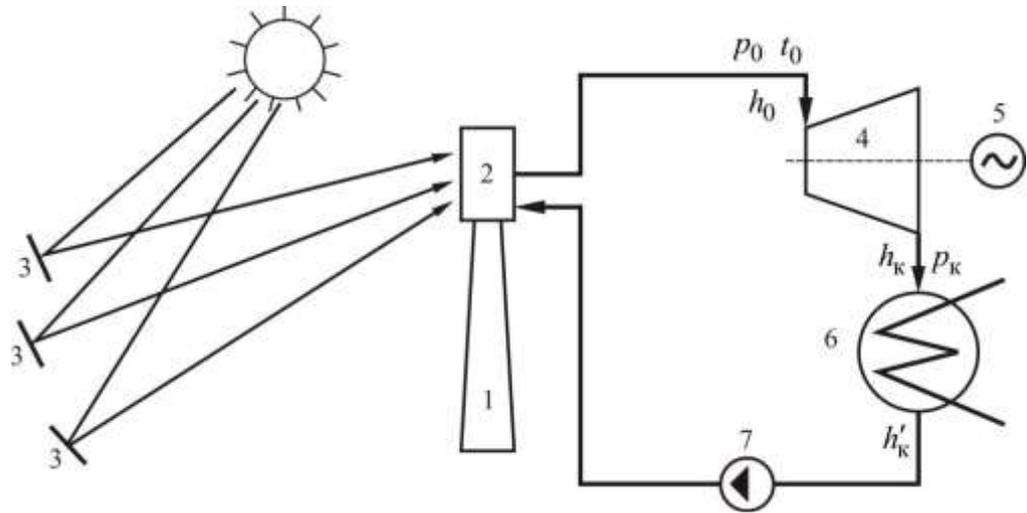


Рисунок 1 – Схема солнечной электростанции башенного типа:

1 – солнечная башня; 2 – приемник; 3 – гелиостаты; 4 – паровая турбина; 5 – электрогенератор; 6 – конденсатор; 7 – насос

2. Построим процесс расширения пара в турбине в  $h - s$  диаграмме (рис. 2)

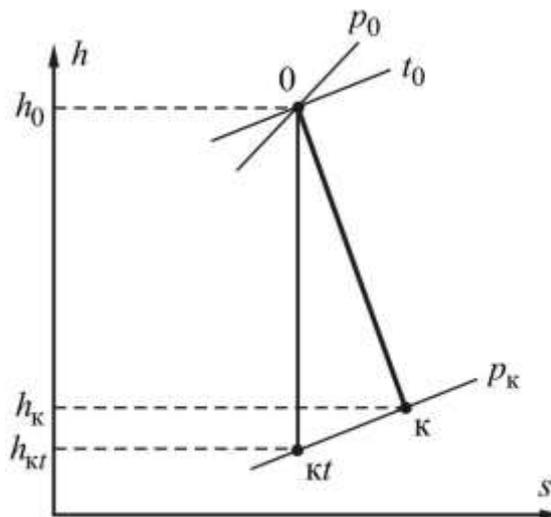


Рисунок 2. Процесс расширения пара в турбине в диаграмме:  $h - s$

0 – kt – теоретический процесс; 0 – к – действительный;

3. Теоретический (располагаемый) теплоперепад турбины:

$$H_o = h_o - h_{kt}, \text{ кДж/кг,}$$

где  $h_0$  – энтальпия пара на входе в турбину – точка 0 (рис. 2). Определяется из таблиц свойств воды и водяного пара по  $p_0$  и  $t_0$ .

$h_{kt}$  – энтальпия пара на выходе из турбины в теоретическом процессе – точка -. Определяется из таблиц свойств воды и водяного пара по  $p_k$  и  $s_0$  (т.к. процесс 0- kt происходит при  $s=const$ ).

4. Действительный теплоперепад турбины:

$$H_i = H_0 * \eta_{oi}, \text{ кДж/кг.}$$

где  $\eta_{oi}$  – Относительный КПД турбины, известен по заданию.

5. Энтальпия пара на выходе из турбины в действительном процессе:

$$h_k = h_0 - H_i, \text{ кДж/кг.}$$

6. По давлению  $p_k$  из таблиц свойств воды и водяного пара находим значение энтальпии конденсата  $h'_k$ .

7. Расход пара на турбину определяется из основного энергетического уравнения турбины:

$$D_0 = \frac{1000 * N_э, \text{ кг}}{H_i * \eta_M * \eta_э, \text{ с}}$$

8. Расход тепла на турбоустановку:

$$Q_{ту} = D_0 (h_0 - h'_k), \text{ кВт.}$$

9. Удельные потери тепла с поверхности приемника солнечной энергии за счет излучения:

$$q_{изл} = c_0 * \varepsilon_{пр} * \left( \frac{T_0}{100} \right)^4, \text{ Вт/м}^2$$

где  $c_0=5,67 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$  – степень излучения абсолютного черного тела (постоянная Стеффана – Больцмана).

Из условия известно, что:

$$q_{конв} = 0,5 * q_{изл}.$$

$$\Delta q_{пот} = q_{изл} + q_{конв} = 1,5 * q_{изл}$$

10. Полная величина тепловых потерь приемника определяется по формуле:

$$\Delta Q_{пот} = \Delta q_{пот} * F_{пр},$$

где  $F_{пр}$  – площадь поверхности приемника. Задаемся этой величиной в диапазоне  $1/7 \text{ м}^2$

11. Количество тепла, полученное приемником от солнца через гелиостаты, определяется по формуле:

$$Q_{пр} = Q_{ту} + \Delta Q_{пот},$$

12. Площадь поверхности приемника:

$$F'_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}}, \text{ м}^2$$

где  $E_{\text{пр}}$  – максимальная энергетическая освещенность приемника, известна по заданию.

13. Погрешность вычислений:

$$\varepsilon = \left| \frac{F'_{\text{пр}} - F_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}} \right| * 100 \leq 1\%$$

Если расхождение между заданной и полученной величиной площади находится в допустимых пределах, то расчет считаем законченным. Если нет, то возвращаемся к п. 11, приняв  $F'_{\text{пр}} = F_{\text{пр}}$ .

14. Количество тепла, получаемое приемником от солнца через гелиостаты, можно рассчитать по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = E_r * n * F_r * R_{\text{отр}} * A_{\text{погл}}$$

Тогда, количество гелиостатов:

$$n = \frac{Q_{\text{пр}}}{E_r * F_r * R_{\text{отр}} * A_{\text{погл}}}$$

15. Мощность солнечной электростанции в случае, если вместо ПТУ применить кремниевые фотоэлементы, занимающие ту же площадь, что и зеркала гелиостатов:

$$N_3^{\phi} = E_r * n * F_r * \eta_{\text{фэ}}$$

### Указание к решению задачи №2

1. Изобразим схему системы солнечного теплоснабжения здания (рис. 3).

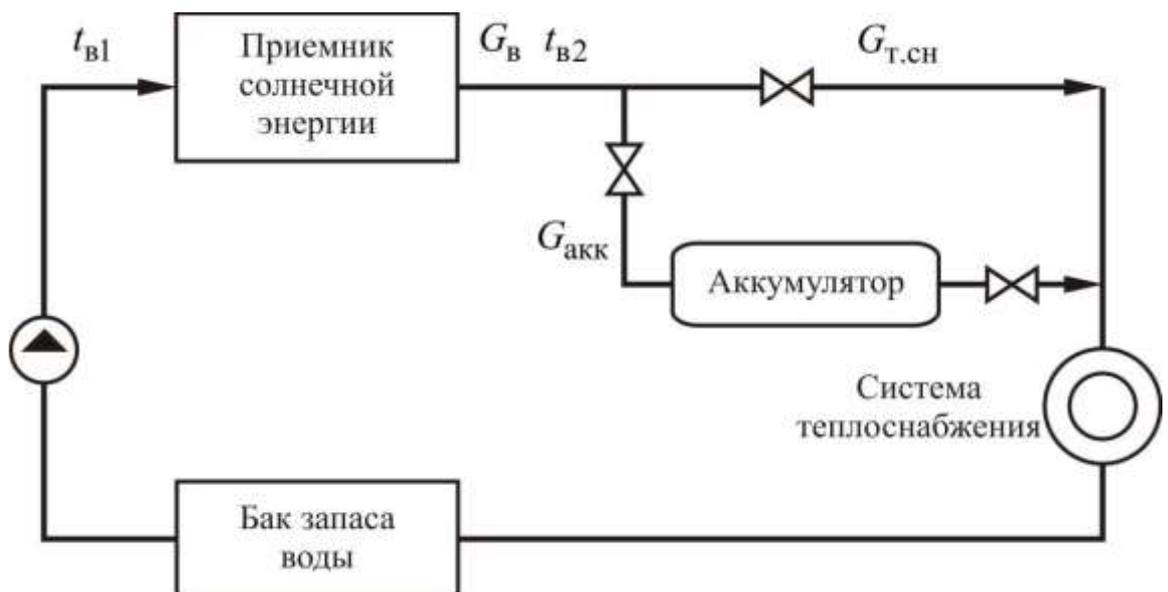


Рисунок 3 – Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения здания

2. Суточное потребление тепла системой теплоснабжения определяется по формуле:

$$Q_{\text{сут}} = 24 * 3600 * Q_{\text{т.сн}}, \text{Дж},$$

где 24 – количество часов в сутках;

3600 – число секунд в часе;

$Q_{\text{сут}}$  – мощность системы теплоснабжения рассматриваемого здания.

3. Тепло, воспринимаемое приемником солнечной энергии в течении периода освещенности, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = E * \eta_{\text{пр}} * F * \tau_{\text{осн}} * 3600, \text{Дж},$$

где  $E$  – облученность приемника,

$\eta_{\text{пр}}$  – коэффициент использования солнечной энергии приемником,

$F$  – площадь поверхности приемника,

$\tau_{\text{осн}}$  – период освещения приемника солнцем в течении суток.

4. Тогда уравнение теплового баланса приемника солнечной энергии можно записать в виде:

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{пр}}$$

или

$$24 * Q_{\text{т.сн}} = E * \eta_{\text{пр}} * F * \tau_{\text{осн}}$$

5. Из этого уравнения можно определить площадь поверхности пластинчатого приемника солнечной энергии проточного типа  $F$ :

$$F = \frac{24 * Q_{\text{т.сн}}}{E * \eta_{\text{пр}} * \tau_{\text{осн}}}, \text{м}^2$$

6. Расход воды через приемник солнечной энергии определяется по формуле:

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{c_p * (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) * \tau_{\text{осн}} * 3600} = \frac{24 * Q_{\text{сут}}}{c_p * (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) * \tau_{\text{осн}}}, \text{кг/с},$$

где  $c_p = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} * \text{К}$  – теплоемкость воды;

$t_{\text{в2}}, t_{\text{в1}}$  – начальная и конечная температура рабочего тела (воды) соответственно.

7. Расход воды в аккумулятор тепловой энергии накопительного типа рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{т.сн}} = \frac{Q_{\text{т.сн}}}{c_p * (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}})}, \text{кг/с}.$$

8. Расход воды в аккумулятор тепловой энергии накопительного типа рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{акк}} = G_{\text{в}} - G_{\text{т.сн}}, \text{кг/с}.$$

9. Емкость аккумулятора можно определить по формуле:

$$V = G_{\text{акк}} * \tau_{\text{осн}} * \frac{1}{\rho}, \text{ м}^3,$$

где  $\rho$  – 1000 кг/м<sup>3</sup> – плотность воды.

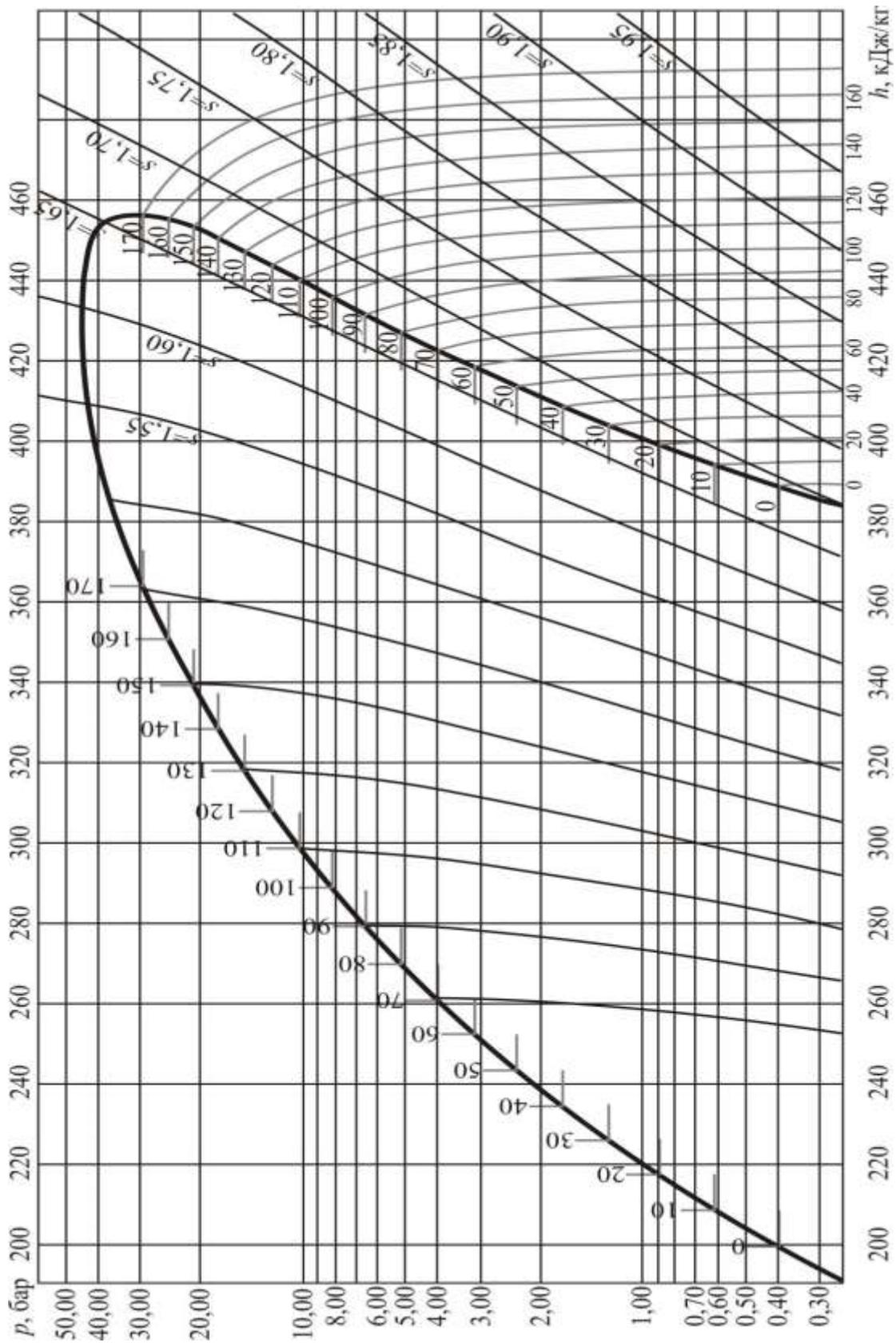


Рисунок 4 – lg p – h диаграмма хладагona R11

Указание к решению задачи №3

Изобразить принципиальную схему геотермальной станции бинарного типа (рис. 5).

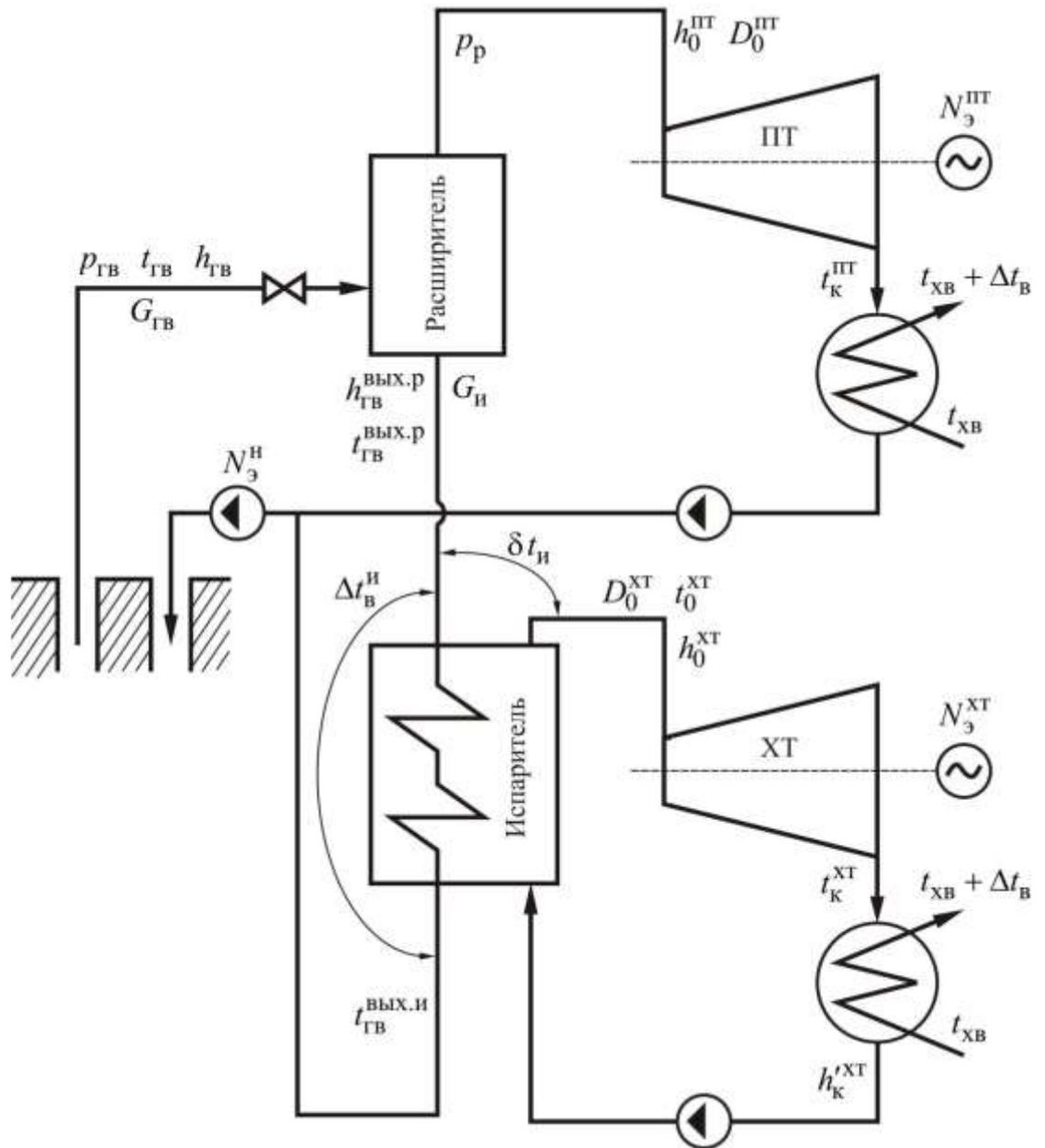


Рисунок 5 – Принципиальная схема геотермальной станции бинарного типа

### 5. План-график выполнения задания

Работа над контрольной работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
<b>Очная форма обучения</b>		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении семестра
4.	Написание контрольной работы	В течении семестра
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении семестра
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии
<b>Заочная форма обучения</b>		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении сессии
4.	Написание контрольной работы	В течении сессии
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении сессии
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии

## **6. Критерии оценивания работы**

В целях повышения качества выполняемых контрольных работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

### **Оценка «зачтено (отлично)» выставляется, если студент:**

- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;
- при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы;
- выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

### **Оценка «зачтено (хорошо)» выставляется, если студент:**

- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную литературу;
- при выполнении упражнений показал хороший уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме;
- выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

### **Оценка «зачтено (удовлетворительно)» выставляется, если студент:**

- представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований;
- показал достаточные знания по основным темам контрольной работы;
- использовал рекомендованную литературу;
- выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или одной негрубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии ошибок, но при наличии 4-5 недочетов.

**Оценка «незачтено (неудовлетворительно)» выставляется:**

– когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы;

– если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

## *7. Порядок защиты работы*

Написанная студентом контрольная работа сдается на кафедру в срок для рецензирования. Студент защищает расчетно-графическую работу до экзамена (зачета) перед преподавателем. Без защиты РГР студент к экзамену (зачету) не допускается.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита расчетно-графической работы может проходить в различных формах по усмотрению преподавателя:

- в форме индивидуальной беседы студента с руководителем по основным положениям работы;
- в форме индивидуальной защиты в присутствии всей группы студентов;
- в форме групповой защиты – одновременной защиты контрольной работы по одному направлению. В этом случае каждый следит за ходом рассуждений товарищей, дополняет, уточняет их, что, несомненно, усиливает работу мысли и способствует развитию экономического мышления.

Любая форма защиты контрольной работы учит отстаивать свою точку зрения, убедительно аргументировать ее, что способствует перерастанию знаний в убеждения.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **8.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **8.1.2 Перечень основной литературы:**

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

#### **8.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

### **8.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

2. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

### **8.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по организации и проведению самостоятельной работы  
по дисциплине «НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕР-  
ГИИ»  
для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

## Содержание

### Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Методические указания по подготовке к контрольной работе
- 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

## Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

## **Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»**

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

**Цель самостоятельного изучения литературы** – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

**Задачами** самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

**Цель самостоятельного решения задач** - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

**Задачами** самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

**Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы** по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

**Задачами** данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-2 ПК-1 Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	<p>Знает общие представления о ресурсах, основных технологиях, состоянии и перспективах развития энергетических установок, использующих возобновляемые источники энергии.</p> <p>Умеет выбирать типовые схемы объектов проектирования с нетрадиционными источниками энергии.</p> <p>Владеет проблематикой применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии при выборе проектного решения систем электроснабжения объектов.</p>

### План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Очная форма обучения					
7 семестр					
ПК-1 ИД-2ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	64,98	7,22	72,2
	Подготовка к лекциям	Собеседование	2,592	0,288	2,88
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	3,888	0,432	4,32
	Выполнение контрольной работы	Собеседование	9,54	1,06	10,6
<b>Итого за 7 семестр:</b>			<b>81</b>	<b>9,0</b>	<b>90</b>
<b>Итого:</b>			<b>81</b>	<b>9,0</b>	<b>90</b>
Заочная форма обучения					
8 семестр					
ПК-1 ИД-2ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	101,7	11,3	113
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,72	0,08	0,8
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	1,44	0,16	1,6
	Выполнение контрольной работы	Собеседование	16,74	1,86	18,6
<b>Итого за 8 семестр:</b>			<b>120,6</b>	<b>13,4</b>	<b>134</b>
<b>Итого:</b>			<b>120,6</b>	<b>13,4</b>	<b>134</b>

### Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
<b>7 семестр</b>			
1.	Практическое занятие № 2	6 неделя	25
2.	Практическое занятие № 4	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 6	16 неделя	15
<b>Итого за 7 семестр</b>			<b>55</b>
<b>Итого</b>			<b>55</b>

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	<b>100</b>
Хороший	<b>80</b>
Удовлетворительный	<b>60</b>
Неудовлетворительный	<b>0</b>

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

## Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

#### Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

#### Вопросы для собеседования

1. Какова доля угля, нефти и природного газа в мировом топливном балансе, в топливном балансе России?
2. Назовите страны, где сосредоточены основные мировые запасы угля.
3. Какова доля гидроэнергетики в выработке электроэнергии в мире, в России?
4. Перечислите причины и последствия мирового энергетического кризиса 70-х годов прошлого века.
5. Сколько литров в 1 барреле нефти?
6. Назовите основные виды традиционных топлив и долю их потребления в мировом топливном балансе.
7. В чем заключается понятие «нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»?
8. Перечислите возобновляемые источники энергии.
9. Укажите приблизительную долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе развитых стран и России.
10. Назовите преимущества и недостатки основных видов ВИЭ.

11. Что препятствует развитию ВИЭ в России.
12. Какие виды ВИЭ в настоящее время наиболее широко распространены, в каких странах?
13. Назовите долю ветроэнергетики в мировом энергобалансе.
14. Назовите страны, в которых наиболее развита ветроэнергетика.
15. Какова предельная величина коэффициента использования энергии ветра?
16. Что характеризует коэффициент быстроходности воздушной турбины?
17. Назовите рабочий диапазон скоростей ветра для современных воздушных турбин.
18. Как регулируется скорость вращения воздушной турбины?
19. Сколько времени в среднем за год ВЭУ работают на номинальной мощности?
20. Назовите основные узлы и элементы автономной ВЭУ.
21. Что такое инвертор?
22. Какие существуют способы регулирования мощности воздушных турбин?
23. Назовите основные регионы России, перспективные для ветроэнергетики.
24. Назовите основные ВЭУ, эксплуатируемые в России.
25. Какую мощность имеют современные ветроэнергетические установки?
26. Как меняется скорость ветра по мере удаления от поверхности земли?
27. Чем опасен неконтролируемый разгон воздушной турбины и какими средствами он предотвращается?
28. Перечислите основные типы воздушных турбин, укажите характерные для них значения коэффициента быстроходности и области применения.
29. Что такое критерий Жуковского–Бетца? Назовите его максимальное значение.
30. Назовите отличительные особенности эксплуатации сетевых и автономных ВЭУ.
31. Назовите диапазон частоты вращения современных воздушных турбин.
32. Какими факторами определяется начало вращения воздушной турбины.
33. В чем отличие терминов «отопительный коэффициент» и «коэффициент преобразования»?
34. Напишите и поясните смысл выражения для приведенного коэффициента полезного действия теплового насоса. В чем недостаток подобных выражений?
35. Почему к эффективности теплового насоса предъявляются более высокие требования, чем к эффективности холодильной машины?
36. Назовите диапазон изменения величины холодильного коэффициента.
37. Как связаны между собой значения холодильного коэффициента и коэффициента преобразования?

38. Назовите преимущества и недостатки привода теплового насоса от поршневого двигателя.
39. Назовите типы и особенности расчета теплообменников, размещенных в грунте.
40. Изобразите тепловую схему теплонасосной мини-ТЭЦ.
41. Почему в теплонасосной схеме мини-ТЭЦ применение поршневого двигателя предпочтительней применения газовой или паровой турбины?
42. Что такое термотрансформаторы, какие типы термотрансформаторов вам известны?
43. Назовите основные требования к рабочему телу теплового насоса и наиболее часто применяемые жидкости.
44. Назовите основные термодинамические циклы тепловых насосов.
45. Какие основные факторы следует учитывать при выборе способа теплоснабжения?
46. Перечислите основные элементы парокompрессионного теплового насоса.
47. Назовите термодинамические процессы, происходящие в элементах парокompрессионного теплового насоса.
48. Изобразите цикл и схему газового теплового насоса, назовите его преимущества и недостатки.
49. Из чего складывается теплота высокого потенциала, передаваемая тепловым насосом?
50. В чем отличие теплового насоса от холодильной машины?
51. Назовите источники внутренней термодинамической необратимости парокompрессионного теплового насоса.
52. Что такое эффективный коэффициент преобразования?
53. При каких значениях коэффициента преобразования оправдан электрический привод компрессора отопительного теплового насоса при замещении ТЭЦ и котельной?
54. Что такое гидротермальная оболочка Земли, где и на каких глубинах она прослеживается?
55. На какую глубину распространяются суточные и сезонные колебания температуры почвы?
56. Что такое геотермическая ступень, каковы ее средние и предельные значения?
57. Каковы температура и степень минерализации подземных вод?
58. Что такое гидротермальные флюиды и синеклизмы?
59. Дайте оценку геотермических характеристик основных регионов России.
60. Назовите основные страны, где используется геотермальная энергия.

61. Каков геотермический потенциал основных источников Камчатки в тоннах условного топлива?
62. Каков мировой геотермический потенциал.
63. Где и какие ГеоТЭС действуют или сооружаются на территории России? Назовите их основные характеристики.
64. Что такое треугольный термодинамический цикл и какие основные пути его реализации?
65. Почему паровые турбины не могут работать в области повышенной влажности пара?
66. Что такое линия инверсии на (T, S) - диаграмме и почему при расширении рабочего тела в гидропаровой турбине, работающей по треугольному циклу, влажность уменьшается, а у паровой турбины, работающей по циклу Ренкина, – увеличивается?
67. Перечислите преимущества и недостатки одно- и двухконтурной схем Гео-ТЭС.
68. В чем заключается динамический цикл работы гидропаровой турбины?
69. Назовите недостатки гидропаровой турбины типа «сегнерово колесо».
70. Какова общая установленная мощность ГеоТЭС в мире?
71. Каким образом поднять температурный потенциал термальных вод?
72. Укажите примерные значения к.п.д. центробежной гидропаровой турбины типа «сегнерово колесо».
73. В чем заключается динамический цикл преобразования теплоты жидкости в работу?
74. Назовите основные элементы струйного конденсатора и поясните происходящие в них тепловые процессы.
75. Приведите основные энергетические характеристики динамического цикла, для использования тепла геотермальных вод.
76. Назовите основные типы солнечных коллекторов, их преимущества, недостатки и область применения.
77. Назовите среднегодовое значение солнечной радиации на 1 м<sup>2</sup> земной поверхности для южных и северных стран.
78. Назовите преимущества и недостатки солнечных водонагревательных установок с естественной циркуляцией теплоносителя.
79. Перечислите основные направления использования солнечной энергии в энергетике. Где и в какой мере они развиты?
80. Назовите основные типы аккумуляторов теплоты.

81. Что такое пассивные солнечные системы отопления и каков принцип их действия?
82. Поясните принцип работы солнечного пруда.
83. Назовите два основных принципа действия солнечных электростанций, перечислите их преимущества и недостатки.
84. Чем ФЭС башенного типа отличаются от модульных?
85. Назовите среднее значение к.п.д. преобразования солнечной энергии в электрическую, достигаемую на современных ФЭС.
86. Назовите максимальные значения мощности современных ФЭС.
87. Какие крупные гидроэлектростанции на территории России вам известны? Укажите их мощность.
88. Какая доля электроэнергии в нашей стране вырабатывается на гидроэлектростанциях?
89. Поясните значение термина «деривация».
90. В чем заключаются отличия платинных и деривационных ГЭС?
91. В чем заключаются отличия плотинных и русловых ГЭС.
92. Поясните принцип работы гидроаккумулирующих ГЭС.
93. Какие преимущества у ГЭС по сравнению с тепловыми электростанциями?
94. Назовите три формы энергии воды и соответствующие им виды водяных двигателей.
95. Поясните понятия: «напор», «напор нетто», «верхний бьеф» и «нижний бьеф».
96. В чем отличие траектории движения жидкости через водяное колесо и гидротурбину?
97. Назовите основные недостатки водяных колес, препятствующие их применению в электроэнергетике.
98. Поясните термин «коэффициент быстроходности гидротурбины». Что он характеризует?
99. Что такое кавитация и как с ней бороться?
100. Что такое турбина Пельтона, как она устроена и при каких напорах обычно работает?
101. Раскройте суть основных параметров современных гидротурбин (мощности, к.п.д., диаметра).
102. Что такое гидротурбина одинарного и двойного регулирования?
103. Укажите область применения динамического теплового цикла в гидроэнергетике и поясните способ его реализации.

104. Назовите примерное значение энергетического потенциала морских волн и течений, а также примеры его использования.

105. Назовите два основных вида биомассы.

106. Сравните ресурсы растительной биомассы с ресурсами других возобновляемых источников энергии.

107. Назовите основные источники растительной биомассы, объемы и перспективы их энергетического использования.

108. Где сосредоточены основные запасы торфа и каковы их объемы?

### *Методические указания по подготовке к контрольной работе*

Контрольная работа – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения контрольной работы заключаются:

– закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;

– научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

При выполнении контрольной работы реализуются следующие компетенции:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-2 ПК-1 Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Знает общие представления о ресурсах, основных технологиях, состоянии и перспективах развития энергетических установок, использующих возобновляемые источники энергии. Умеет выбирать типовые схемы объектов проектирования с нетрадиционными источниками энергии. Владеет проблематикой применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии при выборе проектного решения систем электроснабжения объектов.

## ***Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины***

### ***Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины***

#### ***Перечень основной литературы:***

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

#### ***Перечень дополнительной литературы:***

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

### ***Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине***

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

2. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

### ***Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks