

## Методические указания к лабораторным работам

### Лабораторная работа № 1 на тему

#### «Коэффициент теплопередачи отопительного прибора»

##### 1. Общая часть

Отопительные приборы предназначены для передачи тепла от теплоносителя в помещения, в которых необходимо обеспечить требуемый температурный режим. К приборам предъявляют теплотехнические требования передавать наибольший тепловой поток через определенную площадь внешней поверхности. Повышение плотности при передаче заданного теплового потока позволяет уменьшить площадь приборов и экономить металл, расходуемый на системы отопления зданий.

Плотность теплового потока определяется конструкцией отопительных приборов. Приборы гладкой поверхности передают тепло в помещения излучением и конвекцией. Приборы с ребристой поверхностью передают тепло в основном конвекцией, и плотность теплового потока на их внешней поверхности ниже, чем у приборов с гладкой поверхностью.

Теплоотдающая поверхность приборов изморяется как в физических квадратных метрах, так и в условных единицах площади-в квадратных метрах эквивалентной нагревательной поверхност( $\text{м}^2$ эпн или, короче, “экм”).

Приборы с гладкой поверхностью имеют площадь эквивалентной нагревательной поверхности в “экм” , больше физической площади, приборы с ребристой поверхностью – площадь в “экм” меньше площади в  $\text{м}^2$ .

Интенсивность теплового потока характеризуется коэффициентом теплопередачи прибора. Величина коэффициента теплопередачи выражается плотностью теплового потока на внешней поверхности стенок прибора, отнесенного к разности температуры теплоносителя и воздуха, разделенных стенками. Термин плотность применяется в данном случае к количеству тепла, переносимого излучением конвекцией и теплопроводностью в единицу времени через единицу площади внешней поверхности отопительного прибора.

Целью лабораторной работы является ознакомление со способом определения коэффициентов теплопередачи приборов. Задачи работы- вычисления значения коэффициента теплопередачи для конкретного отопительного прибора в заданных условиях при теплоносителе воде, сопоставления его со значением коэффициента теплопередачи по паспортным данным для оценки соотношения эквивалентной и физической площади нагревательной поверхности прибора, а также выявление на плотность теплового потока расхода воды, протекающей через прибор.

##### 2. Факторы, влияющие на коэффициент теплопередачи отопительного прибора

Основные факторы, влияющие на значения коэффициента теплопередачи эксплуатируемого отопительного прибора-это разность средней температуры теплоносителя и температуры воздуха помещения и количество воды, протекающей через отопительный прибор:

$$K_{\text{пр}} = \varphi(\Delta t_{\text{ср}}, G_{\text{ср}})$$

Увеличение расхода воды не меняет характера ее движения. Однако происходит более интенсивный разрыв пограничного слоя, что способствует увеличению теплоперехода, т.е. повышает теплообмен у поверхности от воды к внутренней стенке отопительного прибора, в

результате чего увеличивается коэффициент теплопередачи и выравнивается температурное поле на внешней поверхности.

В большей степени на величины коэффициента теплопередачи отопительных приборов влияют конструктивные факторы. Для радиаторов имеет значение число и форма колонок в радиаторной печи, глубина прибора и зазор между колонками соседних секций радиатора, высота радиатора, степень и характер оребрения радиатора, количество секций в приборе.

Для ребристых и гладких труб и конвекторов имеет значение количество рядов по вертикали, диаметр гладких труб, характер оребренности трубы, для панелей-шаг между трубами.

К внешним факторам, влияющим на коэффициент теплопередачи отопительного прибора, следует отнести место установки прибора в помещении, способ ограждения прибора, степень подвижности окружающего воздуха, качество обработки наружной поверхности прибора, цвет и качество окраски, степень загрязнения поверхности. На коэффициент теплопередачи влияет также способ присоединения радиатора и системе трубопроводов, способ удаления воздуха из отопительного прибора.

### 3. Измерительные приборы

Измерительные и другие приборы, необходимые для проведения лабораторной работы:

Ртутные термометры.

Поверхностные термометры.

Электроанемометр.

Кататермометр

Весы и разновески

Измерительные бачки

Приборы автоматического регулирования нагрева воды.

### 4. Опытная установка

Теплотехнические испытания отопительного прибора проводятся на опытной установке (рис 1)

А. Испытание отопительного прибора при теплоносителе-воде.

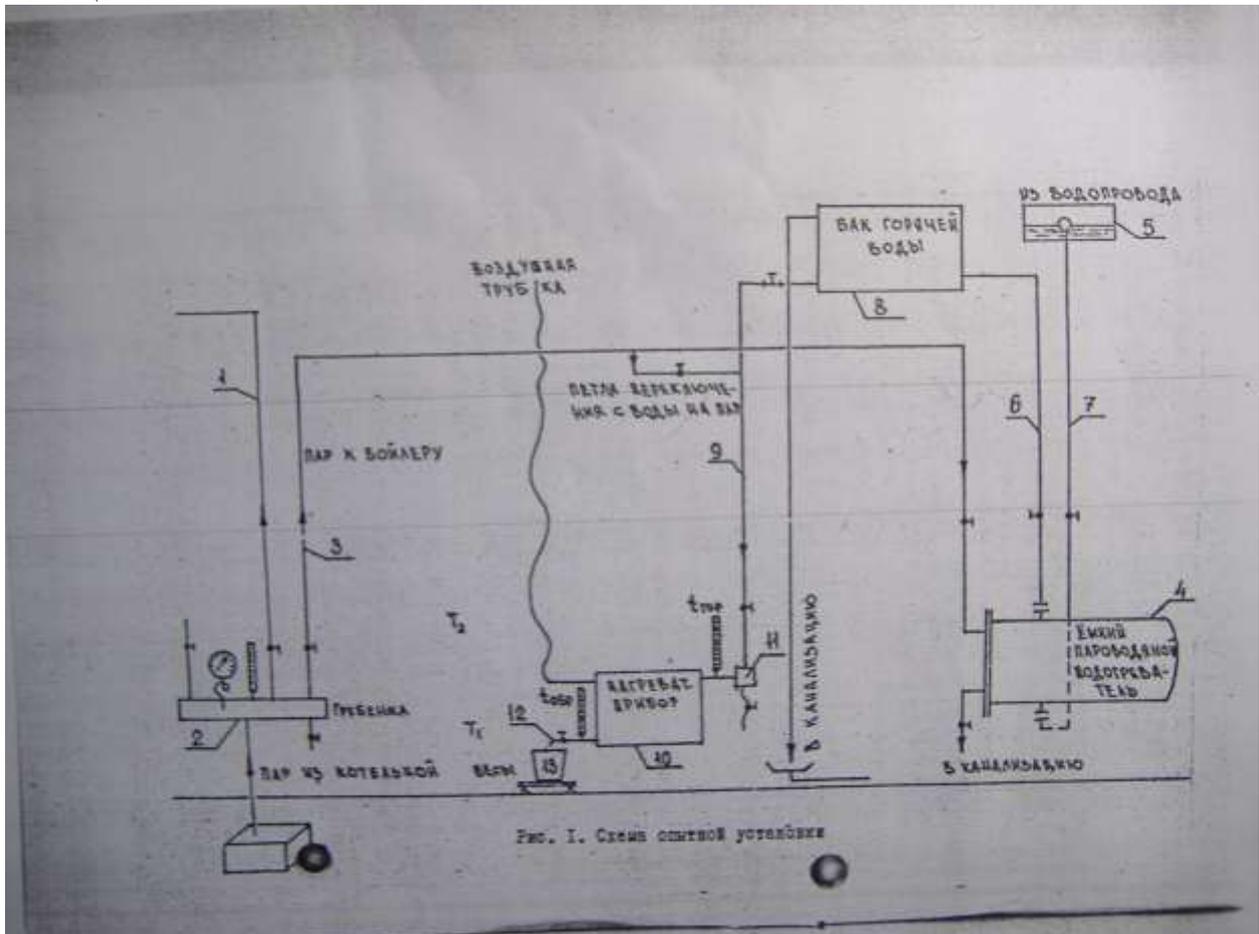
Пар низкого давления поступает по трубе 1 в распределенный коллектор 2, установленный в помещении лаборатории, из которого по паропроводу 3 направляется в теплообменный аппарат-пароводяной подогреватель 4. Нагреваемая в теплообменном аппарате вода поступает в него из водопровода через питательный бачок 5 с шаровым краном, это обеспечивает поддержание постоянного уровня в баке-аккумуляторе. Холодная вода поступает в теплообменный аппарат по трубе 6, а горячая из него в бак-аккумулятор 8, по трубе 7. Из бака-аккумулятора горячая вода по трубе 9 подводится к отопительному прибору 10. На подводящей трубе установлен кран с отводной резиновой трубкой 11. Краном устанавливается необходимый эксплуатационный режим, чем достигается постоянный расход теплоносителя и температуры. Трубка служит для удаления конденсата при испытании отопительного прибора, нагреваемого паром.

Охлажденная вода, выходящая из прибора, отводится по трубе 12 в мерный бак 13. Расход воды за время проведения опыта определяется взвешиванием мерного бака с водой (собственная масса указана на баке).

Для замера температуры воды, поступающей в отопительный прибор  $t_{вх}$ , на трубе 9 перед входом в отопительный прибор устанавливается лабораторный термометр с ценой деления  $0,1^\circ$ . Термометр помещается в специальную латунную гильзу, заполненную маслом, которая контрируется в тройнике. Гильза устанавливается так, чтобы ее дно доходило до оси трубы и было обеспечено надежное омывание гильзы водой. На трубе 12 при выходе воды из прибора помещен термометр для замера температуры -  $t_{вых}$ .

Температура воздуха помещения  $t_{в}$  измеряется в середине помещения в двух точках по вертикали ( на высоте 0,1 и 1,5 м от пола), термометры подвешиваются таким образом, чтобы

исключить излучения от нагретых поверхностей или на охлажденные поверхности в помещении.



## В. Испытание отопительного прибора при теплоносителе-паре

При испытании пар поступает в отопительный прибор непосредственно от распределительного коллектора. Конденсат, образующийся в подводящем паропроводе от распределительного коллектора до прибора, спускается по трубке 12, собирается в мерный бак в течении периода проведения опыта. Количество накопившегося конденсата определяется взвешиванием.

На распределительном коллекторе имеется манометр, по показанию которого определяется давление пара. Температура пара перед отопительным прибором и температура конденсата после прибора ( контрольный замер ) измеряются также, как и при испытании прибора, нагреваемого водой.

### 1. Теоретическая часть

Площадь нагревательной поверхности прибора  $F_{пр}$  ( $m^2$ ) определяется по формуле

$$F_{пр} = \frac{Q_{пр}}{K_{пр}(t_T - t_B)} \cdot \beta_1 \quad (2)$$

Или площадь  $F_э$  (экм)

$$F_э = \frac{Q_{пр}}{q_э} \beta_1 \quad (3)$$

Где  $Q_{пр}$  - тепловая нагрузка прибора.

$K_{пр}$  - коэффициент теплопередачи прибора.

Для чугунных или стальных колончатых радиаторов, нагреваемых водой, -

$$K_{\text{пр}} = m(t_{\text{T}} - t_{\text{В}})^n \left( \frac{G_{\text{пр}}}{17,4 F_{\text{пр}}} \right)^p \quad (4)$$

Для змеековых радиаторов, конвекторов Аккорд и Комфорт, нагреваемых водой

$$K_{\text{пр}} = m(t_{\text{T}} - t_{\text{В}})^n \left( \frac{G_{\text{пр}}}{300} \right)^p \quad (5)$$

Для конвекторов КП и Прогресс, ребристых труб, нагреваемых водой,

$$K_{\text{пр}} = m(t_{\text{T}} - t_{\text{В}})^n \left( \frac{G_{\text{пр}}}{35} \right)^p \quad (6)$$

И всех приборов, нагреваемых паром,

$$K_{\text{пр}} = m(t_{\text{T}} - t_{\text{В}})^n \quad (7)$$

Где  $t_{\text{T}}$ - температура теплоносителя в условиях лабораторной работы при воде

$$t_{\text{T}} = 0,5 (t_{\text{ВХ}} + t_{\text{ВЫХ}}) \quad (8)$$

При паре  $t_{\text{T}} = t_{\text{П}}$  (9)

$t_{\text{П}}$ -температура насыщения при давлении пара в приборе.

$\beta_1$ -поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла через наружную стену в связи с установкой отопительного прибора (может быть принят равным 1,05)

$q_3$ -плотность теплового потока на 1 экм нагревательной поверхности отопительного прибора.

$$q_3 = K_3 (t_{\text{T}} - t_{\text{В}}) \quad (10)$$

Где  $K_3$  определяется по формулам 4-7 при значениях коэффициентов  $m, n, p$ , принятых по табл. 12.8. Справочника проектировщика (М. Стройиздат, 1975).

Формулу 10 представим в виде  $q_3 = q_1 \alpha$  (11)

Где  $q_1 = m^1 (t_{\text{T}} - t_{\text{В}})$   $\mu_1$ -плотность теплового потока на 1 экм при относительном Расходе воды в приборе, равном единице

$\alpha$ - коэффициент, учитывающий влияние расхода воды в приборе на плотность теплового потока, определяемый по формулам

$$\alpha = \left( \frac{G_{\text{пр}}}{17,4 F_{\text{пр}}} \right)^p \quad \text{- для колончатых радиаторов} \quad (12)$$

$$\alpha = \left( \frac{G_{\text{пр}}}{300} \right)^p \quad \text{- для змеевидных радиаторов и конвекторов Аккорд Комфорт.} \quad (13)$$

$$\alpha = \left( \frac{G_{\text{пр}}}{35} \right)^p \quad \text{для ребристых труб и конвекторов КП и Прогресс} \quad (14)$$

Для отопительных приборов с гладкой поверхностью  $F_3 > F_{\text{пр}}$  для приборов с ребристой поверхностью  $F_3 < F_{\text{пр}}$ .

## 6. Проведение лабораторной работы

1 Отопительные приборы испытывают при стационарном режиме т е при установившихся температуре и расходе теплоносителя. Показателем установившегося состояния является колебание температуры теплоносителя в пределах ... в течении наладочного периода длительного для стальных и чугунных накопительных приборов не менее 30 мин.

- 2 Температуру воздуха в помещении замеряют термометрами в чехлах, расположенными на расстоянии 1,5 м от испытываемого отопительного прибора по одной вертикальной оси на высоте 0,1 и 1,5 м от пола. Температура воздуха в помещении должна быть от 18 до 22 грС.
- 3 Испытание отопительного периода может проводиться при двух различных теплоносителях- воде и паре.
- 4 Площадь нагревательной поверхности испытываемого отопительного прибора желательно установить в пределах 2 0,3 экм, путем соответствующего набора элементов прибора. Для прибора, не состоящего из отдельных элементов, это условие не обязательно.
- 5 Приборы для испытаний должны быть окрашены краской, изготовленной на неметаллической основе.
- 6 При испытании приборов расстояния от строительных конструкций должны отвечать требованиям главы СНиП П-33-75.
- 7 При испытании отопительных приборов, нагреваемых теплоносителем водой, проводят замеры трех температурных режимов, близким к условиям эксплуатации приборов ( например  $t_{гор}=95, 80, 55$  град.) по достижении устанавливаемого состояния.
- 8 Замеры температуры производят на подающей и отводящей теплоноситель трубах и на поверхности отопительного прибора. Последние измерения необходимы для решения вопроса о максимальной температуре поверхности прибора.
- 9 В течении опыта длительностью 15мм измеряется количество теплоносителя и его температура на выходе и входе из прибора, температура воздуха помещения через каждые 5 мин.
- 10 Опытные данные записываются в бланке по форме, приведенной в приложении 1.

## 1. Обработка опытных данных

Теплоноситель вода

Количество отданного прибором тепла  $Q_{пр}$  кДж(ккал), определяется по количеству воды  $G_{пр}$ (кг) , прошедший через прибор, и перепаду температуры воды на входе и выходе

$$Q_{пр}=G_{пр} \cdot c \left( t_{вх}^{ср} - t_{вых}^{ср} \right) \frac{60}{z} \quad (15)$$

Где С-массовая теплоемкость воды.

$$\left[ 4,187 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}} \text{ или } 1 \text{ ккал}/(\text{кг Сград}) \right]$$

$t_{вх}^{ср}$  и  $t_{вых}^{ср}$  - среднее за время одного опыта температуры воды, входящий в прибор и выходящий из него

$Z_{ср}$  - длительность одного опыта, мин.

$t_{в}$  - средняя температура воздуха в помещении.

По известной площади нагревательной поверхности прибора  $F_{пр}$  м<sup>2</sup> коэффициент теплопередачи  $K_{пр}$  определяется по преобразованной формуле 2.

$$K_{пр} = \frac{Q_{пр}}{1,05 F_{пр} (t_{г} - t_{в})}$$

К показаниям ртутных термометров, установленных для измерения температуры теплоносителя, должны быть введены поправки, учитывающие влияние воздушной среды на выступающую из гильзы часть ртутного столбика. Поправка определяется по формуле.

$$t_{исп} = t_{стси} + Ah(t_{стси} - t_{выст})$$

Где  $t_{\text{исп}}$  – истинная температура

$t_{\text{стси}}$  - температура по термометру

$h$ - выступающая часть столбика ртути ( количество делений в градусах шкалы)

$t_{\text{выст}}$ - температура воздуха в зоне термометра

$A$  – коэффициент, зависящий от свойств стекла

$$A = \frac{1}{6300}$$

Результаты расчетов заносятся в бланк ( приложении 1)

Аналитическую зависимость коэффициента теплопередачи отопительного прибора от температурного напора  $K_{\text{пр}} = \varphi(\Delta t_{\text{ср}})$  выявляют при обработке опытных данных в системе координат  $K_{\text{пр}} - \Delta t_{\text{ср}}$  (рис 2)

При постоянном расходе теплоносителя  $G$  аналитическая зависимость коэффициента теплопередачи от разности средней температуры теплоносителя и температуры воздуха помещения может быть выражена формулой

$$K = a + b \Delta t_{\text{ср}} = a + b (t_{\text{Т}} - t_{\text{В}}) \quad (17)$$

В этой формуле постоянное слагаемое  $a$  характеризует конструкцию прибора, а коэффициент  $b$ , показывающий тангенс угла наклона прямой к оси  $\Delta t_{\text{ср}}$ , характеризует приращение коэффициента теплопередачи  $K$  при изменении значения  $\Delta t_{\text{ср}}$ .

При различных расходах теплоносителя на графике в системе координат  $K - \Delta t_{\text{ср}}$  получается пучок прямых, каждая из которых соответствует определенному расходу.

Теплоноситель пар.

При теплоносителе паре измеряют массовое количество выходящего из испытываемого прибора конденсата  $G_{\text{к}}$  (кг) и его температуру.

Количество тепла, отданного в помещение прибором, определяется по формуле

$$Q_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{к}} q_{\text{к}} 60}{z} \quad (19)$$

Где  $G_{\text{к}}$ - масса конденсата, вышедшего за время опыта из прибора кг.

$q_{\text{к}}$ - удельное тепло конденсации, кДж/кг(ккал/кг)

$z$ - длительность одного опыта, мин

Коэффициент теплопередачи прибора вычисляется по преобразованной формуле (2)

$$K_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{1,05 F_{\text{пр}} (t_{\text{Т}} - t_{\text{В}})} \quad (20)$$

## 8. Дополнительные указания по обработке опытных данных

1 Определение средней температуры воды, входящей в отопительный прибор и выходящий из него,

$$t_{\text{вх}}^{\text{ср}} = \frac{E t_{\text{ср}}}{N}$$

Где  $N$ - число измерений за время проведения опыта.

2 Определение средней температуры воды, выходящей из отопительного прибора,

$$t_{\text{вых}}^{\text{ср}} = \frac{E t_{\text{вых}}}{N}$$

3 Определение средней температуры воды в приборе за время проведения опыта.

$$t_{\text{Т}}^{\text{ср}} = \frac{t_{\text{ВХ}}^{\text{ср}} + t_{\text{ВЫХ}}^{\text{ср}}}{2}$$

4 Определение средней температуры воздуха на расстоянии 0,1м от пола в точке 1

$$t_{\text{В1}}^{\text{ср}} = \frac{E t_{\text{В1}}}{N}$$

5 Определение средней температуры воздуха в зоне 1,5м от пола в точке 2

$$t_{\text{В2}}^{\text{ср}} = \frac{E t_{\text{В2}}}{N}$$

6 Определение средней температуры воздуха помещения в течение одного опыта

$$t_{\text{В}}^{\text{ср}} = \frac{t_{\text{В1}}^{\text{ср}} + t_{\text{В2}}^{\text{ср}}}{2}$$

7 Определение среднего перепада температуры теплоносителя воды в отопительном приборе в течение одного опыта

$$\Delta t_{\text{ВОВ1}} = t_{\text{ВХ}}^{\text{ср}} - t_{\text{ВЫХ}}^{\text{ср}}$$

8 Определение разности средней температуры теплоносителя в отопительном приборе и средней температуры воздуха в помещении

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{Т}}^{\text{ср}} - t_{\text{В}}^{\text{ср}}$$

9 Определение количества теплоносителя, прошедшего через отопительный прибор в течение часа ( если опыт длился Z минут)

$$G_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{оп}} 60}{Z}$$

Где  $G_{\text{пр}}$ - количество теплоносителя, прошедшего через отопительный прибор в течении одного опыта (за Z мин), кг/ч.

10 Количество тепла, отданное теплоносителем (прибором), определяется при теплоносителе воде по формуле (15), а при теплоносителе паре по формуле (19)

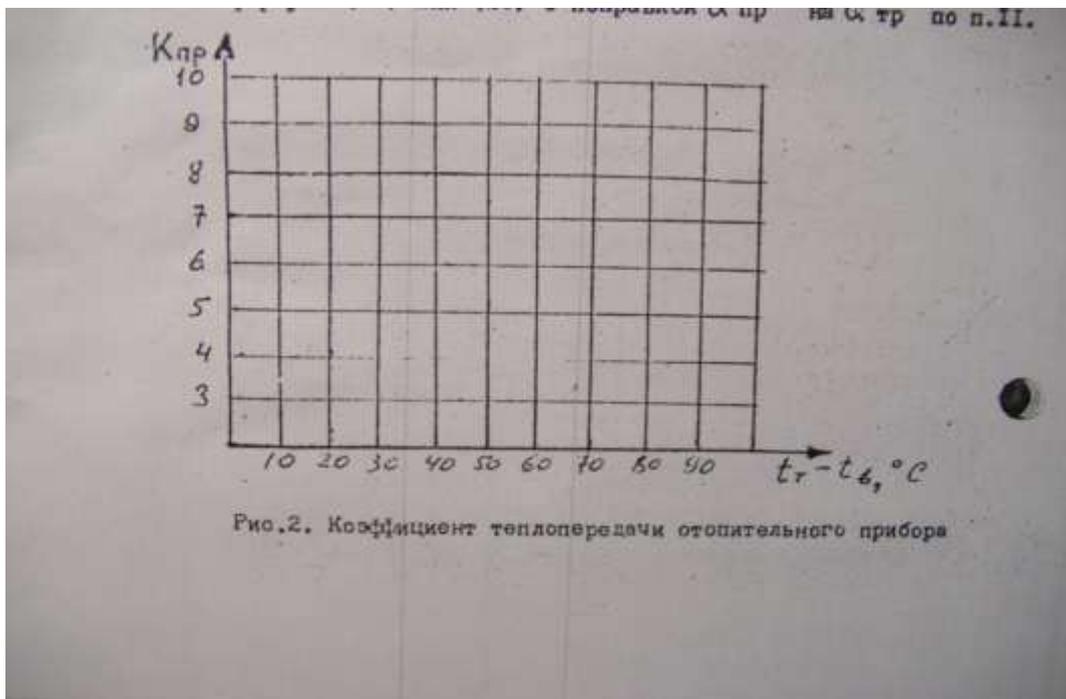
11 Количество теплоты, отданного присоединительными трубами от места установки термометров до отопительного прибора,

$$Q_{\text{тр}} = E q_{1\text{м}}$$

Где  $q_{1\text{м}}$  – теплоотдача 1м трубы (принимается по табл. 46.22 вышеупомянутого справочника проектировщика)

l- длина труб, м.

12 Коэффициент теплоотдачи отопительного прибора определяется по формуле (16) или (20) с поправкой  $Q_{\text{пр}}$  на  $Q_{\text{тр}}$  по п. 11.



Для проведения трехрежимных испытаний отопительных приборов каждой группе студентов (2-3 человека) необходима параллельная установка отопительных приборов 4х видов. В случае невозможности проведения одновременных испытаний 4х приборов рекомендуется после выполнения всего цикла работ по теме с различными группами студентов проводить специальные заседания кружка СНО для совместного обсуждения испытания отопительных приборов.