

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

---

**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

**Кафедра теплосиловых установок и тепловых двигателей**

# **СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**Методические указания  
к лабораторным работам**

**Санкт-Петербург  
2019**

УДК 658.264(075)

Системы теплоснабжения: методические указания к лабораторным работам /сост. Т. Ю. Короткова, А. Д. Монашенко; ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2019.- 24 с.

Приводятся алгоритмы выполнения лабораторных работ по исследованию тепловых потерь в системах теплоснабжения, насосного оборудования и внутридомовых систем отопления на установках «НТЦ-14.50» и «Тепловой насос Measlab». Также представлены аналитические зависимости, необходимые для обработки результатов исследований.

Предназначены для студентов ИЭиА и ИБФО, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профили «Промышленная теплоэнергетика» и «Энергетика теплотехнологий».

Рецензент: профессор кафедры энергетических установок (не ядерных) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», д-р техн. наук В.В.Барановский.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой теплосиловых установок и тепловых двигателей ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 5 от 30.01.2019).

Утверждены к изданию методической комиссией Института энергетики и автоматизации ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 5 от 01.02.2019).

© Высшая школа технологии и энергетики  
СПбГУПТД, 2019

Корректор Т.А. Смирнова  
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2019 г., поз. 13

---

Подп. к печати 12.02.2019.	Формат 60x84/16.	Бумага тип. № 1.
Печать офсетная.	Объем 1,5 печ.л; 1,5 уч.-изд.л.	Тираж 150 экз.
Изд. № 13. Цена "С" . Заказ №		

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,  
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

### Цель работы

Определение потерь тепловой энергии на аналогичных участках отопительного контура с тепловой изоляцией и без нее при различных скоростях теплоносителя.

### Теоретические основы

В системах централизованного теплоснабжения передача тепловой энергии от источника к потребителю осуществляется по тепловым сетям, в которых часть теплоты теряется в окружающую среду. Для трубопровода длиной  $l$  потери тепла могут быть рассчитаны по уравнению теплопередачи:

$$Q_{\text{пот}} = k(\tau - t)l, \text{ Вт/м}, \quad (1.1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}$ ;

$\tau$  – температура теплоносителя,  $^\circ\text{С}$ ;

$t$  – температура окружающего воздуха,  $^\circ\text{С}$ ;

$l$  – длина участка трубопровода, м.

Из вышеприведенного уравнения следует, что потери тепла трубопроводом в основном зависят от температур теплоносителя и окружающего воздуха, а также от коэффициента теплопередачи стенки трубопровода. Основным методом снижения тепловых потерь в системах теплоснабжения является применение тепловой изоляции, качество которой определяется значением коэффициента теплопроводности. Чем меньше его значение, тем больше термическое сопротивление трубопровода, и соответственно, меньше величина потерь тепловой энергии. Следует отметить, что тепловые потери трубопроводом также зависят от способа прокладки сети и от влияния соседних трубопроводов.

Одной из основных задач при проектировании систем теплоснабжения является определение тепловых нагрузок. По характеру протекания во времени различают два типа тепловых нагрузок: сезонная и круглогодочная.

К сезонным нагрузкам относят отопление, вентиляцию и кондиционирование. Такие нагрузки характеризуются постоянным суточным графиком и переменным годовым графиком нагрузки. К круглогодочным нагрузкам относят технологическую нагрузку и горячее водоснабжение. Суточные графики круглогодочных нагрузок носят переменный характер, а годовые зависят от времени года. Очевидно, что зимние нагрузки заметно выше летних вследствие меньшей температуры водопроводной воды и

больших тепловых потерь. Рассмотрим более подробно основные виды тепловых нагрузок.

**Отопление.** Главная задача отопления состоит в поддержании температуры воздуха внутри помещения на требуемом уровне и в восполнении тепловых потерь через ограждающие конструкции здания.

Существует три метода определения отопительной нагрузки:

- 1) Метод расчета по уравнению теплопередачи.
- 2) Метод расчета по удельной отопительной характеристике.
- 3) Метод расчета по укрупненным показателям.

Первый метод применяется для расчета отопительной нагрузки зданий уникальной архитектуры. Данный метод характеризуется наибольшей точностью результатов по сравнению с другими методами, однако требует большого объема исходной информации и вычислительной работы. Расчет проводится по следующей формуле:

$$Q_{op} = \sum k \cdot F \cdot \Delta t, \text{ Вт}, \quad (1.2)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи наружных ограждений, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$F$  – площадь поверхности наружных ограждений, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – разность температур воздуха с внутренней и внешней сторон ограждающих конструкций, °С.

Метод расчета отопительной нагрузки по удельной отопительной характеристике является самым распространенным. Область его применения – типовые жилые, общественные и производственные здания. Такой метод расчета требует небольшого количества исходной информации и характеризуется удовлетворительной для инженерных расчетов точностью.

$$Q_{op} = q_0 \cdot V \cdot (t_{вр} - t_{нро}), \text{ Вт}, \quad (1.3)$$

где  $q_0$  – удельная отопительная характеристика, Вт/м<sup>3</sup>·°С;

$V$  – объем здания, м<sup>3</sup>;

$t_{вр}$  – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С;

$t_{нро}$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления, °С.

Удельная отопительная характеристика представляет собой тепловую потерю при теплопередаче через наружные ограждения при разности внутренней и наружной температур 1°С, отнесенную к 1 м<sup>3</sup> наружного объема здания.

Расчет тепловой нагрузки на отопление по укрупненным показателям характеризуется наименьшей точностью. Его применяют для оценки тепловой нагрузки строящегося микрорайона. Для расчета требуется минимальное количество исходных данных и вычислительной работы. Для расчета используется формула:

$$Q_{op} = q_0^{укр} \cdot A \cdot (1 + K_1), \text{ Вт}, \quad (1.4)$$

где  $q_0^{укр}$  – укрупненный показатель максимального расхода теплоты на отопление 1 м<sup>2</sup> общей площади жилых зданий, Вт/м<sup>2</sup>;

$A$  – общая площадь жилых зданий, м<sup>2</sup>;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий (при отсутствии данных принимается  $K_1 = 0,25$ ).

**Вентиляция.** Основная задача вентиляции заключается в поддержании нормального состояния воздушной среды в помещении за счёт нагнетания в него свежего атмосферного воздуха и удаления вредных веществ, избыточных тепловыделений и влаги. Существует два метода определения расхода теплоты на вентиляцию:

- 1) Метод расчета по удельной вентиляционной характеристике.
- 2) Метод расчета по укрупненным показателям.

Метод расчета расхода теплоты на вентиляцию по удельной вентиляционной характеристике предполагает использование следующей формулы:

$$Q_{вр} = q_v \cdot V \cdot (t_{вр} - t_{нрв}), \text{ Вт}, \quad (1.5)$$

где  $q_v$  – удельная вентиляционная характеристика, Вт/м<sup>3</sup>·°С;

$V$  – объем вентилируемого здания, м<sup>3</sup>;

$t_{вр}$  – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С;

$t_{нрв}$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем вентиляции, °С.

При отсутствии точных данных о тепловом потребителе рекомендуется определять расход теплоты на вентиляцию по укрупненным показателям:

$$Q_{вр} = q_v^{укр} \cdot A \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ Вт}, \quad (1.6)$$

где  $q_v^{укр}$ ,  $A$ ,  $K_1$  – определяются аналогично формуле (1.4);

$K_2$  – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий (при отсутствии данных принимается  $K_2 = 0,6$ ).

**Горячее водоснабжение.** Как отмечалось ранее, тепловая нагрузка ГВС является круглогодичной. Она носит неравномерный характер как в течение суток, так и в течение недели. Главная ее задача заключается в обеспечении теплового потребителя горячей водой с температурой  $t_{гв} = 65^\circ\text{С}$ . Различают два основных метода определения расхода тепла на ГВС:

- 1) Метод расчета по удельным нормам.
- 2) Метод расчета по укрупненным показателям.

Расчет расхода теплоты на ГВС по удельным нормам для зимнего периода проводится по следующей формуле:

$$Q_{\text{ГВС}_3}^{\text{срн}} = \frac{1,2 \cdot m \cdot a \cdot c \cdot (\tau_{\text{Г}} - \tau_{\text{Х}}^{\text{зим}})}{3,6 \cdot n}, \text{ Вт}, \quad (1.7)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий остывание воды в стояках труб;

$a$  – норма расхода горячей воды, приходящаяся на одного человека в сутки, л/сут;

$m$  – количество потребителей;

$c$  – удельная теплоемкость воды, Дж/кг·°С;

$\tau_{\text{Г}}$  – температура горячей воды (принимается равной 65°С);

$\tau_{\text{Х}}^{\text{зим}} = 5^{\circ}\text{С}$  – температура водопроводной воды в зимний период;

$n$  – длительность подачи горячей воды в сутки, ч/сут.

Для летнего периода:

$$Q_{\text{ГВС}_л}^{\text{срн}} = Q_{\text{ГВС}_3}^{\text{срн}} \cdot \frac{\tau_{\text{Г}} - \tau_{\text{Х}}^{\text{лет}}}{\tau_{\text{Г}} - \tau_{\text{Х}}^{\text{зим}}} \cdot \beta, \text{ Вт}, \quad (1.8)$$

где  $\tau_{\text{Х}}^{\text{лет}} = 15^{\circ}\text{С}$  – температура водопроводной воды в летний период;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий снижение (повышение) потребления горячей воды в летний период (для северных районов  $\beta = 0,8$ ; для южных –  $\beta = 1,2$ ).

Для ориентировочных оценок расхода теплоты на ГВС используют метод расчета по укрупненным показателям:

$$Q_{\text{ГВС}_p}^{\text{срн}} = q_{\text{ГВС}}^{\text{укр}} \cdot m, \text{ Вт}, \quad (1.9)$$

где  $q_{\text{ГВС}}^{\text{укр}}$  – укрупненный показатель теплового потока на ГВС на одного человека;

$m$  – количество человек.

## Порядок выполнения

1. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1 равную I. Для этого перевести регулятор на корпусе насоса в положение I (рис. 1).

2. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

3. Убедиться, что все вентили на подающем и обратном трубопроводах открыты (ручки вдоль трубопроводов), при необходимости перевести их в открытое состояние.

4. Открыть полностью вентиль В1 на распределителе, В2..В5 закрыть.

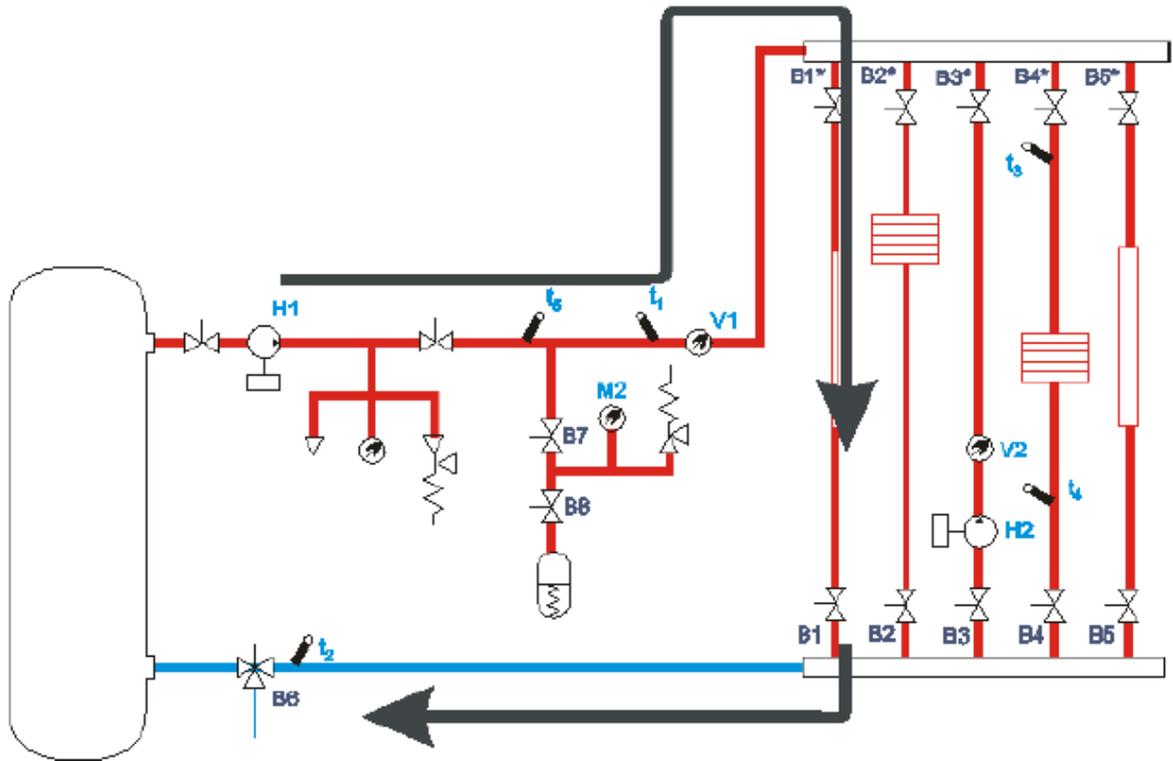


Рис. 1. Схема коммутации контура системы теплоснабжения без тепловой изоляции

5. Перевести переключатель SA1 в положение «Внутр.», тумблер SA5 в положение Q1, тумблер SA6 в положение T1.

6. Установить требуемую величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла). Установившееся значение температуры теплоносителя на подаче контролируется непосредственно по индикатору T1.

7. Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на 10°C, откройте вентили B1..B5 на распределителе. Включите котел на минимальной настройке температуры (нагревательный элемент не должен включаться) и дождитесь падения температуры.

8. Включить котел (переключатель на передней панели котла).

9. После достижения требуемого значения температуры теплоносителя снять показания теплосчетчика Q1.

10. Снять данные по температуре на входе и выходе из участка теплосети. Для смены режима индикации температур T1 и T2 переключить тумблер SA6 в соответствующее положение. Данные занести в табл. 1.

Таблица 1  
Температура теплоносителя в прямой и обратной магистралях

<b>Скорость циркуляционного насоса Н1: I</b>					
Участок теплосети	температура теплоносителя в прямой и обратной магистралях, °С				
Без теплоизоляции	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
	$\tau_2$				
	$\Delta\tau$				
С теплоизоляцией	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
	$\tau_2$				
	$\Delta\tau$				
<b>Скорость циркуляционного насоса Н1: II</b>					
Участок теплосети	температура теплоносителя в прямой и обратной магистралях, °С				
Без теплоизоляции	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
	$\tau_2$				
	$\Delta\tau$				
С теплоизоляцией	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
	$\tau_2$				
	$\Delta\tau$				
<b>Скорость циркуляционного насоса Н1: III</b>					
Участок теплосети	температура теплоносителя в прямой и обратной магистралях, °С				
Без теплоизоляции	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
	$\tau_2$				
	$\Delta\tau$				
С теплоизоляцией	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
	$\tau_2$				
	$\Delta\tau$				

11. Спустя фиксированный интервал времени ( $\Delta t = 3$  мин), снова снять показания теплосчетчика Q1. Тепловые потери определяются как разность показаний теплосчетчика в начале и конце отрезка времени. Данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Тепловые потери на изолированном и неизолированном участках тепловой сети

<b>Скорость циркуляционного насоса Н1: I</b>					
Участок теплосети	тепловые потери в установившемся режиме $\Delta t = 3$ мин, кДж				
	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
Без теплоизоляции	$Q_{10}$				
	$Q_1$				
	$Q_{\text{пот}}$				
С теплоизоляцией	$Q_{10}$				
	$Q_1$				
	$Q_{\text{пот}}$				
<b>Скорость циркуляционного насоса Н1: II</b>					
Участок теплосети	тепловые потери в установившемся режиме $\Delta t = 3$ мин, кДж				
	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
Без теплоизоляции	$Q_{10}$				
	$Q_1$				
	$Q_{\text{пот}}$				
С теплоизоляцией	$Q_{10}$				
	$Q_1$				
	$Q_{\text{пот}}$				
<b>Скорость циркуляционного насоса Н1: III</b>					
Участок теплосети	тепловые потери в установившемся режиме $\Delta t = 3$ мин, кДж				
	$\tau_1$	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>
Без теплоизоляции	$Q_{10}$				
	$Q_1$				
	$Q_{\text{пот}}$				
С теплоизоляцией	$Q_{10}$				
	$Q_1$				
	$Q_{\text{пот}}$				

12. Выключить котел.

13. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1 равную II. Для этого перевести регулятор на корпусе насоса в положение II.

14. Повторите пункты 8..12. Данные занести в таблицы 1, 2.

15. Повторите пункты 8..12 для скорости работы циркуляционного насоса Н1 равной III. Данные занести в табл. 1, 2.

16. Открыть полностью вентиль В5 на распределителе (рис.2), остальные вентили закрыть.

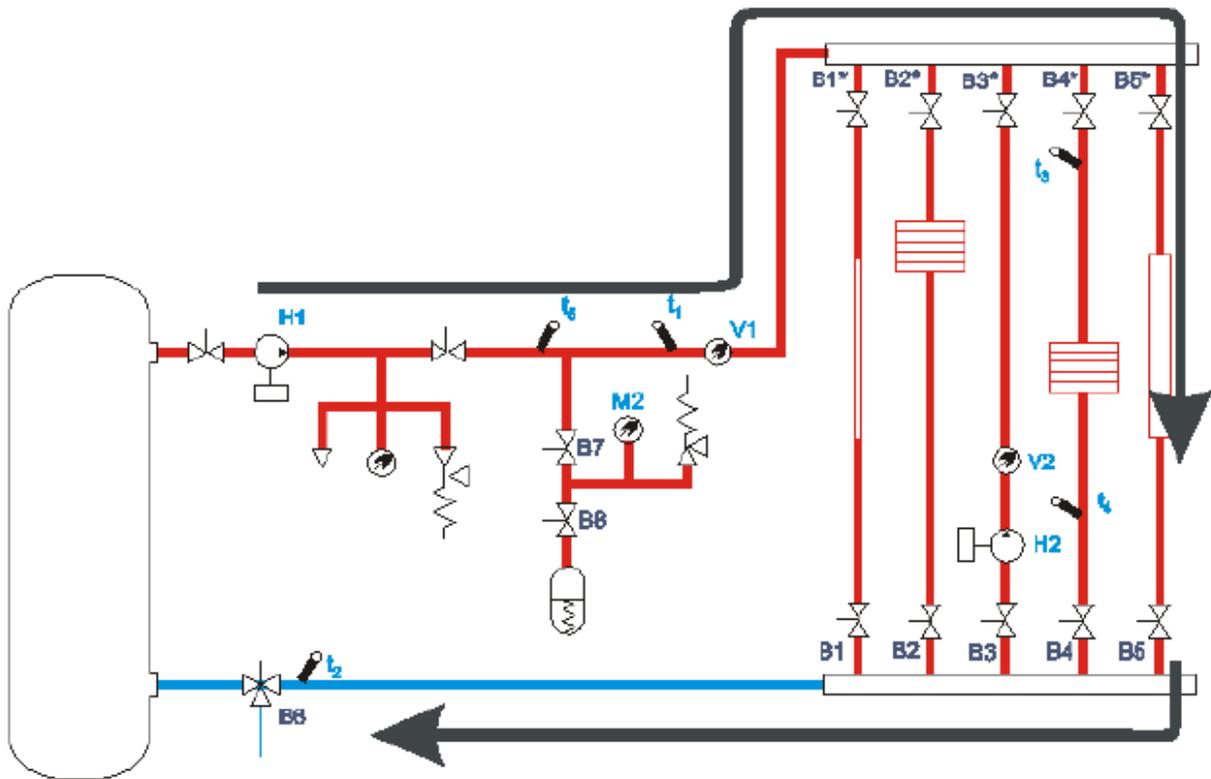


Рис.2. Схема коммутации контура системы теплоснабжения с тепловой изоляцией

17. Повторите пункты 8..14 для участка без теплоизоляции. Данные занести в табл. 1, 2.

18. Повторите пункты 8..16 при других значениях температуры теплоносителя на подаче. Данные занести в табл. 1, 2.

19. Выключить котел, выключить питание стенда.

После заполнения табл. 1 и 2 построить графики зависимости тепловых потерь от температуры теплоносителя  $Q_{\text{пот}} = f(\tau_1)$  (В одной координатной плоскости необходимо построить три кривых, соответствующих трем режимам работы насоса, для участка с теплоизоляцией и три - для неизолированного участка).

### Контрольные вопросы

1. От чего зависят тепловые потери в тепловых сетях?
2. Каким образом определяются тепловые потери трубопроводом длиной  $l$ ?
3. Как определялись тепловые потери в лабораторной работе?
4. Каким образом можно снизить величину потерь тепла трубопроводами?

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ

### Цель работы

Испытание чугунного и алюминиевого радиаторов в системе отопления, сравнение эффективности приборов отопления при разных схемах подключения.

### Теоретические основы

Главными элементами систем отопления являются радиаторы, служащие для передачи теплоты от теплоносителя к воздуху помещения. Основным критерием эффективности отопительного прибора является коэффициент теплопередачи, который показывает, какое количество теплоты передается за единицу времени через единичную поверхность при разности температур в 1 градус. Коэффициент теплопередачи может быть определен из уравнения теплового баланса отопительного прибора:

$$K \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср}} = c_p \cdot G_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{вх.пр}} - t_{\text{вых.пр}}) = Q_{\text{пр}}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  – количество тепла, отдаваемое прибором, Вт;

$c_p$  – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/кг·°С;

$G_{\text{пр}}$  – расход теплоносителя через отопительный прибор, кг/с;

$t_{\text{вх.пр}}$  – температура теплоносителя на входе в отопительный прибор, °С;

$t_{\text{вых.пр}}$  – температура теплоносителя на выходе из отопительного прибора, °С;

$K$  – коэффициент теплопередачи отопительного прибора, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$F$  – площадь поверхности отопительного прибора, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{\text{ср}}$  – средний температурный напор, °С.

Говоря о достоинствах и недостатках чугунных и алюминиевых радиаторов, следует обратить внимание на их характеристики (табл. 3). И те и другие устойчивы против коррозии и достаточно долговечны. Конструкция алюминиевого отопительного прибора предусматривает оребрение, которое способствует интенсификации теплообмена между теплоносителем и воздухом в отапливаемом помещении.

## Характеристики чугунных и алюминиевых радиаторов

Характеристики	Чугунный радиатор	Алюминиевый радиатор
Коэффициент теплопроводности материала	56 Вт/м·°С	230 Вт/м·°С
Рабочее давление теплоносителя	до 6 атм	до 16 атм
Максимальная температура теплоносителя	+130°С	+120°С

Водяные системы отопления могут быть однотрубными и двухтрубными. В двухтрубных системах отопительные приборы в гидравлическом контуре работают параллельно, причем температура и расход теплоносителя, поступающего в нагревательные приборы, одинаковы. Применение подобных систем значительно ограничено ввиду сложности их наладки и регулировки, в основном они встречаются в зданиях небольшой этажности.

На сегодняшний день наиболее распространенными являются однотрубные системы отопления, в которых нагревательные приборы присоединяются к трубопроводу последовательно. Температура теплоносителя, поступающего в каждый последующий отопительный прибор, постепенно снижается. Главным достоинством однотрубных систем отопления является равенство средних температур теплоносителя во всех стояках. Наладка однотрубной системы отопления выполняется гораздо проще, так как гравитационный напор, возникающий из-за разности плотностей теплоносителя в подающем и обратном стояках, действует на все стояки одинаково. В двухтрубных системах из-за влияния гравитационного напора в отопительные приборы разных этажей поступают разные расходы теплоносителя. Поэтому в двухтрубных системах с верхней разводкой верхние этажи зачастую перетапливаются.

### Порядок выполнения

1. Ознакомиться с принципиальной схемой установки (рис. 3).

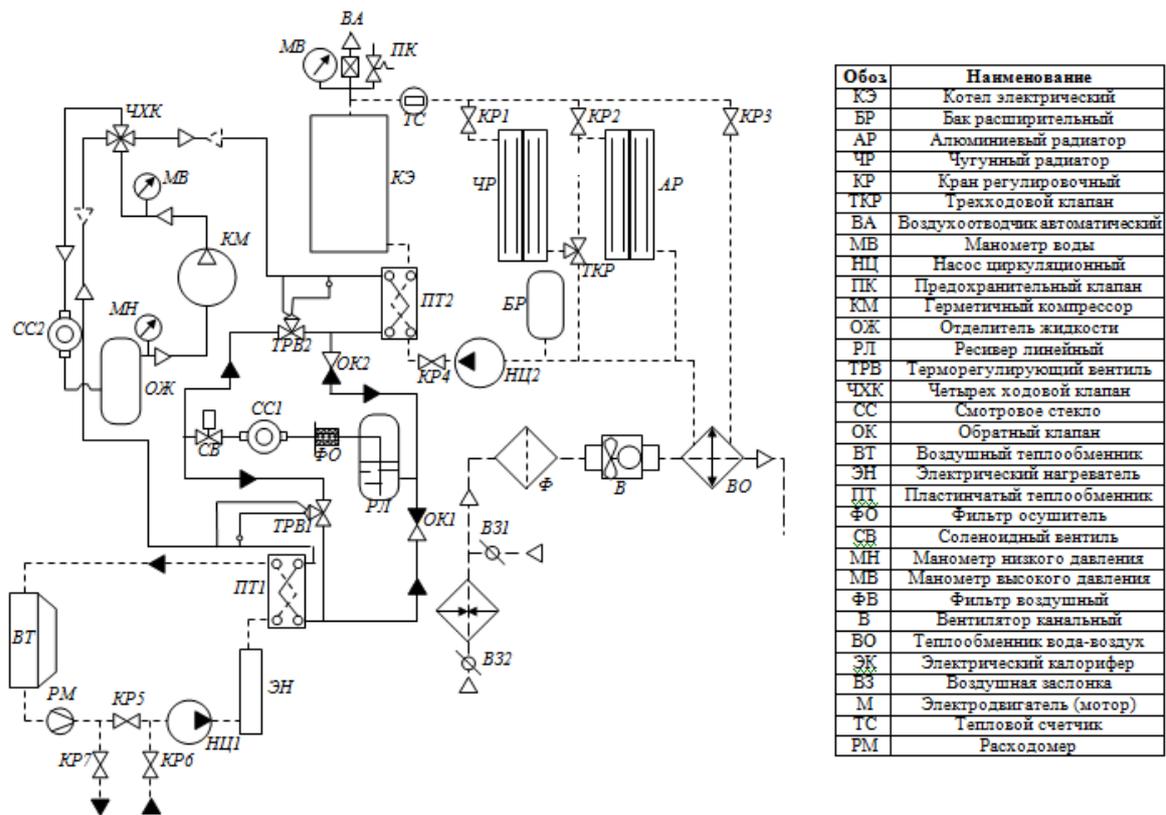


Рис.3. Принципиальная схема установки

2. Подключить стенд к электрической сети.
3. Подключить автоматизированный стенд к USB разьему компьютера.
4. Включить автомат питания АВ, «Сеть 220В».
5. Включить программу «Тепловой насос» (Пуск→ Программы → MeasLAB→«Тепловой насос»).
6. Открыть регулировочные краны КР1 и КР4, ручку трехходового крана ТКР установить вверх.
7. Закреть КР2 и КР3, таким образом весь поток теплоносителя будет проходить через чугунный радиатор.
8. Клавишей ВК5 включить циркуляционный насос НЦ2.
9. Включить электрический котел КЭ (клавиши находятся на корпусе котла) и регулятором температуры выставить температуру 70°C.
10. В установившемся режиме снять показания и занести в табл. 4.

Таблица 4

## Результаты измерений и вычислений

№ п/п	Тип прибора	$L_1$ , л/ч	$t_{ок}$ , °С	$t_{вх.пр}$ , °С	$t_{вых.пр}$ , °С	$G_{пр}$ , кг/с	$\Delta t_{ср}$ , °С	$Q_{пр}$ , Вт	$K$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
1	Чугунный								
2	Алюминиевый								
Параллельное подключение									
3	Чугунный								
4	Алюминиевый								
Последовательное подключение									
5	Чугунный								
6	Алюминиевый								

11. Открыть регулировочные краны КР2 и закрыть КР1, таким образом весь поток теплоносителя направится через алюминиевый радиатор.
12. В установившемся режиме снять показания и занести в табл. 4.
13. Открыть регулировочные краны КР1 и КР2 испытать систему при параллельном подключении радиаторов. В установившемся режиме снять показания и занести в табл. 4.
14. Закрыть кран КР2, повернуть ручку трехходового крана ТКР и установить ручкой вниз и испытать систему при последовательном подключении радиаторов. В установившемся режиме снять показания и занести в табл. 4.
15. Выключить установку, отключив котел, клавишу ВК5 и автомат питания АВ «Сеть 220В».

### Обработка результатов

- 1) Расход теплоносителя через отопительный прибор:

$$G_{пр} = \frac{0,001 \cdot L_1}{3600} \cdot \rho, \text{ кг/с}, \quad (2.2)$$

где  $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$  - плотность теплоносителя при 70°С;

$L_1$  – объемный расход теплоносителя на выходе из электрического котла, л/ч.

При последовательном подключении отопительных приборов расход теплоносителя через отопительный прибор рассчитывается по формуле (2.2), при параллельном подключении используют формулу (2.3):

$$G_{\text{пр}} = \left( \frac{0,001 \cdot L_1}{3600} \cdot \rho \right) / 2, \text{ кг/с.} \quad (2.3)$$

2) Средний температурный напор:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{вх.пр}} + t_{\text{вых.пр}}}{2} - t_{\text{ок}}, \text{ } ^\circ\text{C,} \quad (2.4)$$

где  $t_{\text{вх.пр}}$  – температура теплоносителя на входе в отопительный прибор,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{вых.пр}}$  – температура теплоносителя на выходе из отопительного прибора,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{ок}}$  – температура окружающего воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

3) Количество тепла, отдаваемое отопительным прибором:

$$Q_{\text{пр}} = c_p \cdot G_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{вх.пр}} - t_{\text{вых.пр}}) \cdot 1000, \text{ Вт,} \quad (2.5)$$

где  $c_p = 3,7 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$  - теплоемкость теплоносителя при  $70^\circ\text{C}$

4) Коэффициент теплопередачи отопительного прибора:

$$K = \frac{Q_{\text{пр}}}{F \cdot \Delta t_{\text{ср}}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C,} \quad (2.6)$$

где  $F$  – площадь поверхности отопительного прибора,  $\text{м}^2$  (табл. 5).

Таблица 5  
Значения площадей поверхности алюминиевого и чугунного радиаторов

Площадь поверхности	Радиатор	
	Алюминиевый	Чугунный
$F, \text{ м}^2.$	$0,105 \times 2 = 0,21$	$0,171 \times 2 = 0,342$

### Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент теплопередачи?
2. Как изменяется коэффициент теплопередачи отопительного прибора при последовательном и параллельном подключении?
3. Как влияет увеличение или уменьшение расхода теплоносителя через отопительный прибор на работу параллельно подключенных отопительных приборов?
4. Какой из радиаторов более эффективен и почему?

## **ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОНСТРУКЦИЕЙ И ИСПЫТАНИЕ НАСОСОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА СТЕНДЕ**

### **Цель работы**

Ознакомиться с конструктивными особенностями насосного оборудования и испытать насосы, установленные на стенде.

### **Теоретические основы**

Насос – это гидравлическая машина, предназначенная для сообщения рабочей жидкости энергии с целью ее перемещения по трубопроводам. В зависимости от способа сообщения энергии рабочему потоку все насосы можно разделить на два типа: динамические и объемные.

В динамических насосах сообщение энергии жидкости осуществляется за счет воздействия гидродинамических сил на незамкнутый объем жидкости. В объемных насосах сообщение энергии жидкости осуществляется за счет периодического изменения замкнутого объема рабочей камеры. Динамические насосы подразделяются на лопастные и насосы трения.

К лопастным относятся центробежные и осевые насосы. В центробежных насосах движение жидкости осуществляется от центра к периферии, а в осевых – в направлении оси насоса. Насосы трения осуществляют перемещение жидкости за счет сил трения и инерции. К этому типу насосов могут быть отнесены вихревые, шнековые, лабиринтные, червячные и струйные.

Группа объемных насосов включает в себя поршневые, плунжерные, диафрагменные, шестеренные и винтовые.

Основными характеристиками работы насосов являются производительность и напор.

Производительность насоса представляет собой объем жидкости, перемещаемый в единицу времени.

Напор насоса – это энергия, сообщаемая 1 кг рабочей жидкости, протекающей через насос, при повышении ее давления, увеличения скорости и подъема на заданную высоту.

Гидравлической характеристикой насоса называется зависимость напора, создаваемого насосом, от его производительности (рис. 4). Характеристики насосов определяются заводом-изготовителем по данным испытаний.

Гидравлическая характеристика тепловой сети – это зависимость потерь напора от расхода теплоносителя, протекающего в сети.

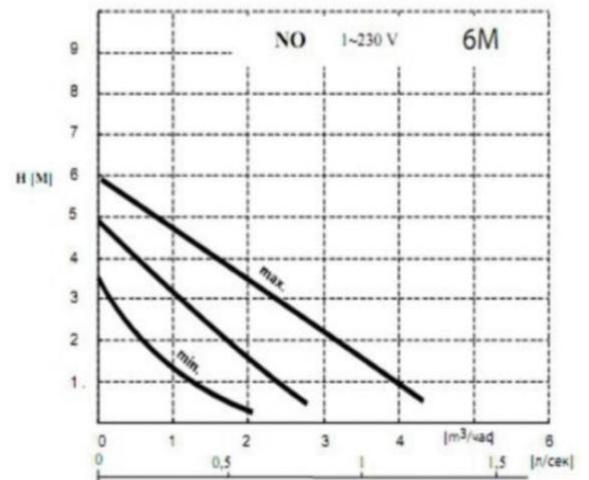
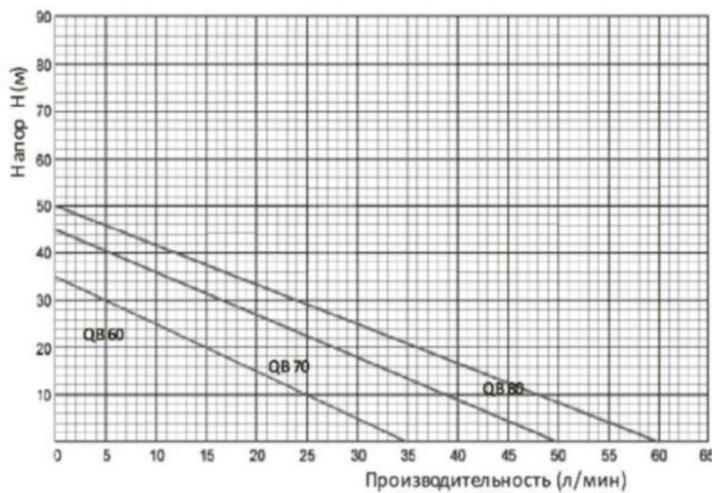


Рис.4. Гидравлические характеристики центробежных насосов JEMIX (слева) и ALBA(справа)

Условием совместной работы выбранного насоса с сетью является равенство гидравлических потерь сети напору, развиваемому насосом, при равенстве расходов воды, протекающих через насос и сеть. Графически условие совместной работы выражается точкой пересечения характеристик насоса и сети (рис. 4).

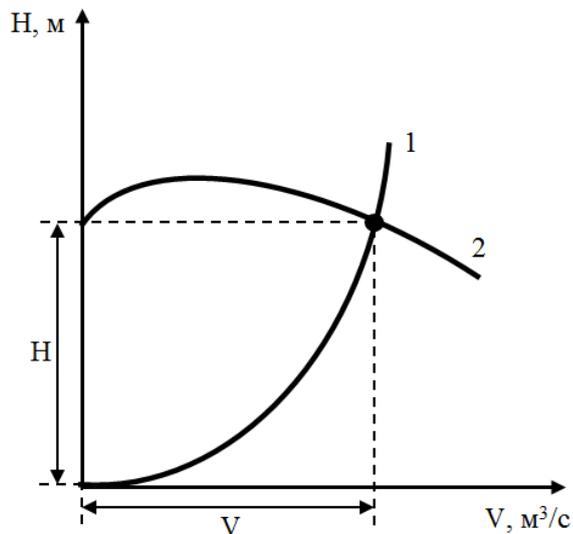


Рис.5. Гидравлические характеристики тепловой сети (1) и насоса (2)

При необходимости увеличить расход теплоносителя и сохранить напор используют параллельное подключение насосов, при необходимости увеличить напор насосной группы и сохранить расход – последовательное.

В системах теплоснабжения применяются сетевые, подпиточные и подкачивающие насосы.

Сетевые насосы предназначены для обеспечения циркуляции воды в тепловой сети. Их напор определяется как сумма потерь напора в установках на источнике теплоснабжения  $\Delta H_{ист}$ , в подающей  $\Delta H_{под}$  и обратной  $\Delta H_{обр}$  магистральных, а также в местной системе теплопотребления  $\Delta H_{аб}$ :

$$H_{сн} = \Delta H_{ист} + \Delta H_{под} + \Delta H_{обр} + \Delta H_{аб}, \text{ м.} \quad (3.1)$$

Подпиточные насосы используются в системах теплоснабжения для компенсации утечек сетевой воды через неплотности и восполнения горячего водоразбора в открытых системах. Напор подпиточных насосов определяется следующим образом:

$$H_{\text{ппн}} = H_{\text{ст}} + \Delta H_{\text{пл}} - z, \text{ м}, \quad (3.2)$$

где  $H_{\text{ст}}$  – статический напор сети, м;

$\Delta H_{\text{пл}}$  – потери напора в подпиточной линии, м;

$z$  – разность отметок уровня воды в подпиточном баке и оси подпиточных насосов, м.

Подкачивающие насосы устанавливаются на насосных подстанциях и предназначены для снижения общего уровня давлений в подающем трубопроводе и разгрузки сетевых насосов. Напор и производительность подкачивающих насосов определяются по пьезометрическому графику в зависимости от места расположения подкачивающей насосной станции.

## Порядок выполнения

1. Ознакомиться со схемой установки (рис. 6).

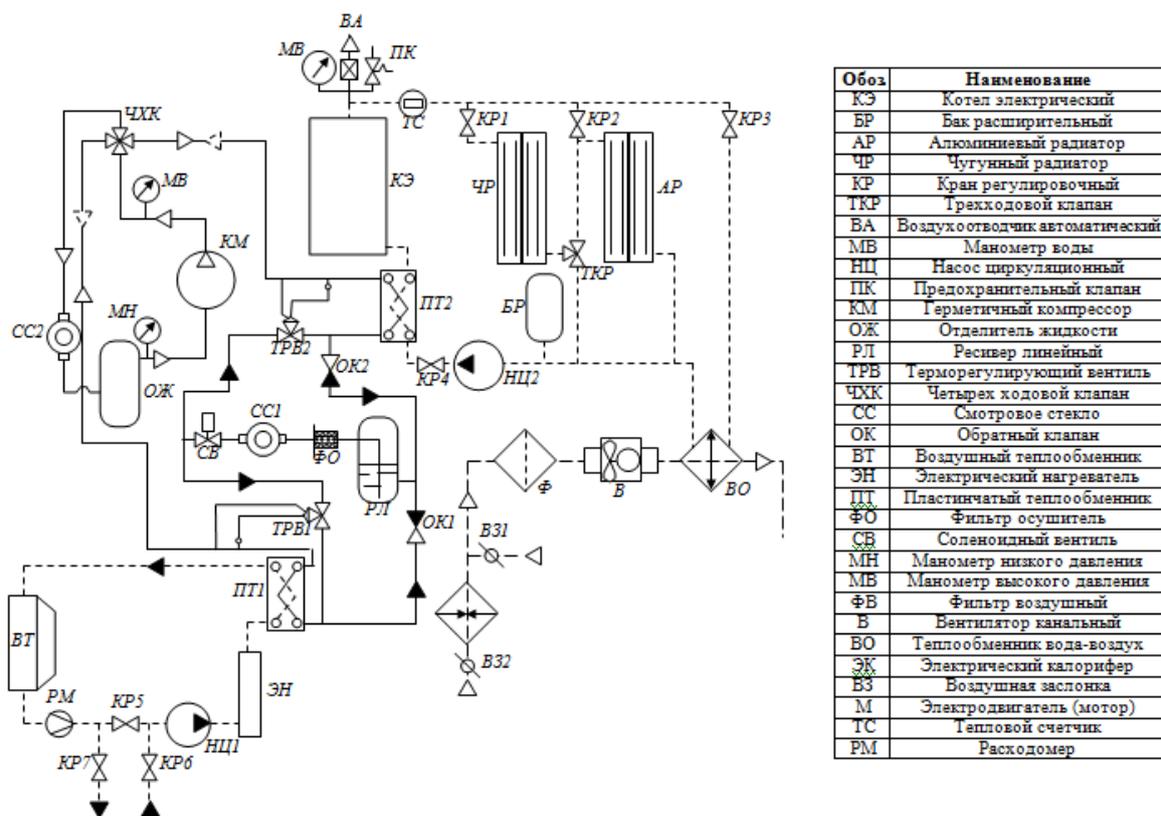


Рис.6. Принципиальная схема установки

2. Подключить стенд к электрической сети.
3. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера.
4. Включить автомат питания АВ, «Сеть 220В».
5. Включить программу «Тепловой насос» (Пуск→ Программы → MeasLAB→«Тепловой насос»).
6. Клавишей ВК4 включить циркуляционный насос НЦ1. Результаты температуры и расхода внести в табл. 6.

Таблица 6

*Результаты измерений и вычислений*

Насос	$w$ , м/с	$\tau_1$ , °С	$L_1$ , л/ч
НЦ1			
НЦ2 Режим I			
НЦ2 Режим II			
НЦ2 Режим III			

7. Регулируя мощность электрического нагревателя ЭН с помощью РН1, провести эксперименты при различных температурах теплоносителя, результаты внести в табл. 6.
8. Клавишей ВК5 включить циркуляционный насос НЦ2. Результаты температуры и расхода внести в табл. 6.

9. Включить котел и, регулируя мощность нагрева, провести эксперименты при различных температурах теплоносителя, результаты внести в табл. 6.
10. Изменить скорость на циркуляционном насосе НЦ2 и провести эксперименты при других скоростях (3 режима) и температурах теплоносителя, результаты внести в табл. 6.
11. Выключить все ВК и автомат питания АВ «Сеть 220В».

## Обработка результатов

Скорость теплоносителя в контуре:

$$w = \frac{4 \cdot L_1}{\pi \cdot d^2} \cdot \frac{0,001}{3600}, \text{ м/с,} \quad (3.3)$$

где  $L_1$  – расход теплоносителя в контуре, л/ч,  
 $d$  – диаметр трубопровода (табл. 7), м.

Таблица 7  
 Диаметры трубопроводов.

Диаметры труб, м	
Контур НЦ1	0,018
Контур НЦ2	0,024

После заполнения табл. 6 построить графики зависимости скорости теплоносителя от его температуры  $w = f(\tau_1)$  для двух насосов.

## Контрольные вопросы

1. Каковы основные отличия в принципах работы объемных и динамических насосов?
2. Какими основными параметрами характеризуется работа насоса?
3. В каких областях применяются испытанные типы насосов?
4. Каково назначение сетевых, подпиточных и подкачивающих насосов?
5. Как определяется напор у сетевого и подпиточного насоса?
6. Какова зависимость скорости теплоносителя от его температуры?

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЛЬНОГО И АЛЮМИНИЕВОГО ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

### Цель работы

Определение коэффициентов теплопередачи стального и алюминиевого отопительных приборов при различных температурах теплоносителя.

### Теоретические основы

Сравнительные характеристики стального и алюминиевого отопительных приборов приведены в табл. 8.

Таблица 8  
Характеристики стальных и алюминиевых радиаторов

Характеристики	Стальной радиатор	Алюминиевый радиатор
Коэффициент теплопроводности материала	52 Вт/м·°С	230 Вт/м·°С
Рабочее давление теплоносителя	до 9 атм	до 16 атм
Максимальная температура теплоносителя	+110°С	+120°С

### Порядок выполнения

1. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1 равную I. Для этого перевести регулятор на корпусе насоса в положение I.
2. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
3. Убедиться, что все вентили на подающем и обратном трубопроводах открыты (ручки вдоль трубопроводов), при необходимости перевести их в открытое состояние.
4. Открыть полностью вентиль В2 на распределителе (см. рис. 7), остальные закрыть.

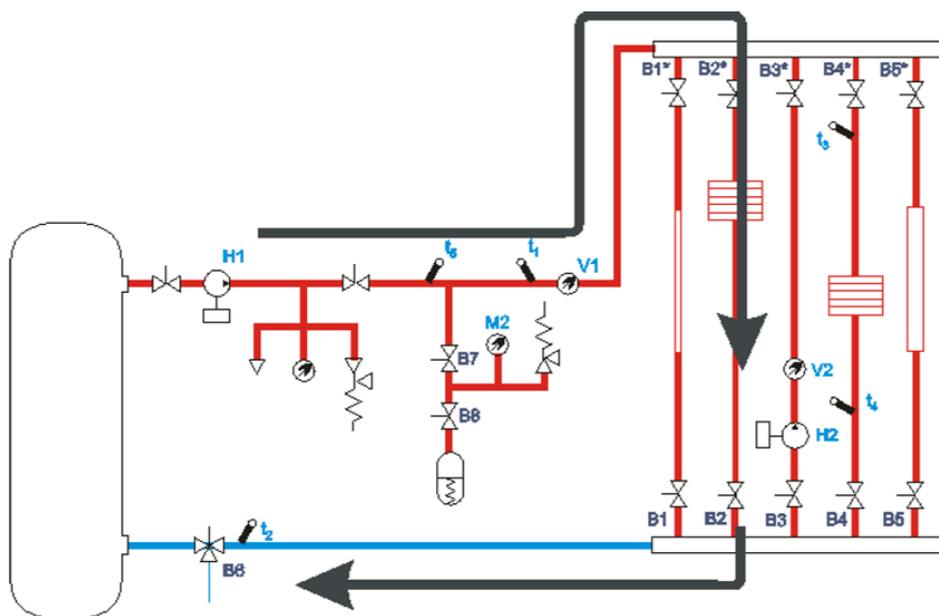


Рис. 7. Схема коммутации устройств системы теплоснабжения

5. Перевести переключатель SA1 в положение «Внутр.», тумблер SA5 в положение Q1, тумблер SA6 в положение T1.

6. Установить требуемую величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла). Установившееся значение температуры теплоносителя на подаче контролируется непосредственно по индикатору T1.

7. Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на  $10^{\circ}\text{C}$ , откройте вентили B1..B5 на распределителе. Включите котел на минимальной настройке температуры (нагревательный элемент не должен включаться) и дождитесь падения температуры.

8. Включить котел (переключатель на передней панели котла).

9. После достижения температуры теплоносителя требуемой величины, снять показания теплосчетчика Q1.

10. Снять данные по температуре на входе и выходе участка теплосети. Для смены режима индикации температур T1 и T2 переключить тумблер SA6 в соответствующее положение. Данные занести в табл.9.

Таблица 9

Результаты измерений

Тип прибора	$t_{\text{ок}},$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{вх}},$ $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{вых}},$ $^{\circ}\text{C}$	$Q_{\text{пр}},$ Вт	$\Delta t_{\text{ср}},$ $^{\circ}\text{C}$	$K,$ Вт/м <sup>2</sup> · $^{\circ}\text{C}$
Стальной						
Алюминиевый						

11. Открыть вентиль В4 на распределителе и закрыть В2 (рис. 8). Повторить пункты 6...10. Данные занести в табл. 9.

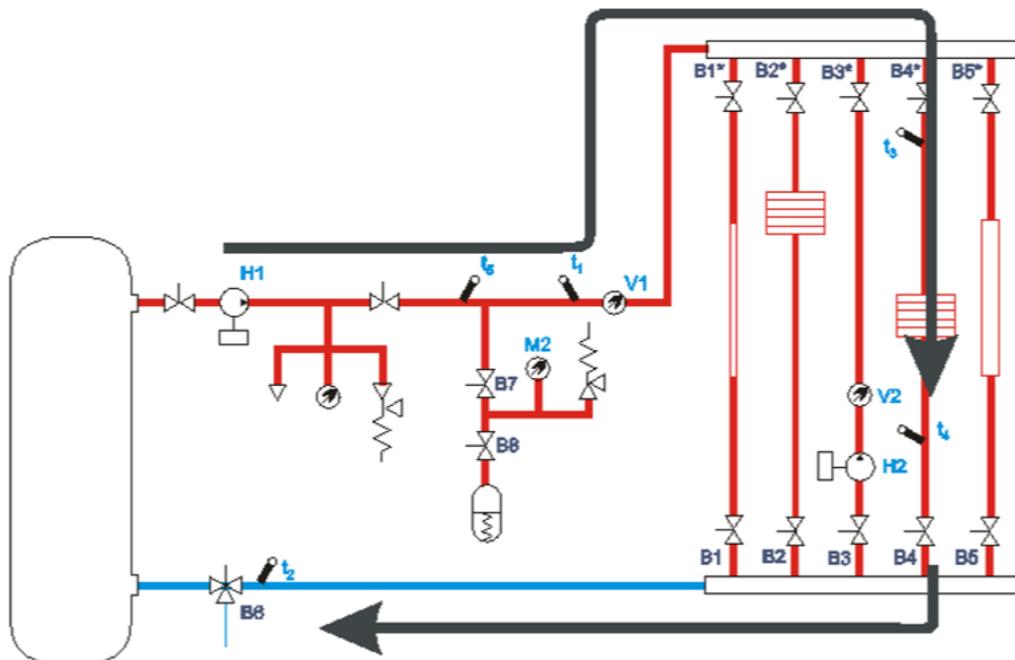


Рис. 8. Схема коммутации устройств системы теплоснабжения

12. Далее повторить пункты 6...10 при других температурах. Данные занести в табл. 9.

13. Выключить котел, выключить питание стенда.

### Обработка результатов

1) Средний температурный напор отопительного прибора:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{вх.пр}} + t_{\text{вых.пр}}}{2} - t_{\text{ок}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4.1)$$

где  $t_{\text{вх.пр}}$  – температура теплоносителя на входе в отопительный прибор,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{вых.пр}}$  – температура теплоносителя на выходе из отопительного прибора,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{ок}}$  – температура окружающего воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

2) Коэффициент теплопередачи отопительного прибора:

$$K = \frac{Q_{\text{пр}}}{F \cdot \Delta t_{\text{ср}}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}, \quad (4.2)$$

где  $F$  – площадь поверхности отопительного прибора (табл. 10),  $\text{м}^2$ .

Таблица 10  
Значения площадей поверхности алюминиевого и чугунного радиаторов

Площадь поверхности	Радиатор	
	Стальной	Алюминиевый
$F, \text{ м}^2.$	0,425	0,315

### Контрольные вопросы

1. Каким показателем характеризуется эффективность работы отопительного прибора?
2. Какой из радиаторов более эффективен и почему?

### Библиографический список

1. Иванов В.Д. Системы теплоснабжения предприятий: учебно-методическое пособие для самостоятельной подготовки и выполнения контрольных и курсовой работ / СПбГТУРП.-СПб., 2014. – 118 с.
2. Иванов В.Д., Притула В.Н., Иванов С.В. Основы теплоснабжения: учеб.пособие / СПб ГТУРП. — СПб., 2013. — 404 с.
3. СП131.13330.2012: актуализир. ред. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология / Минрегионразвития РФ. — М.: ФАУ «ФЦС», 2012. — 96 с.
4. СП 50.13330.2012: актуализир. ред. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Минрегионразвития РФ. — М.: ФАУ «ФЦС», 2012. — 70 с.

### Содержание

Лабораторная работа №1.....	3
Лабораторная работа №2.....	11
Лабораторная работа №3.....	16
Лабораторная работа №4.....	21
Библиографический список.....	24