

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

## **СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО НАГРЕВА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Методические указания  
к лабораторным работам

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2013

УДК 620.9(07)  
К434

*Одобрено  
учебно-методической комиссией  
энергетического факультета*

**К434 Системы солнечного нагрева в энергетике:** методические указания к лабораторным работам. / сост.: И.М.Кирпичникова, Е.В.Соломин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 24 с.

Методические указания предназначены для магистров направления 140400 – «Электроэнергетика и электротехника» для подготовки, выполнения и оформления отчетов по лабораторным работам по дисциплине «Системы солнечного нагрева в энергетике».

Методические указания состоят из общих указаний по выполнению лабораторных работ, описания лабораторного стенда, целей и порядка проведения исследований, необходимых для расчета формул, схем и таблиц, требований к содержанию отчета по лабораторной работе.

УДК 620.9 (07)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	4
<b>Лабораторная работа №1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИК УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА «СОЛНЕЧНЫЙ НАГРЕВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ».....</b>	<b>5</b>
<b>Лабораторная работа №2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАРИРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....</b>	<b>11</b>
<b>Лабораторная работа №3. ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ.....</b>	<b>12</b>
<b>Лабораторная работа №4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОТ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ.....</b>	<b>14</b>
<b>Лабораторная работа №5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДЕ СК ОТ УГЛА НАКЛОНА ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ.....</b>	<b>16</b>
<b>Лабораторная работа №6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КПД СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОТ РАСХОДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.....</b>	<b>17</b>
<b>Лабораторная работа №7. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБЧАТЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛОСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ.....</b>	<b>19</b>
<b>Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА С ПАРАБОЛИЧЕСКИМИ ОТРАЖАТЕЛЯМИ.....</b>	<b>20</b>
<b>Лабораторная работа №9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА С ПЛОСКИМИ ОТРАЖАТЕЛЯМИ.....</b>	<b>21</b>
<b>Лабораторная работа №10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КПД СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОТ УРОВНЯ ВАКУУМИРОВАНИЯ.....</b>	<b>23</b>

## УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Перед началом работы необходимо осуществить заправку комплекса рабочей жидкостью. Заправлять комплекс необходимо через заливную горловину. Количество заливаемой жидкости 28...30 л. Уровень жидкости отслеживать визуально, уровень жидкости в баке должен быть примерно на 100 мм ниже крышки бака.

2. В качестве рабочей жидкости используется вода. Так как водопроводная вода через несколько дней после заправки комплекса из-за «цветения» становится непригодной для дальнейшего использования, рекомендуется использовать какие-либо антикоррозионные присадки.

3. После подключения комплекса к сети электропитания необходимо включить автоматический выключатель.

4. Перед включением насоса убедиться, в том, что открыт шаровой кран. Эксплуатация стенда при закрытом кране запрещена.

5. Для обработки и сохранения результатов измерений в графическом и текстовом виде используется ноутбук 13 с программным обеспечением совместимым с операционной системой Windows 7. При использовании в исследованиях ноутбука необходимо изучить инструкцию по работе с программой ВИЭ-СК-11-7ЛР-01.00.000.00

Отчеты выполняются по каждой лабораторной работе отдельно с помощью компьютерного набора текста и графиков, выполненных в программе Excel с соблюдением стандартов.

Отчет должен включать в себя:

- название лабораторной работы и её цель;
- используемое оборудование;
- ход выполнения лабораторной работы;
- необходимые графики и зависимости, включая зависимости, полученные при использовании компьютерной программы на ноутбуке.
- обобщающий вывод по всей лабораторной работе - краткое заключение о результатах работы, согласующееся с её целью.

## Лабораторная работа №1

### ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИК УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА «СОЛНЕЧНЫЙ НАГРЕВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

Цель работы: Изучить устройство стенда для выполнения лабораторных работ, особенности проведения экспериментов и технику безопасности при выполнении лабораторных работ.

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с назначением и устройством лабораторного комплекса.
2. Изучить характеристику плоских солнечных панелей, трубчатого коллектора и вакуумного трубчатого коллектора.
3. Изучить приборную панель комплекса
4. Изучить меры безопасности при выполнении лабораторных работ и эксплуатации комплекса.
5. Оформить отчет

#### **1. Назначение комплекса**

Учебно-исследовательский комплекс «Солнечный нагрев в электроэнергетике» предназначен для проведения лабораторных работ по изучению способов преобразования теплового солнечного излучения в теплоту нагреваемой жидкости, определения КПД преобразователей различного вида в зависимости от вида расположения солнечных коллекторов.

#### **2. Устройство комплекса**

Комплекс «Солнечный нагрев в электроэнергетике» (рис.1.1, 1.2) состоит из нижней рамы 1 с установленной на ней поддоном 7, электрической панелью 6, верхней рамной конструкции 8 с защитными стеклами 9. Так же на раме 1 установлены основной бак 14 для питания насоса 2, вакуумметрический насос 5, подвижная полка 16 для установки ноутбука 13, удерживаемая поворотным кронштейном 15. На поддоне 7 закреплена клиновидная задвижка 12, регулирующая расход жидкости, поступающей в исследуемый трубопровод и мерная емкость 10 с шаровым краном 11, позволяющая измерять этот расход объемным методом.

Уровень жидкости в баке 14 определяется визуально по указателю уровня 18 при заливке воды через заливную горловину 19, температура воды определяется с помощью термосопротивления 20. Для слива воды используется сливной кран 17. Заправка верхнего бака 22 для солнечного коллектора с естественной циркуляцией осуществляется с помощью насоса 2 подающего воду из бака 14 через шаровой кран 24 и фильтр 23.

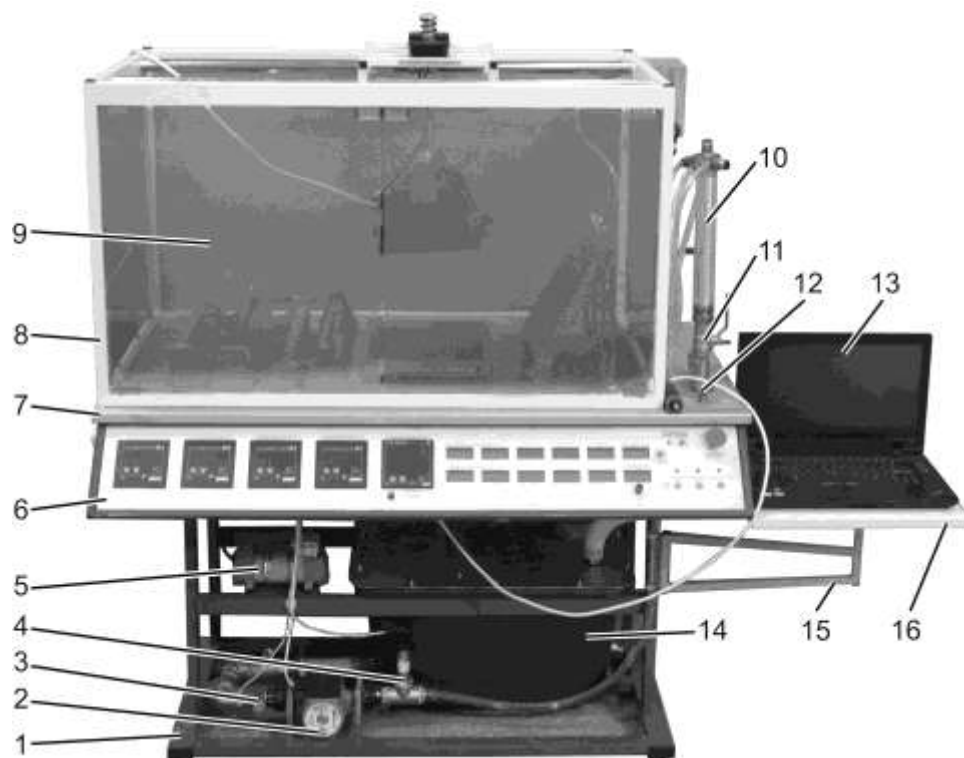


Рис. 1.1 Учебно-исследовательский комплекс «Солнечный нагрев в электроэнергетике». Вид спереди.

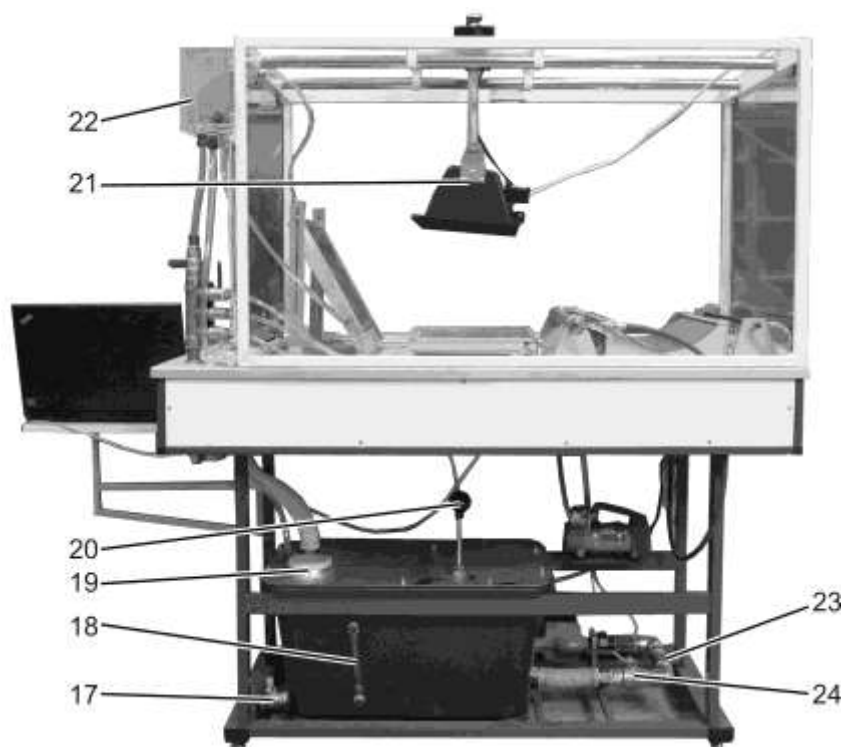


Рис.1.2. Вид комплекса сзади

Нагрев воды осуществляется двумя видами излучателей: с видимым спектром (поз. 21, рис. 1.2) и инфракрасным спектром (рис. 1.3) подключаемым к розетке электропитания 51 (рис.1.7).



Рис.1.3. Излучатель с инфракрасным спектром

***ВНИМАНИЕ! Во избежание поломки учебного стенда ЗАПРЕЩЕНО применение излучателя с инфракрасным спектром для нагрева коллекторов с естественной и принудительной циркуляцией, соответственно поз. 38 и поз.40.***

На поддоне 7 закреплены исследуемые элементы солнечных коллекторов (рис.1.4), в виде медной трубки с черным покрытием 37, медной трубки с черным покрытием в кварцевой вакуумной трубе 38, устанавливаемые либо на параболический отражатель 35, либо на плоский отражатель 36, солнечный коллектор с принудительной циркуляцией 39, солнечный коллектор с естественной циркуляцией 41 и датчик интенсивности потока излучения 40. На концах каждого исследуемого элемента установлены датчики измерения температуры, информация с которых поступает на измерительный блок 31 и ноутбук 13 через плату АЦП.

На электрической панели 6 установлены вторичные преобразователи с цифровой индикацией для датчиков давления и температуры «ОВЕН» ТРМ1 (поз.25–28, рис. 1.4) показывающие информацию с датчиков температуры поз. 20, 43 и датчиков давления поз. 3, 4, соответственно. Так же на панели 6 присутствует электронный секундомер «ОВЕН» СИ8 (поз. 30) с кнопкой сброса секундомера 29 и началом отсчета времени при нажатии и удержании кнопки 42, измерительный блок 31 с регулировкой потребляемой мощности излучателя 32 и регулировкой глубины вакуумирования 33 и блок подачи электропитания на элементы стенда 34. Питание стенда осуществляется от сети 220В 50Гц через автоматический выключатель 50 (рис.1.7).

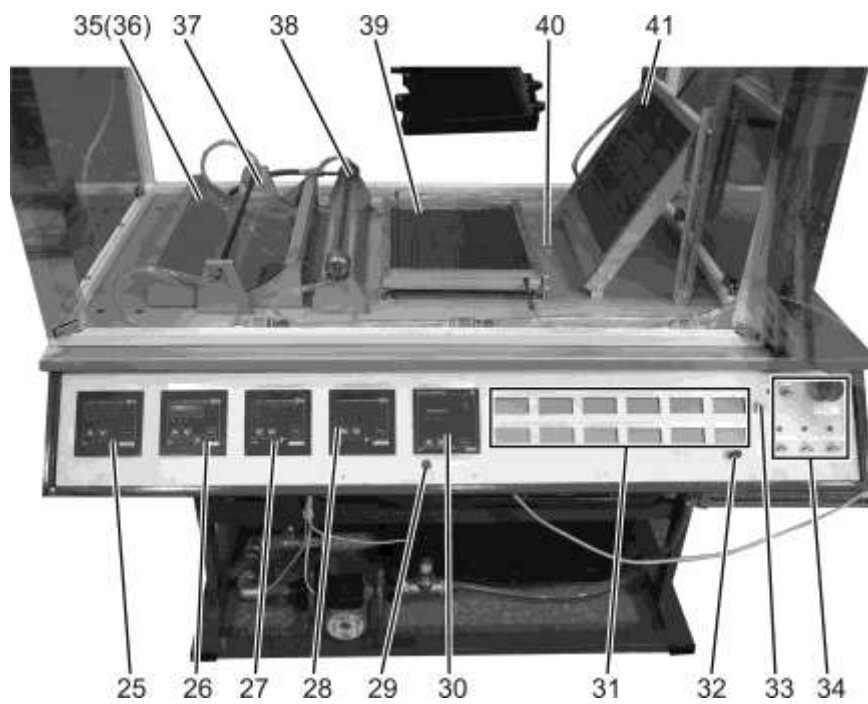


Рис.1.4. Расположение исследуемых элементов солнечных коллекторов и измерительная панель

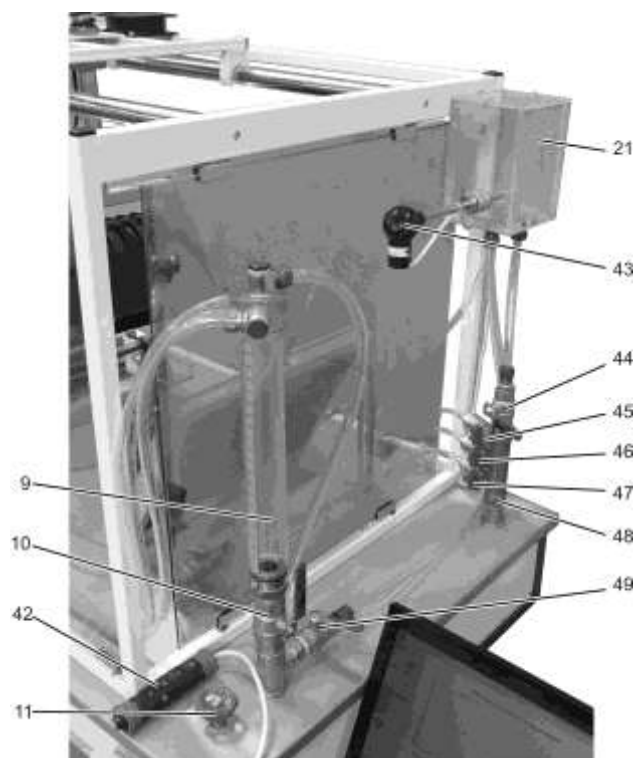


Рис.1.5. Вид комплекса справа. Раздача воды.



Подача воды в исследуемые трубопроводы осуществляется через раздаточный коллектор 48 с помощью переключения кранов поз. 44-47 (рис. 1.5). Коллектор с естественной циркуляцией снабжается жидкостью из верхнего бака 22 расположенного на правой стенке стенда. Данный бак заполняется при открытии крана 44 смонтированного на верхней части коллектора 48. Слив с бака 22 производится открытием шарового крана 49. Подключение коллектора с принудительной циркуляцией осуществляется открытием крана 45, входящего в состав коллектора 48. Подключению трубопровода в кварцевой трубе соответствует открытое состояние крана 46, входящего в состав коллектора 48. Подключению медной трубки СК соответствует открытое состояние крана 47, входящего в состав коллектора 48.

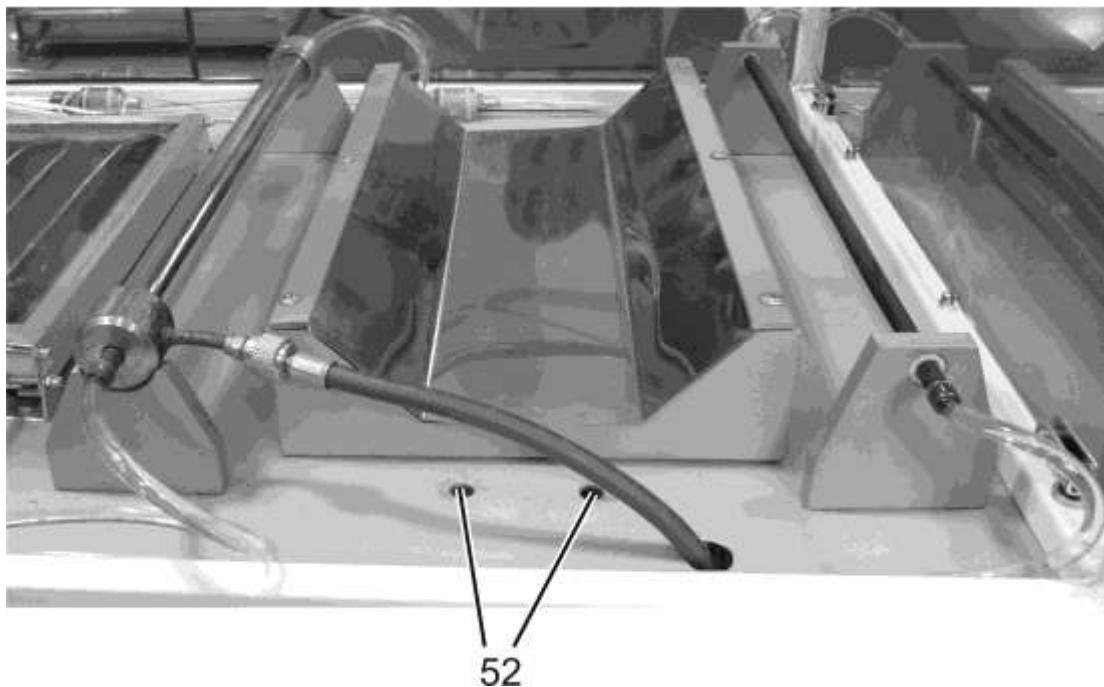


Рис. 1.6. Смена отражателей

В поддоне 7 выполнены центрирующие отверстия 52 для установки исследуемых элементов солнечного коллектора в отражатель и смены отражателей. Для перемещения элементов необходимо их приподнять, тем самым освободив центрирующие винты, установленные на опорах перемещаемых трубопроводов, и совместить эти винты с отверстиями 52. Для замены отражателя первоначально необходимо убрать с него исследуемый элемент и потом поднять его вверх, тем самым так же освободив центрирующие винты. На освободившееся место установить другой отражатель, удостовериться в совпадении отверстий и центрирующих винтов отражателя.

***ВНИМАНИЕ! Перед проведением работ связанных с заменой отражателей или перемещением трубопроводов проверить их температуру и дать им время остыть, если это необходимо.***

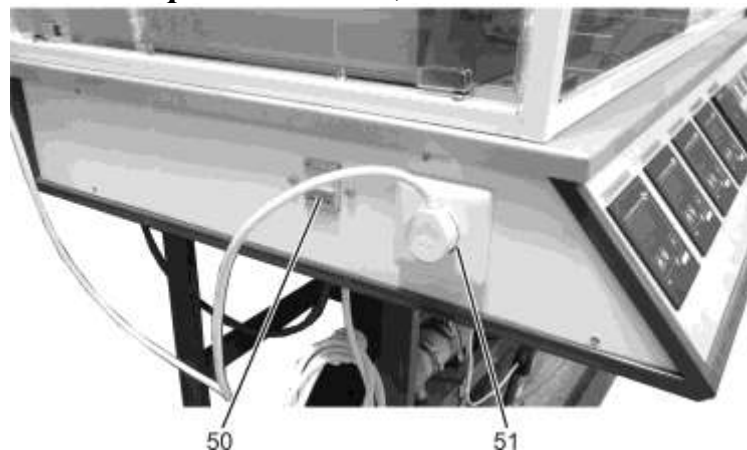


Рис. 1.7. Вид комплекса сбоку

### **3. Меры безопасности при выполнении лабораторных работ**

3.1. Эксплуатация комплексов должна производиться в соответствии с требованиями пожарной безопасности и требованиями ГОСТ 12.2.003-74 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

3.2. К обслуживанию комплексов допускается персонал после ознакомления с настоящим руководством по эксплуатации.

3.3. Запрещается производить ремонтные работы при работающем комплексе.

3.4. Запрещается перемещать комплекс при полностью или частично заполненном баке.

3.5. Во время работы и транспортировки комплекса запрещается прикладывать внешние нагрузки на трубопроводы, верхний бак, измерительные приборы и т.д. (в.т.ч. опираться на них или класть посторонние предметы).

3.6. Запрещается также сборка – разборка соединений, их подтяжка и переключение гибких трубок при работающем насосе или наличии воды в наполнительном баке и трубопроводах.

### **4. Подключение комплекса к сети и подготовка к работе**

4.1. Перед началом работы необходимо осуществить заправку комплекса рабочей жидкостью. Заправлять комплекс необходимо через заливную горловину 19. Количество заливаемой жидкости 28...30 л. Уровень жидкости отслеживать визуально, уровень жидкости в баке должен быть примерно на 100 мм ниже крышки бака.

В качестве рабочей жидкости используется вода. Так как водопроводная вода через несколько дней после заправки комплекса из-за «цветения» становится

непригодной для дальнейшего использования, рекомендуется использовать какие-либо антикоррозионные присадки.

4.2. После подключения комплекса к сети электропитания необходимо включить автоматический выключатель 50 (рис. 1.7).

4.3. Перед включением насоса 2 убедиться, в том, что открыт шаровой кран 24. Эксплуатация стенда при закрытом кране 24 запрещена.

## **5. Подключение ПК**

5.1. Для обработки и сохранения результатов измерений в графическом и текстовом виде используется ноутбук 13 с программным обеспечением совместимым с операционной системой Windows 7.

5.2. Изучить инструкцию по работе с программой ВИЭ-СК-11-7ЛР-01.00.000.00

### Содержание отчета

1. Название работы, цель, программа работы;
2. Назначение учебного комплекса;
3. Описание исследуемых элементов (медная трубка, вакуумированная трубка, плоский солнечный коллектор, отражатели) с эскизами.
4. Меры безопасности при выполнении лабораторных работ.

## **Лабораторная работа №2**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАРИРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОСВЕЩЕННОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Цель работы: Изучить соответствие интенсивности излучения от искусственных источников естественной освещенности

#### Порядок выполнения работы:

1. Установить излучатель с видимой частью спектра вертикально над датчиком интенсивности излучения.
2. Регулятор мощности должен быть выведен в крайнее левое положение (минимальное)
3. Подать питание на стенд, включить тумблер «Излучатель».
4. С помощью регулятора установить мощность излучателя 20 Вт, измерить интенсивность излучения  $I_1$ .
5. В той же точке, где находится датчик интенсивности потока излучения, с помощью люксметра измерить освещенность  $E_1$ .
6. Данные измерений занести в таблицу 2.1.

7. Аналогичные измерения провести для мощностей источника излучения до 1000 Вт с интервалом 20 Вт. Данные занести в таблицу 2.1.

8. Для источника с инфракрасным спектром излучения провести измерения аналогичные п.п.1...4.

9. Построить тарировочные зависимости  $E_1 = f(I_1)$  для видимого спектра и  $E_2 = f(I_2)$  для инфракрасного спектра излучения.

Таблица 2.1.

Построение тарировочной зависимости источников излучения

	Мощность излучения, Вт									
	20	40	...	100	...	200	...	800	...	1000
Для видимого излучения										
Интенсивность излучения, $I_1$ Вт/м <sup>2</sup>										
Освещенность $E_1$ , лк										
Для инфракрасного излучения										
Интенсивность излучения, $I_2$ Вт/м <sup>2</sup>										
Освещенность $E_2$ , лк										

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица измерений.
3. Тарировочные зависимости  $E_1 = f(I_1)$  для видимого спектра и  $E_2 = f(I_2)$  для инфракрасного спектра излучения.
4. Выводы по работе

### Лабораторная работа №3

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Цель работы: Определить время нагрева теплоносителя в термосифонном солнечном коллекторе и максимальную температуру нагрева.

#### Порядок выполнения работы

1. Определить угол наклона термосифонного СК к горизонту.

2. Заполнить трубопроводы и бак-аккумулятор термосифонной системы водой с помощью насоса.
3. Включить ноутбук. На экране меню «Исследуемый прибор» выбрать «Солнечный коллектор с естественной циркуляцией». Выставить шаг сбора данных =60 сек.
4. Установить излучатель с видимым спектром излучения на угол, перпендикулярный воспринимающей поверхности СК.
5. Установить с помощью регулятора максимальную мощность излучателя  $P=1000$  Вт.
6. Записать значение освещенности  $E$  на поверхности коллектора и соответствующую ей интенсивность излучения (по тарировочной зависимости)
7. В диалоговом окне компьютера запустить операцию «Начать измерения»
8. Через каждые 60 секунд записывать значения температуры воды в баке  $t_6$  и температуру на выходе коллектора  $t_{\text{вых}}$  из коллектора в таблицу 3.1.
9. Измерения проводить до тех пор, пока температура на выходе СК не установится равной  $65^\circ\text{C}$ .
10. С помощью кнопок «Сохранить данные» и «Сохранить график» сохранить данные проведения эксперимента.
11. В диалоговом окне компьютера запустить операцию «Завершить измерения».
12. Выключить лампу, закрепить ее в исходное положение
13. Слить воду из бака-аккумулятора и трубопроводов
14. Построить зависимости температуры в баке-аккумуляторе и температуры на выходе СК от времени:  $t_6 = f(T)$ ,  $t_{\text{вых}} = f(T)$ .
15. Сделать выводы. Оформить отчет с приложением зависимостей, полученных с использованием компьютерной программы.

Таблица 3.1.

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 $t_6$ , $^\circ\text{C}$						
Температура воды на выходе СК $t_{\text{вых}}$ , $^\circ\text{C}$						
Давление в трубопроводе, $p$ , Па						
Постоянные значения						
Угол наклона СК, $\beta$ , град						
Освещенность $E$ , лк						
Интенсивность излучения $I$ , Вт/м <sup>2</sup>						
Мощность излучателя $P$ , Вт						

### Содержание отчета

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

## **Лабораторная работа №4**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОТ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ**

Цель работы: Определить наиболее оптимальный спектр излучения для эффективной работы плоского солнечного коллектора.

#### Порядок выполнения работы

1. Установить излучатель с видимым спектром вертикально над плоским солнечным коллектором (ПСК) на минимальной высоте.
2. Включить ноутбук. На экране меню «Исследуемый прибор» выбрать «Солнечный коллектор с принудительной циркуляцией».
3. Включить насос. Открыть соответствующие краны и задвижку (полностью), добиться устойчивого расхода теплоносителя через трубку (примерно 2, 0 л/мин).
4. Установить регулятором мощность источника излучения 100 Вт.
5. Измерить интенсивность излучения с помощью датчика интенсивности потока излучения и температуру теплоносителя на входе и выходе ПСК. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.
6. Провести аналогичные измерения, увеличивая мощность излучения до 1000 Вт с интервалом в 100 Вт. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.
7. С помощью кнопок «Сохранить данные» и «Сохранить график» сохранить данные проведения эксперимента.
8. В диалоговом окне компьютера запустить операцию «Завершить измерения».
9. Вывести регулятор мощности до 0. Дождаться полного остывания ПСК.
10. Разместить над ПСК излучатель с инфракрасным спектром аналогично п.1.
11. Провести измерения параметров аналогично п.п.4-9. Результаты занести в табл.4.2.
12. С помощью кнопок «Сохранить данные» и «Сохранить график» сохранить данные проведения эксперимента.
13. В диалоговом окне компьютера запустить операцию «Завершить измерения».

14. Выключить лампу, отключить питание стенда слить воду из коллектора и трубопроводов

15. Построить зависимости температуры теплоносителя на входе  $t_{вх}$  и выходе  $t_{вых}$  солнечного коллектора от освещенности  $E_1$  при видимом спектре и от  $E_2$  при инфракрасном спектре излучения.

16. Пользуясь тарировочной зависимостью  $E_1 = f(I_1)$  (по данным л.р. № 2.) записать освещенность для каждого значения мощности источника.

17. Построить зависимости переданной тепловой мощности от освещенности при разных источниках излучения  $P_1 = f(I_1)$  и  $P_2 = f(I_2)$

18. Сравнить полученные зависимости. Сделать вывод.

Таблица 4.1.

Зависимость температуры теплоносителя от интенсивности видимого излучения

	Мощность излучения, Вт									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Интенсивность излучения, $I_1$ Вт/м <sup>2</sup>										
Освещенность $E_1$ , лк										
Температура на входе теплоносителя, $t_{вх}$ , °С										
Температура на выходе теплоносителя, $t_{вых}$ , °С										
Переданная потоку тепловая мощность $P_1$ , Вт										

Таблица 4.2.

Зависимость температуры теплоносителя от интенсивности инфракрасного излучения

	Мощность излучения, Вт									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Интенсивность излучения, $I_2$ Вт/м <sup>2</sup>										
Освещенность $E_2$ , лк										

Температура на входе теплоносителя, $t_{вх}, ^\circ\text{C}$										
Температура на выходе теплоносителя, $t_{вых}, ^\circ\text{C}$										
Переданная потоку тепловая мощность $P_2$ , Вт										

### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица измерений.
3. Зависимости  $P_1=f(I_1)$  и  $P_2=f(I_2)$ .
4. Выводы по работе.

## Лабораторная работа №5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОТ УГЛА НАКЛОНА ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: определение оптимального расположения источника излучения для эффективной работы плоских солнечных коллекторов.

#### Порядок выполнения работы

1. Установить излучатель под углом  $\alpha=30^\circ$  к горизонту. Это положение принимается равным положению Солнца при восходе с восточной стороны.
2. Включить ноутбук. На экране меню «Исследуемый прибор» выбрать «Солнечный коллектор с принудительной циркуляцией».
3. Включить насос, открыть соответствующие краны и задвижку (полностью), добиться устойчивого расхода через трубопроводы;
4. Установить регулятором мощность излучения 500 Вт;
5. Записать по приборам соответствующую интенсивность излучения  $I$ , температуру теплоносителя на входе  $t_{вх}$  и выходе  $t_{вых}$  солнечного коллектора в табл.5.1.
6. Переместить излучатель на  $\alpha=60^\circ$ , записать соответствующие данные в табл. 5.1.
7. Переместить излучатель в положение  $\alpha=90^\circ$ , соответствующее положению Солнца в зените. Данные занести в табл.5.1.



8. Аналогичные измерения провести для углов  $120^{\circ}$  и  $150^{\circ}$ . Результаты занести в таблицу.

9. С помощью кнопок «Сохранить данные» и «Сохранить график» сохранить данные проведения эксперимента.

10. В диалоговом окне компьютера запустить операцию «Завершить измерения».

11. По тарировочной зависимости определить освещенность. Данные занести в табл.5.1. Построить зависимости  $E=f(\alpha)$ ,  $t_{\text{вх}}=f(\alpha)$  и  $t_{\text{вых}}=f(\alpha)$  от угла наклона источника излучения к горизонту.

12. Сделать вывод о наиболее оптимальном угле наклона для эффективной работы плоского солнечного коллектора.

13. Оформить отчет по лабораторной работе.

Таблица 5.1.

Зависимость интенсивности излучения и температуры теплоносителя от угла наклона источника к горизонту

	Угол наклона излучателя к горизонту, $\alpha$ , град.				
	30	60	90	120	150
Интенсивность излучения, I					
Освещенность E, лк					
Температура на входе теплоносителя, $t_{\text{вх}}$ , $^{\circ}\text{C}$					
Температура на выходе теплоносителя, $t_{\text{вых}}$ , $^{\circ}\text{C}$					

#### Содержание отчета

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

### **Лабораторная работа №6**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КПД СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОТ РАСХОДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

Цель работы: Изучить характеристики солнечного коллектора при различном расходе теплоносителя.

#### Порядок выполнения работы

1. Установить излучатель видимого спектра над солнечным коллектором с принудительной циркуляцией. Открутив регулировочные винты опустить излучатель до предела.

2. Включить насос. Открыв соответствующие краны и открыв полностью задвижку добиться устойчивого расхода через трубку.

3. Включить излучатель на полную мощность.

4. Подождать выхода системы на стационарный режим. Записать значения температур перед и за коллектором и расход протекающей через него жидкости в таблицу 6.1

5. Рассчитать значения тепловой мощности, переданной солнечному коллектору по формуле:

$$N_{пол} = C \cdot Q \cdot \rho \cdot (t_{вых} - t_{ex}) \quad (6.1)$$

где  $C = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ K}$  – удельная теплоемкость воды при постоянном давлении;  $Q$

– расход жидкости, протекающей по изучаемому трубопроводу;  $\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$  – плотность воды при нормальных условиях;  $t_{вых}; t_{ex}$  – соответственно температура на выходе и входе изучаемого трубопровода,  $^\circ C$ ;

Рассчитать значения КПД:

$$\eta = \frac{N_{пол}}{N_{зам}} \quad (6.2)$$

где  $N_{зам}$  – мощность источника, затрачиваемая на нагрев жидкости.

6. Плавно закручивая задвижку уменьшить протекающий через коллектор расход, повторить п. 4,5. Записать значения в таблицу 6.1

7. Построить зависимости  $N=f(Q)$   $\eta=f(Q)$ . Сделать выводы.

Данная работа может быть выполнена в автоматизированном режиме (с применением компьютера), а так же вручную.

Таблица 6.1

	Расход теплоносителя			
	25%	50%	75%	100%
Температура на входе солнечного коллектора с принудительной циркуляцией $t_{ex}$ , $^\circ C$				
Температура на выходе солнечного коллектора с принудительной циркуляцией $t_{вых}$ , $^\circ C$				
Расход жидкости, протекающей через коллектор $Q$ , мл/с				
Расход жидкости, протекающей через коллектор $Q$ , $м^3/ч$				
Тепловая мощность, переданная потоку $N_{пол}$ , Вт				
КПД коллектора, $\eta$ , %				

--	--	--	--	--

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица измерений.
3. Зависимости  $N=f(Q)$ ,  $\eta=f(Q)$ .
4. Выводы по работе.

**Лабораторная работа №7**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБЧАТЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛОСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ**

Цель работы: изучение работы открытых и вакуумированных трубчатых солнечных коллекторов при использовании плоских отражателей.

Порядок выполнения работы

1. Установить на стенд концентратор с плоскими отражателями.
2. Установить на концентратор с плоскими отражателями медную трубку с черным покрытием.
3. Установить над трубкой излучатель видимого спектра, так чтобы он находился в фокусе отражателя.
4. Включить насос. Открыть соответствующие краны и полностью открыть задвижку.
5. Включить излучатель на полную мощность.
6. Подождать, пока система выйдет на стационарный режим.
7. Записать значения температур перед исследуемым трубопроводом и за ним, а так же величину расхода, в таблицу 7.1.
8. Дождавшись полного остывания концентратора и трубки, поменять ее на медную трубку с черным покрытием в кварцевой трубе, установив ее в отражатель.
9. Повторить п.6,7 при тех же расходах жидкости.
10. Отключить установку
11. Построить зависимости  $t_{\text{вых}} = f(Q)$  и  $t_{\text{вх}} = f(Q)$  для открытой медной трубки и  $t_{\text{вых}} = f(Q)$  и  $t_{\text{вх}} = f(Q)$  для вакуумированной кварцевой трубки. Сделать выводы.

Таблица 7.1

	Расход жидкости, протекающий через трубы.			
	25%	50%	75%	100%
Температура на входе медной трубки с черным покрытием $t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$				

Температура на выходе медной трубы с черным покрытием $t_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$				
Температура на входе медной трубы с черным покрытием в кварцевой трубе $t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$				
Температура на выходе медной трубы с черным покрытием в кварцевой трубе $t_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$				

### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица измерений.
3. Зависимости  $t_{\text{вых}} = f(Q)$  и  $t_{\text{вх}} = f(Q)$  для открытой медной трубки и  $t_{\text{вых}} = f(Q)$  и  $t_{\text{вх}} = f(Q)$  для вакуумированной кварцевой трубки.
4. Выводы по работе.

## Лабораторная работа № 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА С ПАРАБОЛИЧЕСКИМИ ОТРАЖАТЕЛЯМИ

Цель работы Изучить работу солнечных коллекторов с параболическими отражателями и методы определения их КПД.

#### Порядок выполнения работы

1. Установить на стенд коллектор с параболическими отражателями.
2. Установить на коллектор с параболическими отражателями медную трубку с черным покрытием.
3. Установить над трубкой излучатель, так чтобы он находился в фокусе отражателя.
4. Включить насос. Открыв соответствующие краны и вращая задвижку добиться устойчивого расхода через трубку.
5. Включить излучатель на полную мощность.
6. Записывая значения температур перед и за трубкой, а так же определяя расход рассчитать тепловую мощность, переданную потоку по формуле:

$$N_{\text{пол}} = C \cdot Q \cdot \rho \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) \quad (8.1)$$

где  $C = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  – удельная теплоемкость воды при постоянном давлении;  $Q$  – расход жидкости, протекающей по изучаемому трубопроводу;  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  –

плотность воды при нормальных условиях;  $t_{\text{вых}}; t_{\text{ex}}$  - температура на выходе и входе изучаемого трубопровода соответственно;

Расчетные значения занести в таблицу 8.1.

7. Рассчитать величину КПД  $\eta = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{зат}}}$  поделив тепловую мощность,

переданную потоку на затраченную мощность излучателя

8. Вращая задвижку, изменить расход протекающей воды. Повторить п.6,7.

9. Проанализировать полученные значения. Построить графики. Сделать выводы.

Данная работа может быть выполнена в автоматизированном режиме (с применением компьютера), а так же вручную.

Таблица 8.1

	Мощность, потребляемая излучателем.			
Температура на входе открытой медной трубки с черным покрытием $t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$				
Температура на выходе открытой медной трубки с черным покрытием $t_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$				
Расход жидкости, протекающей через трубку $Q, \text{ м}^3/\text{с}$				
Тепловая мощность, переданная потоку $N_{\text{пол}}, \text{ Вт}$				
КПД отражателя $\eta, \%$				

### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Таблица измерений.
3. Зависимость  $\eta = f(P_{\text{изл}})$
4. Выводы по работе.

## Лабораторная работа № 9

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА С ПЛОСКИМИ ОТРАЖАТЕЛЯМИ

Цель работы: Изучить работу солнечных коллекторов с плоскими отражателями и методы определения их КПД.

Порядок работы:

1. Установить на стенд концентратор с плоскими отражателями.
2. Установить на плоский отражатель медную трубку с черным покрытием.
3. Установить над трубкой излучатель, так чтобы он находился в фокусе отражателя.
4. Включить насос. Открыв соответствующие краны и вращая задвижку добиться устойчивого расхода через трубку.
5. Включить излучатель на полную мощность.
6. Записывая значения температур перед и за трубкой, а так же определяя расход жидкости, рассчитать тепловую мощность, переданную потоку по формуле:

$$N_{пол} = C \cdot Q \cdot \rho \cdot (t_{вых} - t_{вх}), \quad (9.1)$$

где  $C = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot К}$  – удельная теплоемкость воды при постоянном давлении;  $Q$  – расход жидкости, протекающей по изучаемому трубопроводу;  $\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$  – плотность воды при нормальных условиях;  $t_{вых}; t_{вх}$  – температура на выходе и входе изучаемого трубопровода соответственно;

Рассчитанные значения занести в таблицу 9.1.

7. Вычислить величину КПД  $\eta = \frac{N_{пол}}{N_{зат}}$ , поделив тепловую мощность переданную потоку на затраченную мощность излучателя
8. Вращая задвижку изменить расход протекающей воды. Повторить п.6,7.
9. Проанализировать полученные значения. Построить графики. Сделать выводы.

Данная работа может быть выполнена с медной трубкой с черным покрытием в кварцевой трубе в автоматизированном режиме (с применением компьютера), и вручную.

Таблица 9.1

	Мощность, потребляемая излучателем.			
Температура на входе медной трубки с черным покрытием $t_{вх}, ^\circ C$ .				
Температура на выходе медной трубки с черным покрытием $t_{вых}, ^\circ C$ .				
Расход жидкости, протекающей через трубку $Q, м^3/с$ .				

Тепловая мощность переданная потоку $N_{пол}$ , Вт.				
КПД отражателя $\eta$ , %.				

### Содержание отчета

5. Название и цель работы.
6. Таблица измерений.
7. Зависимость  $\eta = f(P_{изл})$ .
8. Выводы по работе.

## Лабораторная работа №10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КПД СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ОТ УРОВНЯ ВАКУУМИРОВАНИЯ

Цель работы: Изучить характеристики солнечного коллектора при работе с вакуумированием.

#### Порядок выполнения работы:

1. Установить на стенд концентратор с параболическими отражателями.
2. Установить на концентратор с параболическими отражателями медную трубку с черным покрытием в кварцевой трубе.
3. Установить над трубкой излучатель, так чтобы он находился в фокусе отражателя.
4. Включить насос. Открыв соответствующие краны и вращая задвижку, добиться устойчивого расхода через трубку.
5. Включить излучатель на полную мощность ( $N_{зам}$ ).
6. Включив вакуумный насос и выкрутив регулировку уровня вакуумирования на максимум, добиться максимального разрежения.
7. Подождать выхода системы на стационарный режим. Записать значения температур перед и за трубкой и расход жидкости, протекающей по ней, в таблицу 9.1
8. Рассчитать значение тепловой мощности, переданной солнечному коллектору по формуле:

$$N_{пол} = C \cdot Q \cdot \rho \cdot (t_{вых} - t_{вх}) \quad (10.1)$$

где  $C = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot К}$  – удельная теплоемкость воды при постоянном давлении;  $Q$  – расход жидкости, протекающей по изучаемому трубопроводу;  $\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$  –

плотность воды при нормальных условиях;  $t_{вых}; t_{вх}$  - температура на выходе и входе изучаемого трубопровода соответственно;

9. Рассчитать значения КПД :

$$\eta = \frac{N_{пол}}{N_{зат}} \quad (10.2)$$

10. Выкручивая регулировку уровня вакуумирования в сторону уменьшения, повторить п.7,8 для разных уровней вакуума. Записать значения в таблицу 10.1

11. Проанализировать полученные значения. Построить графики. Сделать выводы.

Таблица 10.1

	Уровень вакуума (значения абсолютного давления в кварцевой трубке), $У_{вак}$ .			
	25%	50%	75%	100%
Температура на входе медной трубки с черным покрытием, $t_{вх}, ^\circ\text{C}$ .				
Температура на выходе медной трубки с черным покрытием, $t_{вых}, ^\circ\text{C}$ .				
Расход воды, протекающей через трубку $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ .				
Тепловая мощность, переданная потоку $N, \text{ Вт}$ .				
КПД, $\eta, \%$ .				

Содержание отчета

9. Название и цель работы.

10. Таблица измерений.

11. Зависимость  $\eta = f(U_{вак})$ .

12. Выводы по работе.