

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра электротехники и возобновляемых источников энергии

УДК 620.9(07)  
К434

И.М. Кирпичникова, Е.В.Соломин

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ  
ЭНЕРГИИ**

Методические указания  
к лабораторным работам

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2013

УДК 620.9(07)  
К434

*Одобрено  
учебно-методической комиссией  
энергетического факультета*

**К434 Теоретические основы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии:** методические указания к лабораторным работам. / сост.: И.М.Кирпичникова, Е.В.Соломин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 32 с.

Методические указания предназначены для студентов направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника» для подготовки, выполнения и оформления отчетов по лабораторным работам по дисциплине «Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики».

Методические указания состоят из разделов техники безопасности при проведении лабораторных работ, описание лабораторных стендов, программ и задач проведения исследований, необходимые теоретические положения, формулы, электрические схемы и таблицы, требования к содержанию отчета по лабораторной работе.

УДК 620.9 (07)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие требования.....	4
Правила безопасности при проведении лабораторных работ в лаборатории «Возобновляемая энергетика».....	5
Лабораторная работа № 1. Исследование режимов холостого хода и короткого замыкания солнечной батареи.....	6
Лабораторная работа № 2. Исследование вольт-амперных характеристик солнечной батареи.....	9
Лабораторная работа № 3. исследование работы двигателя Стирлинга при изменении внешней температуры.....	11
Лабораторная работа № 4. Автономная система электроснабжения на солнечных батареях.....	15
Лабораторная работа № 5. Измерение скорости страгивания ветроколеса ветроэнергетической установки.....	19
Лабораторная работа № 6. Исследование работы ветро-энергетической установки на холостом ходу и под нагрузкой.....	23
Лабораторная работа № 7. Исследование работы плоского солнечного коллектора.....	24
Лабораторная работа № 8. Исследование работы теплового насоса.....	26
Лабораторная работа № 9. Исследование работы гидротурбин малой ГЭС .....	30

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Лабораторные работы по дисциплине «Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики» представляют собой важнейшую часть учебного процесса. Они способствуют лучшему усвоению содержания курса и развивают у студентов специальные навыки.

Перед занятиями студенты должны подготовиться к проведению соответствующей лабораторной работы. Для этого они должны проработать основной теоретический материал по учебникам, конспектам лекций и вводной части лабораторной работы. Уяснить, какими путями и средствами достигается поставленная цель, изучить схему лабораторной установки и программу проведения работы. Перед началом занятий у студентов должна быть заготовлена рабочая тетрадь (черновик) для записей и необходимые таблицы для проведения исследований.

Перед началом лабораторных занятий преподаватель проводит со студентами вступительную беседу с целью ознакомления с оборудованием, измерительными приборами, аппаратурой и специфическими условиями работы в электротехнических лабораториях.

Студенты, впервые приступающие к лабораторным занятиям, обязаны изучить правила производства работ и технику безопасности в лабораториях кафедры «Электротехника и возобновляемые источники энергии». Перед началом выполнения каждой лабораторной работы преподаватель проводит опрос студентов для выяснения степени их подготовленности. Неподготовленные студенты к занятиям не допускаются.

Перед сборкой установки студенты по схемам знакомятся со способами включения отдельных приборов, аппаратов и машин, находят обозначения зажимов и выясняют по схеме, в какое положение должны быть поставлены тумблеры и переключатели электрических устройств. Сборку начинают от зажимов источника питания, обращая особое внимание на плотность контактов. При этом сначала собирают главную - последовательную цепь, а затем уже выполняют все параллельные цепи. Перед началом работы ставят стрелки всех электроизмерительных приборов в нулевое положение.

Собранную схему предъявляют на проверку преподавателю и с его разрешения включают цепь под напряжение. При включении наблюдают за поведением электроизмерительных приборов. При отклонении стрелок приборов за пределы шкал немедленно отключают цепь.

После включения установки под напряжение желательно, не делая записей, убедиться, в каких пределах возможен эксперимент, чтобы предварительно наметить характерные точки для последующих записей в таблице. Результаты измерений заносят в таблицу рабочей тетради. После записей измеренных величин, не разбирая цепи, делают предварительный расчет, и результаты показывают преподавателю.

Если результаты наблюдений оказались неудовлетворительными, то опыт повторяют. Цепь разбирают только по разрешению преподавателя.

На основе полученных опытных и расчетных данных строятся необходимые графики и зависимости и формулируются выводы и заключения по всей работе.

Отчет о работе представляется к следующему занятию каждым студентом индивидуально. Студенты, не представившие отчет, не допускаются к последующим работам.

Студенты, выполнившие все работы и получившие зачет по каждой из них, автоматически получают общий зачет по лабораторным занятиям.

## **ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ «ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА»**

Лаборатория «Возобновляемая энергетика» относится к помещениям повышенной опасности, поэтому при выполнении работ нужно соблюдать дисциплину, внимательность и осторожность:

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прослушавшие инструктаж по охране труда и технике безопасности, расписавшиеся в специальном журнале о его прохождении и обладающие необходимыми знаниями по предстоящей работе.

Лабораторная работа выполняется бригадой в составе не более трех - четырех человек в соответствии с установленным графиком.

Студент имеет право пользоваться лишь приборами его рабочего места, брать приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя или дежурного лаборанта воспрещается

В лабораториях запрещается:

- включать лабораторную установку без разрешения преподавателя;
- производить изменения в схеме, находящейся под напряжением;
- прикасаться голыми руками к неизолированным частям установок, машин, аппаратов;
- оставлять без наблюдения установку, находящуюся под напряжением;
- проникать за установленные ограждения;
- работать одному в помещении лаборатории;
- пользоваться проводами с неисправной изоляцией.

## Лабораторная работа №1

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

**1. Цель работы:** Изучить режимы холостого хода и короткого замыкания фотоэлектрических преобразователей, снять основные характеристики солнечной батареи

#### 2. Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рис. 1.1. Установка состоит из фотоэлектрического (солнечного) модуля типа MSM6-700, светильника–прожектора с галогенной лампой мощностью 300Вт. и блока управления и контроля. Модуль установлен в рамке, которая может быть развернута на угол до  $90^\circ$ . Мощность излучения можно менять с помощью регулятора, расположенного в блоке управления и контроля.

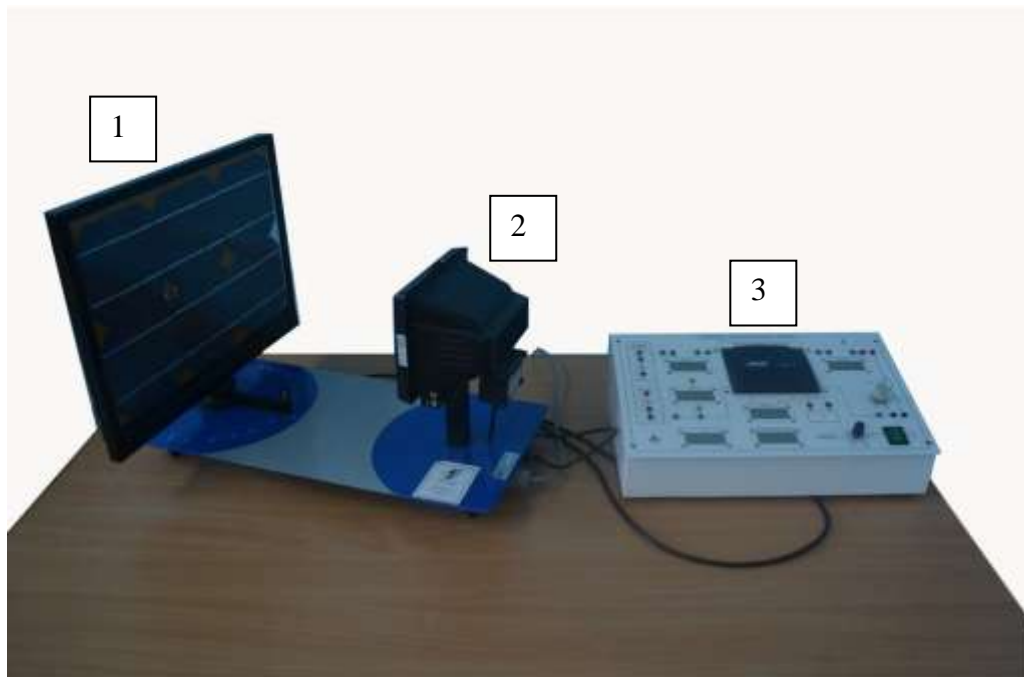


Рис.1.1 Общий вид лабораторного стенда: 1- солнечная батарея; 2 - источник излучения; 3- блок управления и контроля.

Панель блока управления и контроля показана на рис.1.2. С помощью переключателя SA можно обеспечить режим холостого хода, режим короткого замыкания или подключить к фотоэлектрическому модулю нагрузочное переменное сопротивление  $R_n$ . Величина сопротивления нагрузки может изменяться с помощью RP1. Напряжение и ток в исследуемой электрической

цепи измеряются с помощью цифрового вольтметра и цифровых амперметров. Подключение стенда к сети 220В осуществляется с помощью выключателя SA1. Для изменения облученности солнечной батареи используется регулятор напряжения, подаваемого на галогенную лампу.

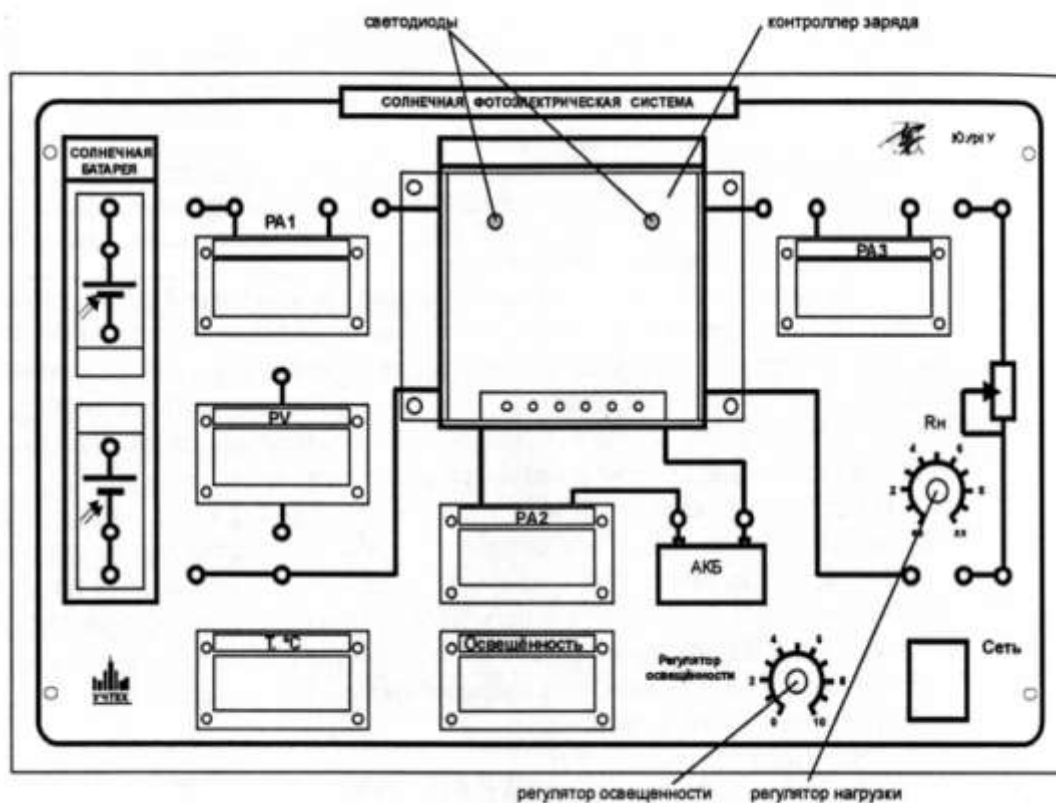


Рис.1.2 Панель блока управления лабораторной установки

В табл. 1.1 представлены основные технические данные используемого фотоэлектрического модуля при стандартных условиях тестирования STC (мощность излучения  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , спектр АМ 1,5, температура  $25^\circ \text{ C}$ ).

Таблица 1.1

Основные характеристики солнечного модуля MSM 6-700

№	Параметры	Значение
1	Напряжение холостого хода, В, не менее	10
2	Ток короткого замыкания, мА	700
3	Пиковая мощность, Вт	6
4	Напряжение при пиковой мощности, В	8,7
5	Ток при пиковой мощности, мА	650

На лицевой стороне солнечного модуля на монтажной плате установлены датчик температуры типа DS18B20 и датчик освещенности типа APDS-9007. Результат измерения освещенности выводится в цифровом виде на соответствующий индикатор панели блока управления и контроля.

Цифровые приборы включают:

- цифровой вольтметр PV1;
- три цифровых амперметра PA1, PA2, PA3;
- цифровой измеритель освещенности солнечной батареи (%);
- цифровой измеритель температуры солнечной батареи ( $T, ^\circ\text{C}$ ).

### 3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Подготовить установку для снятия характеристик фотоэлектрического модуля. Для этого собрать схему по рис.1.3.

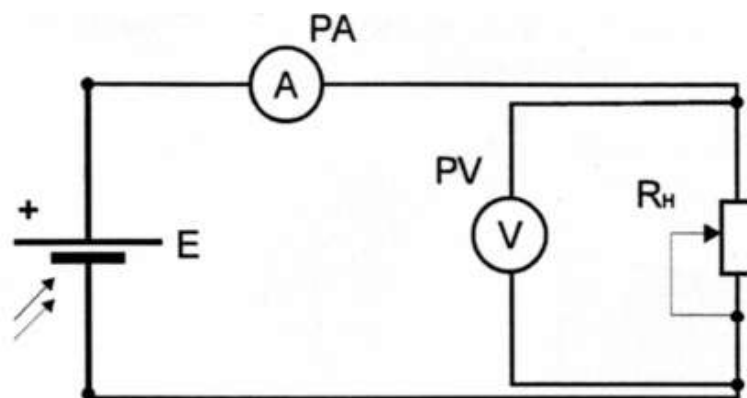


Рис.1.3 Схема для снятия характеристик солнечного модуля

Установить переключатель величины сопротивления нагрузки  $R_n$  в позицию «холостой ход (х.х)». Представить схему для проверки преподавателю.

3. Включить электропитание стенда (выключатель «Сеть») и плавно увеличивая освещенность солнечной батареи снять зависимость величины напряжения холостого хода батареи от освещенности  $U_{xx}=f(E)$ . Результаты занести в табл. 1.2. Выключить электропитание светильника. Построить зависимость  $U_{xx}=f(E)$ .

Таблица 1.2

$E, \text{Вт/м}^2$									
$U_{xx}, \text{В}$									

4. Снять зависимость величины напряжения холостого хода от угла поворота  $U_{xx}=f(\varphi)$  при освещенности солнечной батареи  $E=1000 \text{ Вт/м}^2$ . Выключить



электропитание светильника. Результаты занести в табл. 1.3. Построить зависимость  $U_{xx}=f(\varphi)$ .

Таблица 1.3

$\varphi$ , град(+)									
$U_{xx}$ , В									
$\varphi$ , град (-)									
$U_{xx}$ , В									

5. Установить режим короткого замыкания (замкнуть сопротивление нагрузки) и аналогично п. 3 снять зависимость величины тока короткого замыкания от освещенности  $I_{кз}=f(E)$ . Результаты занести в табл. 1.4. Выключить электропитание светильника. Построить зависимость  $I_{кз}=f(E)$ .

Таблица 1.4.

$E$ , Вт/м <sup>2</sup>									
$I_{кз}$ , А									

#### 4. Содержание отчета

- наименование и цель работы;
- схема для снятия характеристик солнечного модуля;
- таблицы результатов;
- графики зависимостей  $U_{xx}=f(E)$ ,  $U_{xx}=f(\varphi)$ ,  $I_{кз}=f(E)$ .
- выводы.

### Лабораторная работа №2

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

**1. Цель работы:** Изучить зависимость характеристик солнечного модуля от освещенности, снять семейство вольт-амперных характеристик.

#### 2. Описание лабораторной установки

Для выполнения работы используется схема, аналогичная схеме 1.1 лабораторной работы №1 с помощью блока управления и контроля (рис.2.1):



Рис.2.1 Общий вид блока управления и контроля

Основные технические данные используемого фотоэлектрического модуля при стандартных условиях тестирования STC (мощность излучения  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , спектр AM 1,5, температура  $25^\circ \text{ C}$ ) представлены в табл. 1.1 (лаб. работа №1).

### 3. Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему (рис. 2.2).

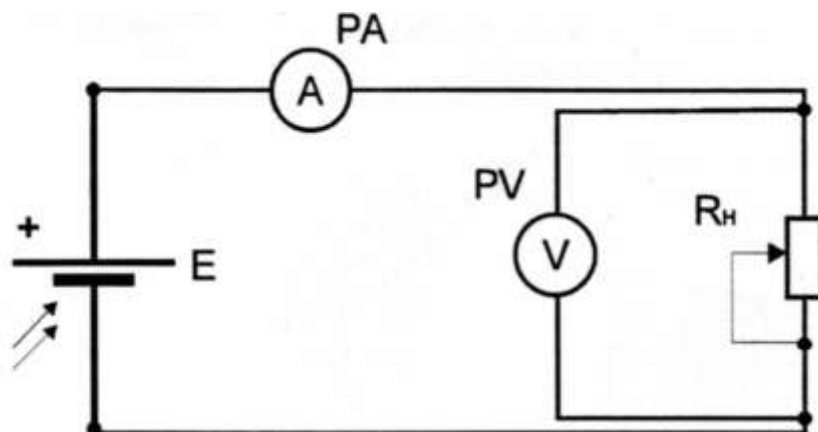


Рис.2.2 Схема для снятия вольт-амперных характеристик солнечного модуля

2. Включить электропитание стенда (выключатель «Сеть») и снять семейство вольт-амперных характеристик солнечного модуля при указанных значениях освещенности модуля  $I=f(U)$ . Результаты занести в табл. 2.1. Выключить электропитание светильника. Построить зависимости  $I=f(U)$ .

Таблица 2.1

Вольт-амперные характеристики солнечного модуля

E= 750 Вт/м <sup>2</sup>									
U, В									
I, А									
P, Вт									
E= 1000 Вт/м <sup>2</sup>									
U, В									
I, А									
P, Вт									
E= 1250 Вт/м <sup>2</sup>									
U, В									
I, А									
P, Вт									

3. По полученным экспериментальным данным рассчитать и построить зависимость мощности солнечной батареи от величины напряжения  $P=f(U)$ . Определить величину напряжения максимальной мощности (рабочее напряжение)  $U_p$  и величину тока максимальной мощности (рабочий ток)  $I_p$ .

#### 4. Содержание отчета

- наименование и цель работы;
- схема для снятия ВАХ солнечного модуля;
- таблицы результатов;
- графики зависимостей  $I=f(U)$ ,  $P=f(U)$ .
- выводы.

### Лабораторная работа №3

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВНЕШНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

**1. Цель работы:** Исследовать влияние температуры подводимого источника тепла и его типа на вырабатываемую двигателем мощность.

## 2. Описание лабораторной установки

Для выполнения работы используется лабораторная модель двигателя Стирлинга (рис.3.1).

Двигатель состоит из двух цилиндров. Большой цилиндр (1) – теплообменный. В нем происходит поочередное разогревание и охлаждение рабочего тела. Для совершения работы одна поверхность цилиндра (А) разогревается, другая поверхность (Б) – охлаждается. Внутри цилиндра свободно перемещается большой поршень (2), выполненный из теплоизоляционного материала. Зазор между стенками цилиндра и поршня составляет 1–2 мм. Зазор выполняет роль теплового клапана, перегоняющего газ то к холодному, то к горячему торцу. Малый цилиндр (3) является рабочим. В нем поршень плотно подогнан к цилиндру.

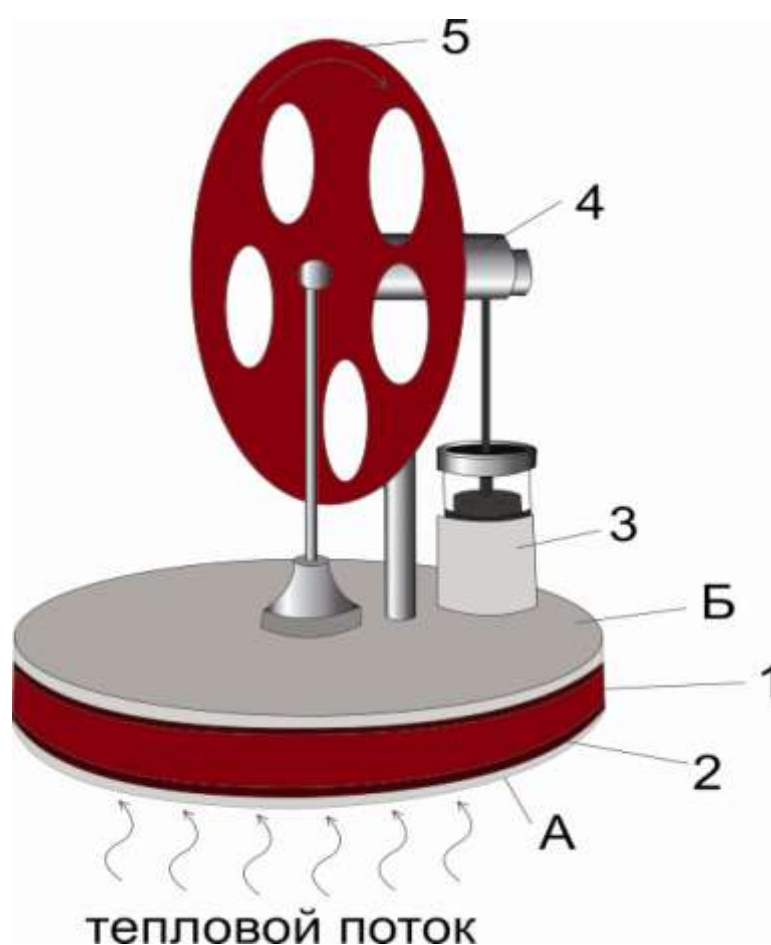


Рис.3.1 Общий вид лабораторной модели: 1 – большой цилиндр, А – нижняя (нагреваемая) поверхность цилиндра; Б - верхняя (охлаждаемая) поверхность цилиндра; 2 – большой поршень, 3 – малый (рабочий) цилиндр; 4 – кривошипно-шатунный механизм; 5 – маховик.

Цикл Стирлинга по термодинамической эффективности аналогичен циклу Карно (рис.3.2), состоит из четырех фаз и разделен двумя переходными фазами: нагрев, расширение, переход к источнику холода, охлаждение, сжатие и переход к источнику тепла.

При переходе от теплого источника к холодному происходит расширение и сжатие газа, находящегося в цилиндре. При этом изменяется давление, за счет чего можно получить полезную работу. Нагрев и охлаждение рабочего тела производится зазором (рекуператором).

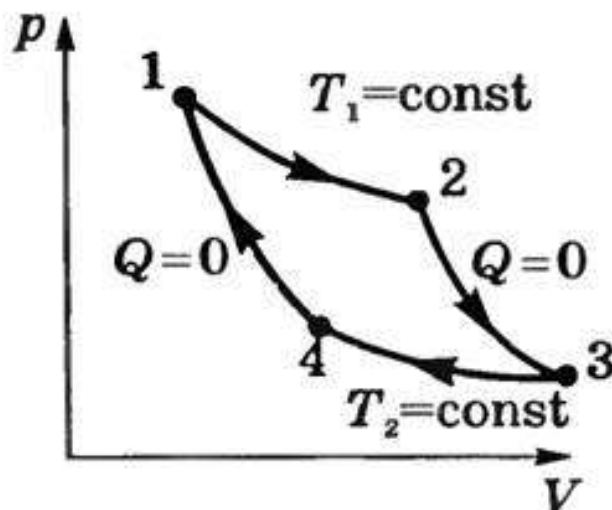


Рис.3.2 Цикл Карно:

- процесс 1-2 — изотермическое расширение при температуре  $T_1$ ;
- процесс 2-3 — адиабатное расширение с понижением температуры до  $T_2$ ;
- процесс 3-4 — изотермическое сжатие при температуре  $T_2$ ;
- процесс 4-1 — адиабатное сжатие с повышением температуры до  $T_1$ .

При нагреве поверхности А любым тепловым источником газ внутри большого цилиндра нагревается, давление увеличивается и газ поднимается через зазор наверх. Большой поршень поднимаясь, выдавливая газ в рабочий цилиндр. Малый поршень рабочего цилиндра поднимается вверх и через кривошипно-шатунный механизм 4 вращает маховик 5. Далее газ в рабочем цилиндре охлаждается, сжимается и через зазор поступает в большой цилиндр. Далее процесс повторяется.

Если соединить вал маховика с валом электрогенератора, последний начнет вырабатывать электрическую энергию.

Мощность, вырабатываемая электрогенератором, определяется:

$$P = M\omega = \frac{2\pi \cdot M \cdot n}{60}, \text{ Вт}, \quad (3.1)$$

где  $M$  – момент силы, Нм;  $n$  – скорость вращения вала двигателя, об/мин;

Момент на валу генератора определяется:

$$M = F \cdot l = S \cdot p \cdot l, \text{ Нм.} \quad (3.2)$$

где  $F$ - сила давления поршня, Н, определяемая произведением площади поршня ( $S = \pi \cdot r^2$ , м<sup>2</sup>) и давления в камере  $p$ ,  $l$  – длина вала, м.

Давление в камере зависит от объема находящегося там газа и температуры. При начальной температуре (при отсутствии нагрева газа) объем газа  $V_1$  определяется:

$$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot h, \text{ м}^3 \quad (3.3)$$

где  $r$  – радиус камеры, м,  $h$  - высота камеры, м.

При нагревании газа на 1 градус, его объем увеличивается на 1/273 от первоначального. В этом случае давление в камере определяется:

$$p = \frac{V_1 + V_2}{273} \cdot t, \text{ Па} \quad (3.4)$$

де  $V_2$  – объем газа при температуре нагрева  $t$ , м<sup>3</sup>.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Изучить лабораторную установку.
2. Измерить с помощью тепловизора температуру поверхностей А ( $t_{н.А}$ , °С) и Б ( $t_{н.Б}$ , °С).
3. Включить источник тепловой энергии (поочередно: лампа электрическая, водяной горячий пар), дождаться момента трогания большого поршня.
4. Измерить температуру поверхностей А и Б с помощью тепловизора.
5. С помощью секундомера измерить скорость вращения вала двигателя. Отсчет количества оборотов в течение 1 минуты вести по окрашенной точке на валу кривошипно-шатунного устройства.
6. Отключить источник тепла, дождаться полного остывания нагретой поверхности большого цилиндра.
7. Повторить измерения с другим источником тепловой энергии.
8. Рассчитать мощность, вырабатываемую установкой.

9. Рассчитать количество энергии, вырабатываемой двигателем Стирлинга в течение 1 часа.
10. Полученные расчетные и измеренные данные занести в таблицу 3.1.
11. Определить возможные потребители энергии, вырабатываемой ДС.
12. Сделать выводы.

Таблица 3.1

Результаты исследования количества энергии, вырабатываемой двигателем Стирлинга

Начальная температура поверхностей А и Б:  $t_{н.А} = \quad ^\circ\text{C}$ ;  $t_{н.Б} = \quad ^\circ\text{C}$

Показатель	Вид теплового источника	
	Лампа накаливания	Горячий пар
Температура поверхности А, $t, ^\circ\text{C}$		
Температура поверхности Б, $t, ^\circ\text{C}$		
Разность температур поверхностей А и Б, $\Delta t, ^\circ\text{C}$		
Скорость вращения вала двигателя $n, \text{об/мин}$		
Момент на валу двигателя, $M, \text{Нм}$ .		
Мощность, вырабатываемая ДС, $P, \text{Вт}$		
Количество энергии, вырабатываемой ДС в течение 1 часа, $\text{Вт}\cdot\text{ч}$		

#### 4. Содержание отчета

- наименование и цель работы;
- расчет мощности и количества энергии, вырабатываемой двигателем Стирлинга;
- таблица результатов;
- выводы.

### Лабораторная работа 4

## АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ

**1. Цель работы:** Изучить схемы автономного электроснабжения объекта с использованием солнечных батарей.

## 2. Описание лабораторной установки

Общий вид стенда представлен на рис.4.1. Характеристики элементов системы представлены в табл.4.1.



Рис. 4.1 Общий вид лабораторного стенда

Таблица 4.1

Характеристика основного оборудования системы солнечного электроснабжения

№	Наименование	Модель/Тип	Кол-во, шт	Краткие параметры
1	Аккумулятор	Аккумулятор DJW 12-7	1	Герметичная необслуживаемая свинцовая батарея. Емкость: 7Ач Напряжение: 12В Габариты: 100*151*65мм Вес: 2,54 кг
2	Солнечный модуль	ФЭ модуль MCB 25(12)	1	Кремниевый монокристаллический модуль под стеклом в алюминиевой рамке. На обратной стороне находится клеммная коробка. Размеры: 410x553x28 мм Вес: 3 кг



3	Контроллер заряда	Контроллер заряда Steca PR 1515	1	Серия контроллеров Steca PR выпускается с 2004 года как пятое поколение контроллеров заряда для солнечных батарей (СБ). Контроллер рассчитан для работы в системах средней мощности при максимальном токе СБ 10 А. Вес: 350 г. Размеры: 187*96*44 мм
4	Инвертор	MobilEn SP-150	1	Диапазон входного напряжения: 10-15 В (постоянный ток) Выходное напряжение (переменный ток): 230В ± 5% Выходной сигнал: модифицированный синус Частота выходного сигнала: 50Гц Номинальная выходная мощность: 150Вт Пиковая выходная мощность: 450Вт Размеры, мм (длина*ширина*высота): 120*73*73 Вес, кг: 0,56
5	Компактная люминесцентная лампа	EP-DFL-9 Вт 12В E27	1	Номинальное напряжение: 12 В постоянного тока Номинальная мощность: 9 Вт Световой поток: 250 лм Цветовая температура: 6400 К Цоколь: E27 Размер: Срок службы: 6000 часов. Все лампы серии EP-DFL имеют задержку включения. Задержка защищает трубки лампы и продляет срок ее службы.

**Аккумулятор** – накопитель выработанной электроэнергии, позволяющий функционировать устройствам – потребителям даже при нулевом уровне облучения солнечной батареи. Стоит отметить, что для гарантированного бесперебойного электроснабжения желательным является введение в систему альтернативного источника электропитания (например, стандартного дизельного генератора).

**Контроллер зарядки – разрядки** – устройство предохранения батареи аккумулятора от чрезмерной разрядки и разрядки. В первом случае устройство отключает нагрузку в случае снижения напряжения батареи аккумулятора ниже напряжения отключения. Во втором – ограничивает зарядный ток при достижении напряжения завершения зарядки.

Средства контроля заряда и разряда аккумуляторов должна содержать в себе любая автономная система электроснабжения, содержащая в своем составе аккумуляторные батареи. Особенно это относится к системам со свинцово-

кислотными аккумуляторами. Дело в том, что эти аккумуляторы боятся как глубокого разряда, так и перезаряда. В случае перезаряда, резко сокращается срок службы аккумуляторной батареи или даже она может выйти из строя. Если же аккумулятор заряжен, но через него продолжает протекать зарядный ток, то это может привести в закипанию электролита и бурному газовыделению (в случае с заливными батареями), или к вспучиванию и даже взрыву герметичных аккумуляторных батарей.

Щелочные батареи хотя и не боятся глубокого разряда, но также не терпят перезаряда.

Поэтому в систему автономного электроснабжения вводятся устройства, которые отключают нагрузку от аккумуляторных батарей если они недопустимо разряжены, а также отключают источник энергии (фотоэлектрическую батарею, ветротурбину и т.п.) если аккумуляторы заряжены.

Контроллеры заряда могут быть встроены в инверторы или блоки бесперебойного питания. В ББП обычно встраиваются и зарядные устройства.

Напряжения отключения нагрузки для свинцово-кислотных батарей обычно лежат в пределах от 10,5 до 11,5 В. Для 12 В аккумуляторных батарей при более чем 10-часовом разряде это означает использование от 100% до 20% номинальной емкости. При более быстрых разрядах количество отбираемой емкости уменьшается.

**Инвертор** – устройство-преобразователь постоянного электрического тока в ток переменный. В том случае, если солнечная батарея устанавливается только для подачи электричества только на устройства-потребители постоянного тока (радиоаппаратура, освещение), инвертор может быть выведен из солнечной системы электроснабжения.

### **3. Порядок выполнения работы**

1. Изучить схему и последовательность соединения элементов системы солнечного электроснабжения на стенде.
2. Изучить и записать характеристики элементов схемы.
3. Проверить работу солнечного модуля при электроснабжении нагрузки постоянного и переменного тока.
4. Рассчитать и выбрать основные элементы схемы электроснабжения для следующих потребителей:
  - компактные люминесцентные лампы мощностью 12 Вт каждая – 4 шт.
  - вентилятор мощностью 50 Вт;
  - телевизор, мощностью 70 Вт.

Для расчета солнечных систем электроснабжения нужно определить требуемую мощность и количество фотоэлементов солнечной батареи, емкость аккумуляторных батарей и мощности контролера зарядки-разрядки и инвертора

## Методика выбора основных элементов системы электроснабжения

1. Определяется суммарная мощность потребителей ( $P_{\text{сум.}}$ ).

$$P_{\text{сум.}} = P_1 + P_2 + \dots P_n, \text{ Вт} \quad (4.1)$$

где,  $P_1, P_2, P_n$  – паспортная мощность каждого из числа «n» устройств-потребителей;

2. Определяется мощность инвертора ( $P_{\text{инв.}}$ ) из условия:

$$P_{\text{инв.}} \geq 1,25 \cdot P_{\text{сум.}} \text{ Вт} \quad (4.2)$$

3. Вычисляется необходимое значение зарядной емкости аккумуляторных батарей

$$\Phi_{\text{АБ}} = P_{\text{сум.}} / U_{\text{АБ.}} \cdot h_{\text{АБ.}} (\text{А}), \quad (4.3)$$

где  $U_{\text{АБ.}}$  – напряжение аккумуляторных батарей, В;  $h_{\text{АБ.}}$  – глубина разряда аккумуляторной батареи, %;

Рекомендуемое значение глубины разряда 20% (не более 30%). Это значит, что возможно использование 20% от значения номинальной емкости АБ. Обычно используется коэффициент 0,2 (или 0,3). Ни при каких обстоятельствах разряд батареи не должен превышать 80%!

Контроллеры заряда могут быть встроены в инверторы или блоки бесперебойного питания

### 4. Содержание отчета

- наименование и цель работы;
- характеристика элементов схемы (табл.4.1).
- расчет и выбор элементов схемы электроснабжения;
- выводы.

## Лабораторная работа №5

### ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ СТРАГИВАНИЯ ВЕТРОКОЛЕСА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

1. **Цель работы:** Определить скорость вращения ветроколеса при нарастании и спаде скорости ветра, определить точку страгивания ветроколеса.

## 2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка «Ветроэнергетическая система» представляет собой два блока – ветродвигатель и блок управления и контроля (рис.5.1).



Рис.5.1. Общий вид стенда «Ветроэнергетическая система» с блоком управления и контроля

Ветроустановка предназначена для создания воздушного потока и его передачи к синхронному ветрогенератору посредством вентилятора. В качестве приводного механизма, вращающего лопасти вентилятора, используется 3-х фазный асинхронный двигатель типа АИР56В4. Для преобразования энергии ветра в электрическую энергию используется электрогенератор типа FL86BLS с возбуждением от постоянных магнитов.

Блок управления и контроля (рис.5.2.) предназначен для регулирования скорости воздушного потока, индикации скорости вращения синхронного ветрогенератора, индикации напряжения на выходе трехфазного выпрямителя, подключенного к генератору, тока генератора, напряжения на аккумуляторе, тока заряда аккумулятора и тока нагрузки. Для накопления энергии, вырабатываемой ВЭУ в часы минимальной нагрузки, служит аккумуляторная батарея (АКБ).

Блок управления и контроля содержит устройство защиты аккумуляторной батареи от полного разряда. При падении напряжения питания ниже 12% от номинального, АКБ отключается от нагрузки и вновь подключается при

достижении на ней номинального напряжения. В качестве нагрузки используется активное сопротивление с минимальным значением  $R_H=12 \text{ Ом}$ .

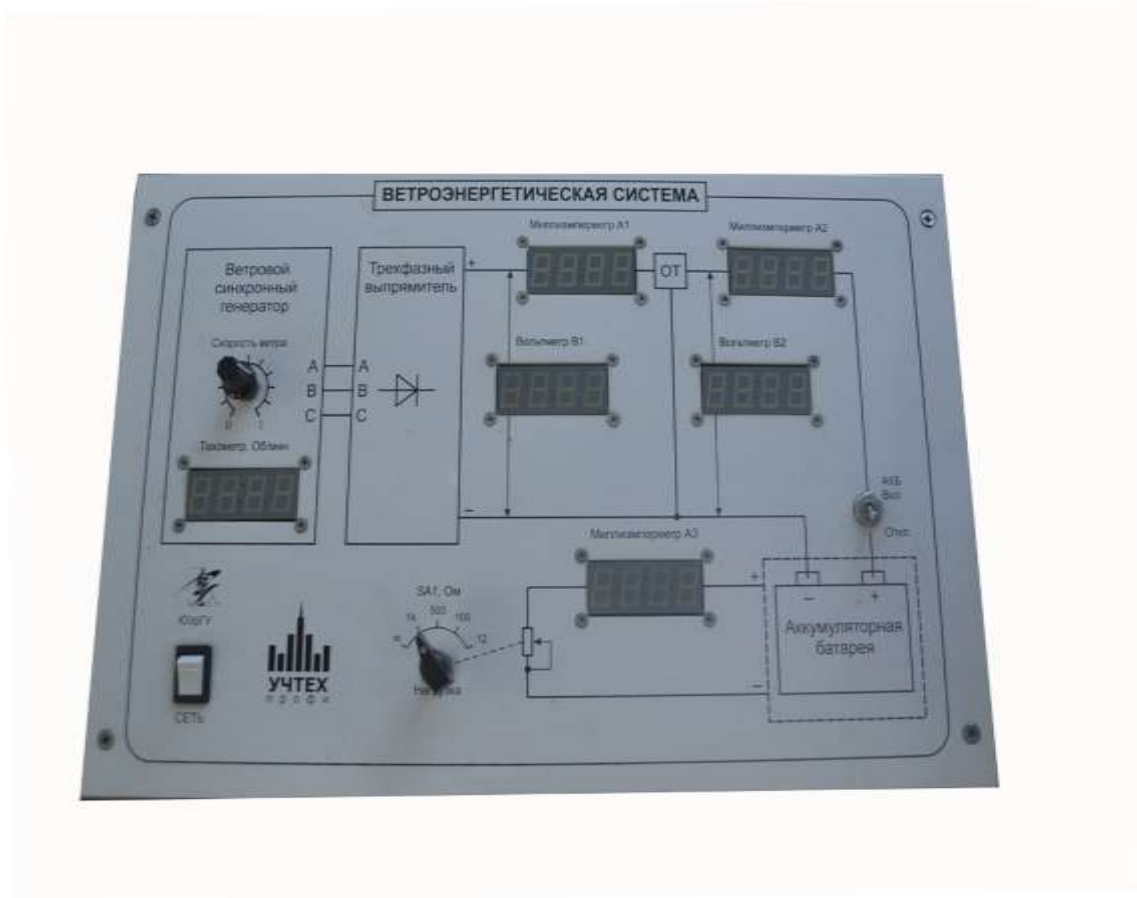


Рис. 5.2. Панель блока управления

### 3. Порядок выполнения работы

1. Перевести переключатель «Сеть» на лицевой панели блока управления и контроля в положение «отключено» (O).

2. Потенциометр «Скорость ветра» вывести в крайнее положение (0) против часовой стрелки.

3. Перевести тумблер АКБ в положение «Откл».

4. Переключатель «Нагрузка» перевести в положение «∞»

5. Подать напряжение на установку. Для этого переключатель, расположенный на задней панели блока управления и контроля, перевести в верхнее положение. При этом должны включиться все цифровые измерительные приборы на лицевой панели.

6. Меняя дискретно потенциометром «Скорость ветра» скорость вращения нагнетающего вентилятора от 0 до 1 с шагом 0,1 наблюдать за изменением скорости вращения ветроколеса. Значения скорости на ветрогенераторе записывать при ее установившемся значении. Данные измерений занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1.

Зависимость скорости вращения ветрогенератора  
от нарастающей скорости ветра

Скорость ветра $V$ , о.е.	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Скорость ветрогенератора $n$ , об/мин											

7. Меняя потенциометром «Скорость ветра» скорость вращения нагнетающего вентилятора от 1 до 0 с шагом 0,1 наблюдать за изменением скорости вращения ветрогенератора. Между каждым изменением скорости ветра дождаться установившейся скорости вращения ветрогенератора. Полученные экспериментальные данные записать в табл.5.2.

Таблица 5.2.

Зависимость скорости вращения ветрогенератора  
от спадающей скорости ветра

Скорость ветра $V$ , о.е.	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Скорость ветрогенератора $n$ , об/мин											

8. Построить зависимости  $n_{\text{ген}}=f(V)$  при нарастающей и спадающей скоростях ветра.

9. По зависимости  $n_{\text{ген}}=f(V)$  при нарастающей скорости ветра определить точку страгивания ветрогенератора.

10. Сделать выводы по работе

#### 4. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Необходимые схемы и формулы
3. Таблицы с опытными данными
4. Зависимость  $n_{\text{ген}}=f(V)$
5. Выводы по работе.

## Лабораторная работа №6

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ХОЛОСТОМ ХОДУ И ПОД НАГРУЗКОЙ

**1. Цель работы:** Определить характеристики ветроэнергетической установки в режиме холостого хода и под нагрузкой.

#### 2. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на том же лабораторном оборудовании «Ветроэнергетическая система», что и предыдущая работа №5 (рис.5.1).

#### 3. Порядок выполнения работы

1. Перевести переключатель «Сеть» на лицевой панели блока управления и контроля в нижнее положение.

2. Потенциометр «Скорость ветра» вывести в крайнее положение (0) против часовой стрелки.

3. Перевести тумблер АКБ в положение «Откл».

4. Переключатель «Нагрузка» перевести в положение «0»

5. Подать напряжение на установку. Для этого переключатель, расположенный на задней панели блока управления и контроля, перевести в верхнее положение. При этом должны включиться все цифровые измерительные приборы на лицевой панели.

6. Плавно изменяя скорость вращения нагнетающего вентилятора с помощью потенциометра «Скорость ветра», записать изменения величины напряжения на выходе ветрогенератора, которое подается на вход выпрямителя (вольтметра В1), Данные по измерению скорости от  $V_{min}$  до  $V_{max}$  занести в табл.6.1.

Таблица 6.1

Зависимость напряжения, вырабатываемого синхронным генератором от скорости ветра

n, об/мин	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$U_{ген}$ , В											

7. Провести исследования зависимости  $U_{ген}=f(V)$  при изменении нагрузки для постоянной скорости ветра. Для этого установить значение  $V= 0,6$  с помощью потенциометра «Скорость ветра». Изменяя нагрузку от 0 до  $\infty$  записать значения тока  $I_{нагр}$  и напряжения на выходе генератора  $U_{ген}$ . Полученные данные занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Зависимость напряжения на генераторе от изменения нагрузки

R, Ом	12	100	500	1000	$\infty$
$I_{\text{нагр.}}$ , mA					
$U_{\text{ген.}}$ , В					

7. Построить зависимости  $U_{\text{ген}}=f(R)$  и  $U_{\text{ген}}=f(I_{\text{нагр.}})$ . Оформить отчет по выполненной работе.

#### 4. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Необходимые схемы и формулы
3. Таблицы с опытными данными
4. Зависимость  $U_{\text{ген}}=f(V)$ , выводы по работе.

### Лабораторная работа №7

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

**1. Цель работы:** Исследовать процесс нагрева теплоносителя в плоском солнечном коллекторе термосифонного типа и время достижения максимальной температуры нагрева.

#### 2. Описание лабораторной установки

Общий вид лабораторного стенда показан на рис.7.1.

#### 3. Порядок выполнения работы

1. Определить угол наклона термосифонного СК к горизонту.
2. Заполнить трубопроводы и бак-аккумулятор термосифонной системы водой с помощью насоса.
3. Установить излучатель с видимым спектром излучения на угол, перпендикулярный воспринимающей поверхности СК.
4. Установить с помощью регулятора максимальную мощность излучателя  $P=1000$  Вт.
5. Записать значение освещенности  $E$  на поверхности коллектора.
6. Через каждые 60 секунд записывать значения температуры воды в бачке  $t_{\text{б}}$  и температуру на выходе коллектора  $t_{\text{вых}}$  из коллектора в таблицу 7.1.
7. Измерения проводить до тех пор, пока температура на выходе СК не установится равной  $65^{\circ}\text{C}$ .
8. Выключить лампу, закрепить ее в исходное положение



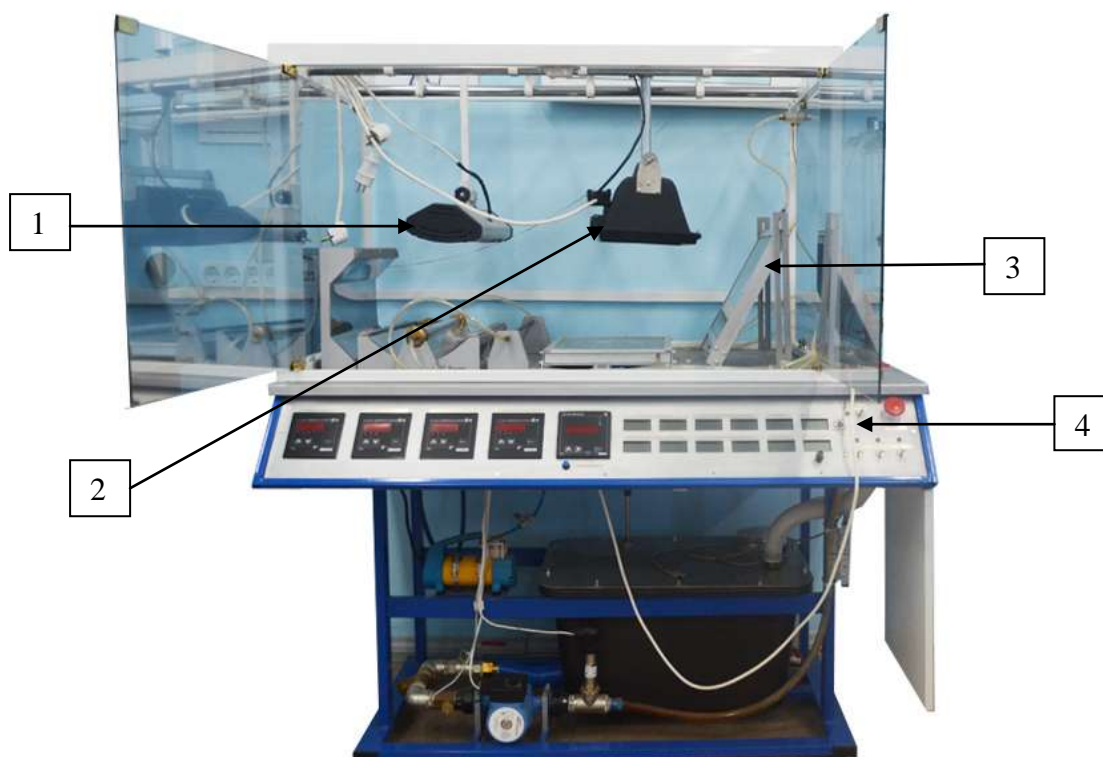


Рис.7.1. Общий вид стенда: 1- излучатель инфракрасного спектра излучения; 2 – излучатель видимого спектра излучения; 3- плоский солнечный коллектор термосифонного типа; 4 – панель управления

1. Слить воду из бака-аккумулятора и трубопроводов
2. Построить зависимости температуры в баке-аккумуляторе и температуры на выходе СК от времени:  $t_{\delta} = f(T)$ ,  $t_{\text{вых}} = f(T)$ .
3. Сделать выводы. Оформить отчет

Таблица 7.1.

Изменение температуры в баке-аккумуляторе и на выходе из солнечного коллектора от времени нагрева

Время нагрева, T, с.		60	120	180	...	$T_{\text{макс}}$
Температура воды в баке-аккумуляторе $t_{\delta}$ , $^{\circ}\text{C}$						
Температура воды на выходе СК $t_{\text{вых}}$ , $^{\circ}\text{C}$						
Давление в трубопроводе, p, Па						

Продолжение табл.7.1	
Постоянные значения	
Угол наклона СК, $\beta$ , град	
Освещенность E, лк	
Интенсивность излучения I, Вт/м <sup>2</sup>	
Мощность излучателя P, Вт	

#### 4. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица измерений.
3. Зависимости  $t_6 = f(T)$ ,  $t_{\text{вых}} = f(T)$ .
4. Выводы по работе

### Лабораторная работа №8

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

**1. Цель работы:** Изучить циклы работы и определить энергетическую эффективность теплового насоса.

#### 2. Описание лабораторной установки

Агрегат теплового насоса показан на рис.8.1. Он представляет собой замкнутую герметичную систему, состоящую из мотор – компрессора 1, двух теплообменников 8, фильтра-осушителя 6, смотрового стекла 5, манометров 3, вентилей 7, трубопроводов 4, а также включает в себя пусковую и защитную автоматическую аппаратуру 2. Мотор – компрессор хладоновый, предназначен для осуществления термодинамического цикла с целью передачи тепла на более высокий температурный уровень.

Теплообменники гладкотрубные с конвективным теплообменом помещены в емкости с водой. Стенд может работать в диапазоне измеряемых температур  $-55 \dots +125$  °С.

Схема парокомпрессионного теплового насоса показана на рис. 8.3. В насосе используется теплота испарения и конденсации хладагента R134a.

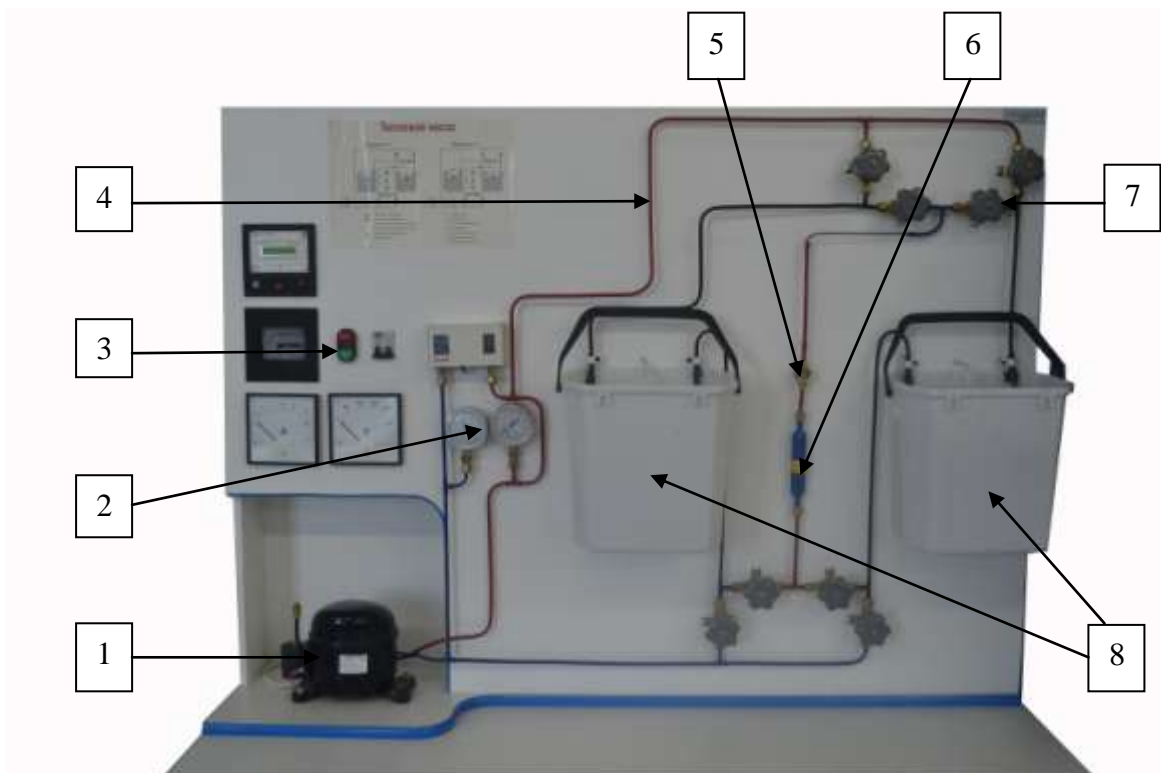


Рисунок 8.1 - Общий вид стенда «Тепловой насос»: 1-мотор-компрессор; 2- манометры; 3 - пульт управления и защиты; 4- трубопроводы; 5 – смотровое стекло; 6- фильтр-осушитель; 7 –вентили; 8 – теплообменники.



Рис.8.2 – Блок управления и защиты стенда

При более высоком давлении температура конденсации (кипения) повышается, и хладагент конденсируется при более высокой температуре, чем испаряется. Поэтому тепловой насос позволяет передать теплоту от холодного теплоносителя к горячему.

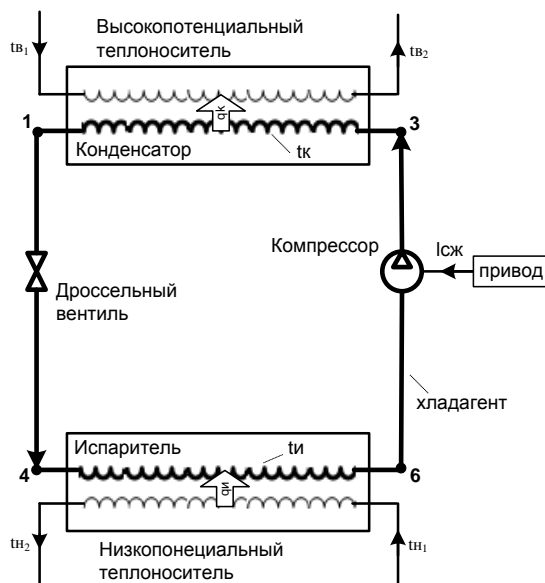


Рис. 8.3 - Схема парокомпрессионного теплового насоса

В работе используются два варианта включения направления движения хладагента, задаваемого вентилями (рис.8.4)

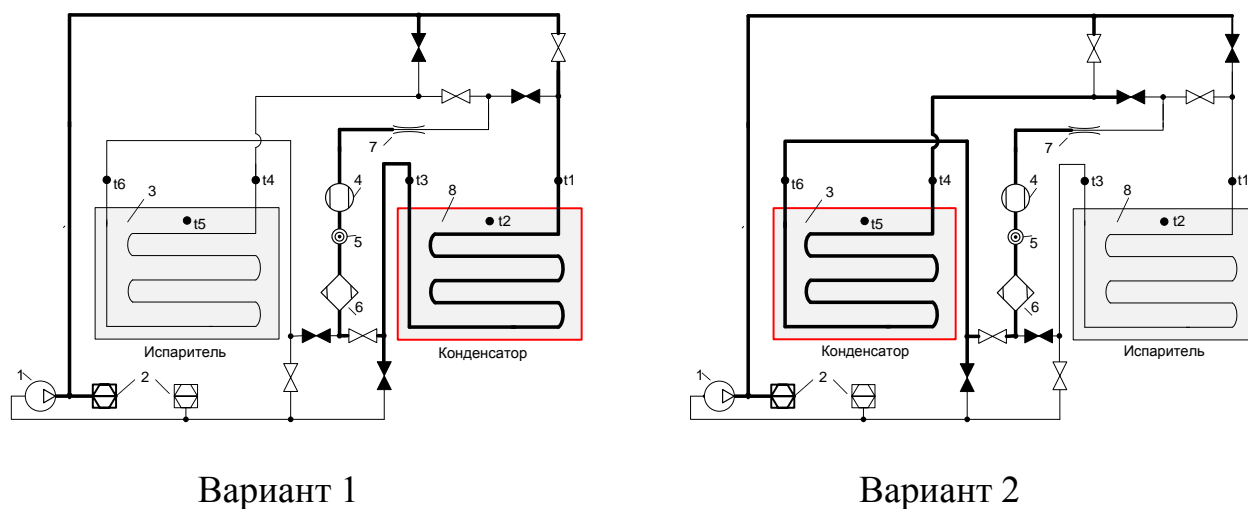


Рис. 8.4 - Гидропневматическая схема стенда «Тепловой насос»

В зависимости от направления движения хладагента, задаваемого вентилями 7, один из теплообменников может быть либо конденсатором, либо испарителем. Фильтр – осушитель 6 осуществляет очистку хладагента от механических примесей и влаги, а смотровые стекла позволяют визуально

контролировать агрегатное состояние фреона и наличие или отсутствие в нем влаги.

Манометры 3 высокого и низкого давления позволяют измерять давление в двух точках гидропневматической системы стенда.

Все электрические приборы и детали холодильного агрегата закреплены на лицевой стороне стойки, либо внутри нее. Электродвигатель компрессора однофазный двухполюсный асинхронный. Управление пусковой обмоткой осуществляет пусковое реле, соединенное в один блок с защитным реле и установленное на кожухе компрессора.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Включить стенд в сеть, поднять до щелчка вверх рычажок автомата защитного отключения 13.

2. Открыть вентили в соответствии с первым вариантом движения хладагента по схеме рис.8.3.

3. С помощью кнопки «ПУСК» запустить компрессор.

4. Нажать выключатель измерителя температуры. Через 2...3с самотестирования на крайнем левом знакоместе индикатора появляется цифра «1» (номер канала, подключенного к индикации), а в правой части индикатора – значение измеряемой величины.

5. Записать значения температур  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$  низкопотенциального и высокопотенциального теплоносителя на входе и выходе в тепловой насос. Измерения проводить в течение 60 минут с интервалом в 5 минут.

6. Данные измерений занести в таблицу 8.1.

7. Не меняя воду в сосудах, закрыть вентили варианта 1, отключить стенд.

8. Построить зависимость  $t^\circ = f(T)$ , оформить отчет по выполненной работе.

Таблица 8.1

Зависимость  $t^\circ = f(T)$ , вариант 1.

Время, мин.	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	$t_5, ^\circ\text{C}$	$t_6, ^\circ\text{C}$
0						
5	-					
10	-					
15	-					
...	-					
60	-					

### 4. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Схема исследования теплового насоса 1
3. Таблица с опытными данными
4. Зависимость  $t^\circ = f(T)$ , выводы по работе.

## Лабораторная работа №9

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОТУРБИН МАЛОЙ ГЭС

**1. Цель работы:** Исследовать различные типы гидротурбин, получить основные гидравлические и электрические характеристики данных турбин.

#### 2. Описание лабораторной установки

Изучение конструкций и принципа работы гидротурбин малой ГЭС (радиально-осевой 3, осевой 5 и турбины Пелтона 6) производится на лабораторном стенде МГЭС-01 «Возобновляемые источники энергии - малая гидроэнергетика» (рис.9.1).

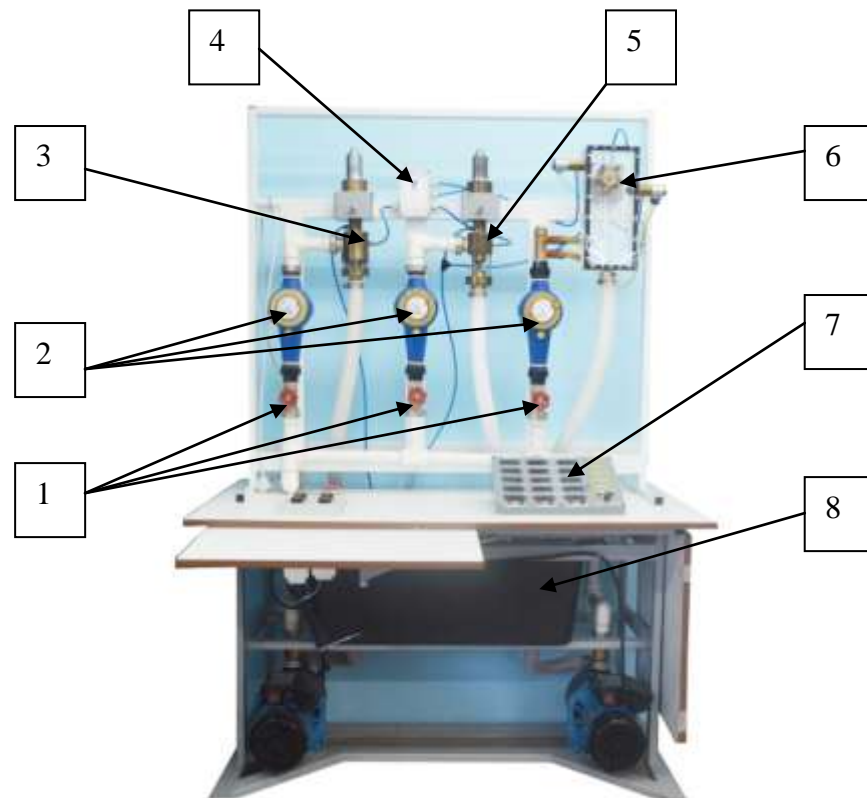


Рис.9.1.— Общий вид стенда: 1- задвижки для регулирования потока жидкости, поступающей в турбины; 2 – счетчики воды; 3- радиально-осевая турбина с генератором; 4 – блок датчиков давления; 5 – осевая турбина с генератором; 6 – турбина Пелтона с генератором; 7- панель управления; 8 – бак для рабочей жидкости

Стенд позволяет задавать и измерять расход и давление жидкости поступающей в турбины, измерять обороты системы турбина - генератор, напряжение на выходе генератора, ток через генератор.

Расход жидкости измеряется с помощью счетчика воды с цифровым выходом, давление - с помощью датчиков давления.

Нагрузка на генератор может задаваться с дискретным шагом, путем последовательного или параллельного соединения нагрузочных сопротивлений, либо регулироваться плавно, путем ограничения тока, протекающего через генератор. Электрическая схема установки показана на рис.9.2.

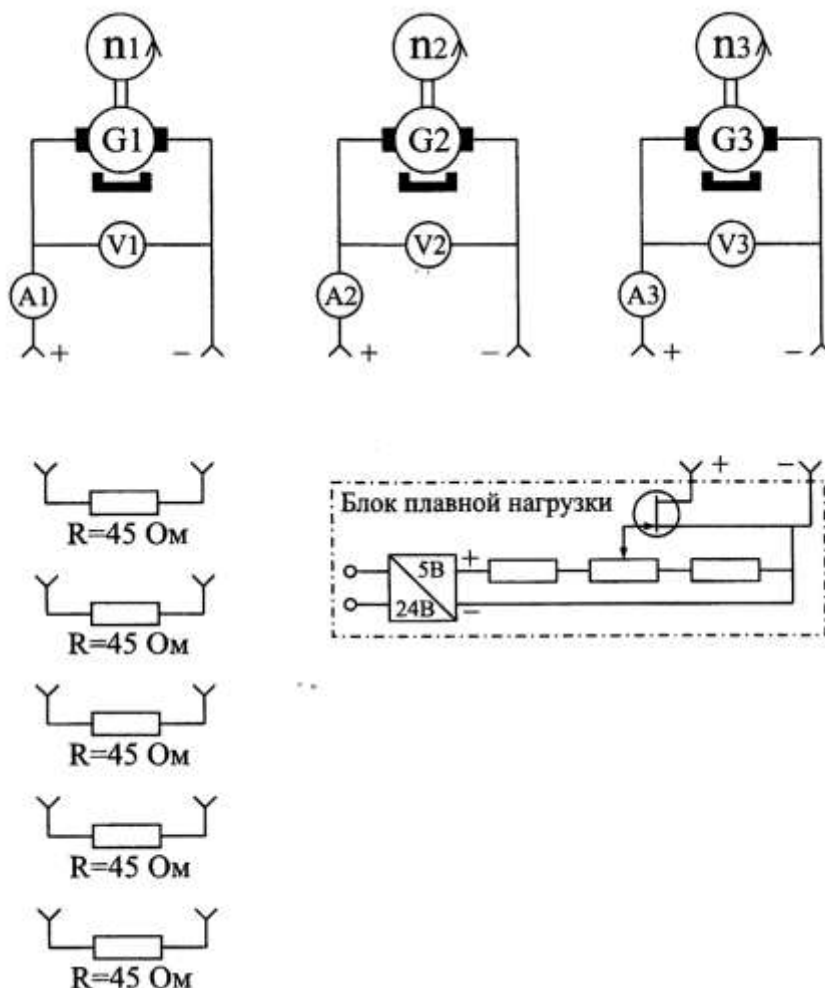


Рис. 9.2 Схема электрическая

В качестве генераторов в стенде используются машины постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов.

Управление стендом производится с помощью панели управления (рис.9.3), измерения – по приборам измерительной панели.

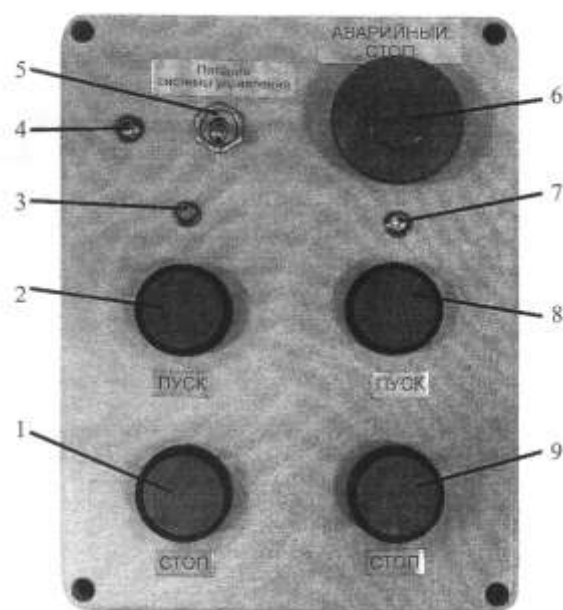


Рис.9.2 – Панель управления: 1– кнопка отключения первого насоса; 2– кнопка включения первого насоса; 3 – светодиодный индикатор работы первого насоса; 4– светодиодный индикатор включения питания системы управления; 5– тумблер «Питание системы управления»; 6 –кнопка аварийного отключения; 7 – светодиодный индикатор работы второго насоса; 8 – кнопка включения первого насоса; 9 – кнопка отключения второго насоса.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.

2. Подключить стенд к сети.

3. Подключить ПЭВМ (ноутбук) в сеть электропитания, включить и дождаться загрузки операционной системы.

4. Подключить ПЭВМ к плате АЦП, для чего необходимо соединить имеющимся в комплекте шнуром разъем на плате АЦП (выведен с тыльной верхней стороны измерительной коробки) с одним из портов USB на ПЭВМ.

5. Запустить на ПЭВМ программу, предназначенную для работы со стендом.

6. Включить тумблер 5 «Питание системы управления»; при этом должен загореться светодиодный индикатор 4, и питание подается на все датчики, преобразователи и систему управления насосами.

7. Полностью открываем задвижку радиально-осевой турбины (остальные турбины должны быть закрыты).

8. Включить кнопку 2 «ПУСК» включения первого насоса и кнопку «ПУСК» 8 второго насоса. При этом загорятся светодиодные индикаторы 3 и 7.

9. Медленно закрывая вентиль, уменьшая расход турбины, запустив при этом сбор данных на соответствующем программном обеспечении.



10. Снять зависимости расхода  $Q$  от напора  $H$ , обороты  $n$  от расхода  $Q$ . Данные занести в таблицу 9.1.

11. Установить максимальный расход (вентиль исследуемой турбины полностью открыт).

12. Подключить генератор к плавной нагрузке, установив минимальное значение (ручка потенциометра плавной нагрузки в крайнем левом положении).

13. Включить оба насоса. Плавно повышать нагрузку, поворачивая ручку вправо. После максимального значения (крайнее правое положение) подключать последовательно дискретную нагрузку.

14. Снять зависимости КПД от тока, напряжение от тока и заполнить таблицу 9.2.

15. Построить зависимости  $U_r=f(I_r)$ ,  $КПД=f(I_r)$ . В целях экономии времени, в ПО предусмотрен параллельный сбор данных по всем характеристикам. Для получения нужных зависимостей достаточно изменить наименование осей абсцисс и ординат. Заполнить таблицу 1. Построить графики зависимости  $H=f(Q)$ ,  $n=f(Q)$ .

Таблица 9.1

Гидротехнические характеристики

Q, л/с									
H, м									
n, об/с									

Таблица 9.2

Электрические характеристики

$U_r$ , В									
$I_r$ , А									
КПД, %									

#### 4. Содержание отчета

- наименование и цель работы;
- схема лабораторного стенда;
- таблицы результатов;
- графики зависимостей  $Q=f(H)$ ,  $n=f(Q)$ ,  $U_r=f(I_r)$ ,  $КПД=f(I_r)$ ;
- выводы.