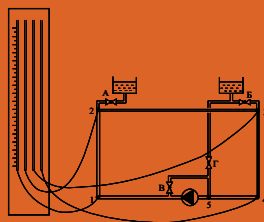
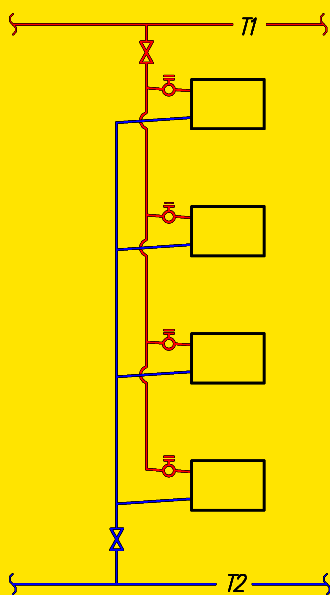
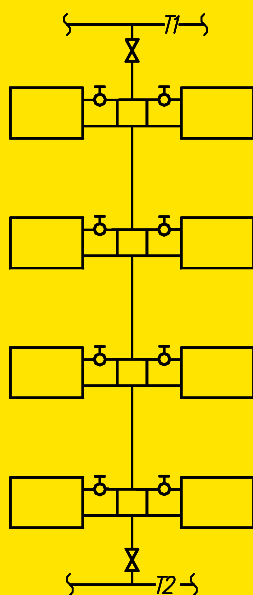


Е.В. Чиркова, А.Ю. Алмаев

ОТОПЛЕНИЕ

Лабораторный практикум



УДК 697.1(075.8)
ББК 38.762.1я73

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры «Отопление и вентиляция»
Нижегородского государственного архитектурно-строительного
университета *М.В. Бодров*;

канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение,
вентиляция, водоснабжение и водоотведение» Тольяттинского
государственного университета *М.Н. Кучеренко*.

Чиркова, Е.В. Отопление : лабораторный практикум / Е.В. Чиркова,
А.Ю. Алмаев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

Лабораторный практикум включает методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Отопление 1». Для каждой работы приведены описание экспериментальной установки, методика проведения эксперимента и обработки опытных данных.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция» всех форм обучения высшего профессионального образования.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2019

Редактор *Т.М. Воропанова*
Технический редактор *Т.Г. Ищенко*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление, компьютерное
проектирование: *Г.В. Карасева, И.В. Карасев*

Дата подписания к использованию 09.01.2019.

Объем издания 1 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-03-18.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Лабораторная работа 1. Определение коэффициента температурного удлинения трубопровода системы водяного отопления	5
Лабораторная работа 2. Определение коэффициента затекания воды в отопительный прибор	11
Лабораторная работа 3. Определение коэффициента теплопередачи отопительного прибора	16
Лабораторная работа 4. Исследование динамики давления в насосной системе водяного отопления с открытым расширительным баком	22
Рекомендуемая литература	30

Лабораторная работа 1

Определение коэффициента температурного удлинения трубопровода системы водяного отопления

Цель работы

Определить величину коэффициента температурного удлинения трубопровода системы водяного отопления; сравнить полученное значение со справочными данными.

Температурное удлинение трубопроводов

При проектировании инженерных систем, эксплуатация которых проходит при изменяющейся температуре теплоносителя (выше 35 °С), необходимо учитывать изменение длины трубопроводов по сравнению с их длиной при монтаже.

Определить, на сколько изменится длина трубы при нагревании, можно по формуле

$$\Delta l = \alpha l (t_T - t_H), \quad (1)$$

где Δl – температурное удлинение нагреваемой трубы, м; α – коэффициент температурного удлинения материала трубопровода, 1/°С; l – длина теплопровода, м; t_T – температура теплопровода, близкая к температуре теплоносителя, °С; t_H – температура окружающего воздуха при монтаже, °С.

Коэффициенты теплового расширения труб из различных материалов приведены в справочной литературе.

Для компенсации удлинения труб применяются специальные устройства – компенсаторы, а также используются углы поворотов трубопроводов (самокомпенсация).

Если при монтаже труб не учесть их температурное удлинение, то в результате возникновения больших усилий могут быть разрушены стены и перекрытия, возможно возникновение шумов в связи со смещением трубы относительно проектного положения и трения о гильзу в перекрытии (характерно для труб горячего водоснабжения).

При использовании полипропиленовых труб в местах пайки могут образоваться трещины, могут быть сорваны крепежные клипсы,

а на прямом отрезке магистрали возможно синусоидальное деформирование труб.

В случае применения самокомпенсации трубопроводов необходимо правильно располагать подвижные и неподвижные опоры. Длина участка трубопровода, закрепленного между неподвижными опорами, определяется расчетом в зависимости от материала и диаметра труб.

Схемы работы Г-образного, П-образного и О-образного компенсаторов приведены на рис. 1–3.

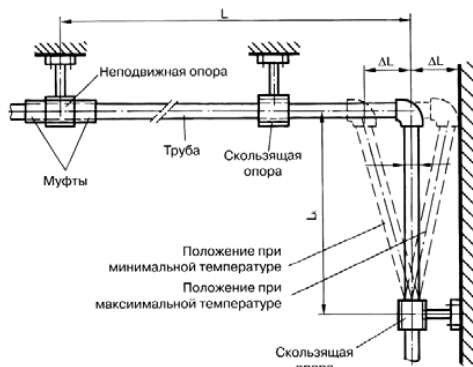


Рис. 1. Схема работы Г-образного компенсатора

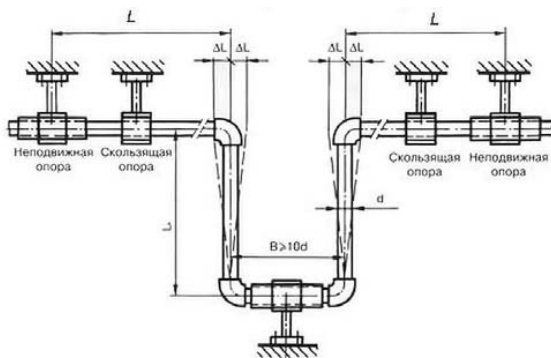


Рис. 2. Схема работы П-образного компенсатора

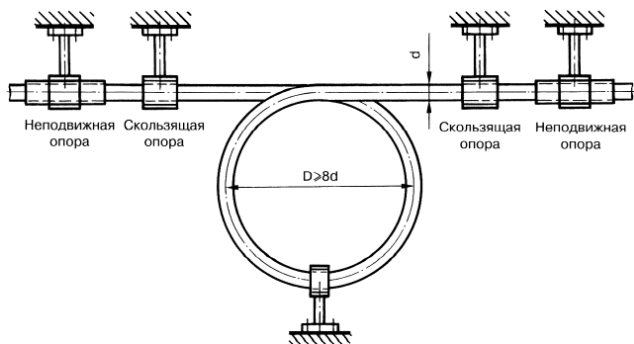


Рис. 3. Схема работы О-образного компенсатора

В качестве специальных устройств для компенсации температурных удлинений трубопроводов систем водяного отопления используются сильфонные компенсаторы (см. рис. 4).

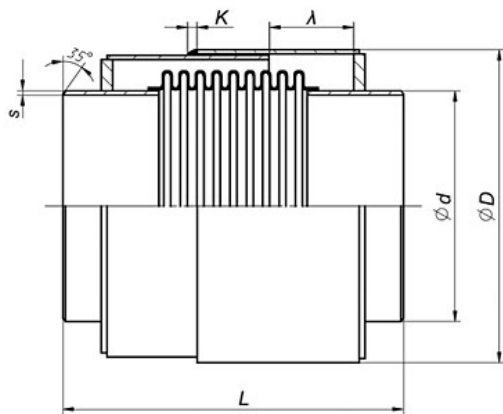


Рис. 4. Схема сильфонного компенсатора

Линейным расширением трубопроводов систем холодного водоснабжения можно пренебречь. Также не учитывается линейное расширение при прокладке полимерных труб в бетоне, т. к. возникающие при этом усилия сжатия и расширения воспринимаются самим бетоном.

Описание экспериментальной установки

Работа выполняется на лабораторном стенде, фрагмент которого представлен на рис. 5.

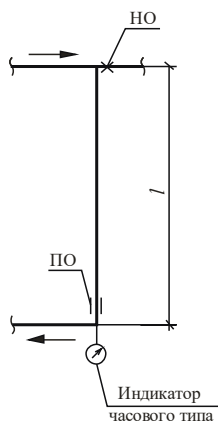


Рис. 5. Схема установки для определения коэффициента температурного удлинения трубопровода системы водяного отопления

Опытная установка включает участок трубопровода, выполненного из армированного полипропилена и закрепленного между неподвижной опорой НО и подвижной опорой ПО. Таким образом, при изменении температуры теплоносителя удлинение теплопровода длиной l может происходить только в одном направлении (сверху вниз). Эта деформация трубы фиксируется индикатором часового типа. Нагрев теплоносителя осуществляется в электрическом котле. Циркуляция воды в системе создается посредством работы циркуляционного насоса. Температура воды в подающем и обратном трубопроводах системы регистрируется тепловычислителем.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Определить начальную длину исследуемого участка l .
2. Включить тепловычислитель и снять с него начальные показания температуры теплоносителя $t_{н}$ (должны быть равны температуре воздуха в помещении).
3. Установить шкалу индикатора часового типа на нулевую отметку.
4. Включить циркуляционный насос и электродкотел.

- При достижении теплоносителем температуры величины t_T (задается преподавателем) и выхода системы в стационарный режим по показаниям индикатора определить изменение длины трубопровода Δl .
- Результаты измерений внести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты наблюдений и вычислений

№ опыта	$t_n, ^\circ\text{C}$	$t_T, ^\circ\text{C}$	$l_n, \text{мм}$	$l_k, \text{мм}$	$\Delta l, \text{мм}$	$l, \text{мм}$	$\alpha, 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_{\text{сп}}, 1/^\circ\text{C}$
1	...	30						
2	30	35						
3	35	40						
4	40	45						
5	45	50						
6	50	55						
7	55	60						
8	60	65						
9	65	70						
10	70	75						
11	75	80						

Обработка результатов эксперимента

- Определить разницу температур t_T и t_n .
- Определить удлинение трубопровода Δl , мм:

$$\Delta l = l_k - l_n,$$
 где l_k и l_n – конечные и начальные показания индикатора соответственно, в мм.
- Исходя из формулы (1) определить величину коэффициента температурного удлинения трубопровода α для данного опыта.
- Определить среднюю величину коэффициента температурного удлинения трубопровода $\alpha_{\text{сп}}$ по результатам нескольких опытов.
- Сравнить полученное значение $\alpha_{\text{сп}}$ для армированного полипропилена со справочными данными.
- Построить зависимость $\Delta l = f(\Delta t)$. Объяснить ее характер.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- схему и описание экспериментальной установки;
- методику проведения эксперимента и обработки опытных данных;
- определение коэффициента температурного удлинения армированного полипропиленового трубопровода;
- графическую зависимость $\Delta l = f(\Delta t)$;
- анализ результатов работы;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Почему происходит тепловое расширение тел?
2. Физический смысл коэффициента температурного удлинения.
3. Зависит ли коэффициент температурного удлинения от диаметра трубы?
4. Что больше – коэффициент температурного удлинения трубы из полипропилена или коэффициент температурного удлинения трубы из стали одинакового диаметра?
5. От чего зависит коэффициент линейного температурного расширения?
6. Как компенсируют температурные удлинения в системах водяного отопления?
7. Какая единица измерения у коэффициента линейного температурного расширения материала?
8. При проектировании каких инженерных систем необходимо учитывать коэффициент температурного расширения? Зачем?
9. Зависит ли направление удлинения трубопровода от направления течения жидкости?

Лабораторная работа 2

Определение коэффициента затекания воды в отопительный прибор

Цель работы

Определить коэффициент затекания воды в отопительный прибор и теплоотдачу стояка однетрубной системы отопления.

Коэффициент затекания воды в отопительный прибор

Коэффициент затекания $\alpha_{\text{пр}}$ представляет собой отношение количества теплоносителя, поступающего в отопительный прибор $G_{\text{пр}}$, к общему расходу воды в однетрубном стояке $G_{\text{ст}}$:

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{ст}}}. \quad (2)$$

Величина коэффициента затекания воды зависит от:

- *направления движения и расхода воды в стояке*: при движении сверху вниз возрастает по мере сокращения расхода; при движении снизу вверх уменьшается по мере сокращения расхода;
- *расположения замыкающего участка*: при смещении его от оси стояка $\alpha_{\text{пр}}$ увеличивается;
- *комбинации диаметров стояка, подводок к отопительному прибору и замыкающего участка*: чем меньше диаметр замыкающего участка и чем больше диаметр подводок, тем $\alpha_{\text{пр}}$ больше.

Чем выше значение коэффициента затекания воды в отопительный прибор, тем выше будет температура воды в приборе и меньше его площадь, а следовательно, тем экономичнее будет система отопления.

Описание экспериментальной установки

Фрагмент схемы лабораторной установки для определения коэффициента затекания воды в отопительный прибор изображен на рис. 6. На схеме изображен стандартный элемент стояка однетрубной системы отопления со смещенным замыкающим участком и отопительным прибором. Схема подключения отопительного прибора – «сверху вниз».

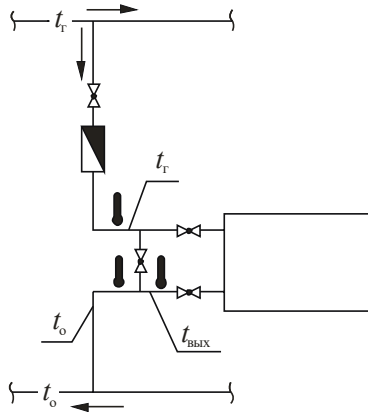


Рис. 6. Схема установки для определения коэффициента затекания воды в отопительный прибор

На подводках к отопительному прибору установлены показывающие термометры: для измерения температуры воды на входе в отопительный прибор t_r , на выходе из отопительного прибора $t_{\text{вых}}$ и температуры смеси двух потоков воды – из отопительного прибора и из замыкающего участка t_o .

Нагрев теплоносителя осуществляется в электрическом котле. Циркуляция воды в системе создается посредством работы циркуляционного насоса.

Расход теплоносителя $G_{\text{ст}}$ измеряется при помощи счетчика воды, установленного на стояке, по разнице показаний прибора в начале и в конце наблюдений.

Для данной экспериментальной установки (один отопительный прибор) теплопроизводительность отопительного прибора и стояка принимаются равными и составляют:

$$Q_{\text{ст}} = cG_{\text{ст}}(t_r - t_o); \quad (3)$$

$$Q_{\text{пр}} = cG_{\text{пр}}(t_r - t_{\text{вых}}). \quad (4)$$

Приравнявая правые части уравнений (3) и (4), получим:

$$cG_{\text{ст}}(t_r - t_o) = cG_{\text{пр}}(t_r - t_{\text{вых}});$$

$$G_{\text{ст}}(t_r - t_o) = G_{\text{пр}}(t_r - t_{\text{вых}}).$$

Учитывая формулу (2), получим выражение для определения коэффициента затекания воды в отопительный прибор:

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{ст}}} = \frac{(t_{\text{г}} - t_{\text{о}})}{(t_{\text{г}} - t_{\text{вых}})}. \quad (5)$$

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Открыть кран на замыкающем участке.
2. Включить циркуляционный насос и электрокотел.
3. После выхода системы отопления в стационарный тепловой режим при температуре в подающем трубопроводе, заданной пре-подавателем, выполнить следующие замеры:
 - снять начальные и конечные показания с водосчетчика с интервалом времени 5 минут;
 - замерить температуры теплоносителя $t_{\text{г}}$, $t_{\text{о}}$, $t_{\text{вых}}$.
4. Эксперимент проводить при разных значениях расхода теплоносителя через радиаторный узел; регулировку осуществлять при помощи крана на стояке.
5. Результаты измерений внести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Результаты измерений						Результаты вычислений					
	$t_{\text{г}}$, °C	$t_{\text{о}}$, °C	$t_{\text{вых}}$, °C	V_1 , М ³	V_2 , М ³	z , ч	$L_{\text{ст}}$, М ³ /ч	$G_{\text{ст}}$, кг/ч	$\alpha_{\text{пр}}$	$G_{\text{пр}}$, кг/ч	$Q_{\text{ст}}$, Вт	$Q_{\text{пр}}$, Вт
	40											
	50											
	60											
	70											
	80											

Обработка результатов эксперимента

1. По формуле (5) определить величину коэффициента затекания воды в отопительный прибор $\alpha_{\text{пр}}$.
2. Определить объемный расход теплоносителя $L_{\text{ст}}$, м³/ч, по формуле

$$L_{\text{ст}} = \frac{V_2 - V_1}{z}. \quad (6)$$

3. Определить массовый расход воды в стояке $G_{\text{ст}}$, кг/ч, по формуле

$$G_{\text{ст}} = \rho L_{\text{ст}}. \quad (7)$$

4. Определить расход воды в отопительном приборе $G_{\text{пр}}$, кг/ч

$$G_{\text{пр}} = \alpha_{\text{пр}} G_{\text{ст}}.$$

5. Определить теплопроизводительность отопительного прибора и стояка по формулам (3) и (4).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- схему и описание экспериментальной установки;
- методику проведения эксперимента и обработки опытных данных;
- определение коэффициента затекания воды в отопительный прибор;
- анализ результатов работы;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается физический смысл коэффициента затекания воды в отопительный прибор $\alpha_{\text{пр}}$?
2. Какие факторы оказывают влияние на величину коэффициента затекания $\alpha_{\text{пр}}$?
3. Укажите диапазон изменения величины коэффициента затекания воды в отопительный прибор.

4. Почему при движении воды в отопительном приборе по схеме «снизу вверх» вводится ограничение на минимальный расход теплоносителя в стояке?
5. Почему коэффициент затекания $\alpha_{\text{пр}}$ при движении воды через отопительный прибор по схеме «сверху вниз» выше, чем при движении по схеме «снизу вверх» при прочих равных условиях?
6. Почему при смещении замыкающего участка от оси стояка увеличивается коэффициент затекания воды в отопительный прибор?
7. Какая система отопления экономичней: с наибольшим или наименьшим коэффициентом затекания воды в отопительный прибор? Почему?
8. Зависит ли коэффициент затекания воды в отопительный прибор $\alpha_{\text{пр}}$ от этажа, на котором прибор установлен, при условии, что все радиаторные узлы стояка имеют одинаковую конфигурацию? Почему?
9. Надо ли определять коэффициент затекания воды в отопительный прибор двухтрубной системы отопления? Почему?

Лабораторная работа 3

Определение коэффициента теплопередачи отопительного прибора

Цель работы

Определить коэффициент теплопередачи отопительного прибора и его теплоотдачу.

Коэффициент теплопередачи отопительного прибора

Коэффициент теплопередачи $k_{пр}$, Вт/(м²·°C), характеризует интенсивность передачи теплоты от теплоносителя воздуху помещения.

Коэффициент теплопередачи $k_{пр}$ выражает собой количество теплоты в Вт, передаваемое через 1 м² поверхности прибора в 1 ч при разности в 1° между температурами теплоносителя и воздуха помещения.

Процесс теплопереноса через стенку отопительного прибора состоит из трех этапов:

- 1) теплоотдача от теплоносителя внутренней стенке – конвекцией и теплопроводностью;
- 2) теплопроводность через стенку;
- 3) теплоотдача от внешней стенки воздуху помещения – конвекцией, радиацией и теплопроводностью.

Величина коэффициента теплопередачи прибора $k_{пр}$ обратно пропорциональна величине сопротивления теплопередаче стенки отопительного прибора $R_{пр}$, м²·°C/Вт:

$$k_{пр} = \frac{1}{R_{пр}} = \frac{1}{R_{в} + R_{ст} + R_{н}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в}} \frac{F_{пр}}{F_{в}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} \frac{F_{пр}}{F_{в}} + \frac{1}{\alpha_{н}}},$$

где $R_{в}$ – сопротивление теплообмену на внутренней поверхности стенки прибора, м²·°C/Вт; $R_{ст}$ – термическое сопротивление стенки, м²·°C/Вт; $R_{н}$ – сопротивление теплообмену на внешней поверхности прибора, м²·°C/Вт; $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стенки прибора, Вт/(м²·°C); $\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи внешней поверхности стенки прибора, Вт/(м²·°C); $F_{пр}$ – площадь внешней поверхности прибора, м²; $F_{в}$ – площадь внутренней поверхности прибора, м².

Коэффициент конвективного теплообмена в слое воздуха α_n значительно меньше, чем в слое воды α_b . Поэтому сопротивление внешнему теплообмену R_n для отопительного прибора сравнительно велико, а значение величины R_b незначительно. Термическое сопротивление стенки $R_{ст}$ по сравнению с величиной R_n также пренебрежимо мало. Практически можно считать, что коэффициент теплопередачи отопительного прибора численно равен коэффициенту теплоотдачи внешней поверхности стенки прибора $k_{np} \approx \alpha_n$. Следовательно, для увеличения теплового потока необходимо развивать внешнюю поверхность отопительного прибора (оробрение). Однако при этом уменьшается коэффициент теплопередачи.

Величина коэффициента теплопередачи отопительного прибора зависит от целого ряда факторов. *Основными* из них являются:

- 1) конструкция отопительного прибора;
- 2) температурный напор прибора:

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_b,$$

где t_{cp} — средняя температура теплоносителя в отопительном приборе, °С; t_b — температура воздуха в помещении, °С.

Эмпирическая зависимость величины коэффициента теплопередачи отопительного прибора от температурного напора выглядит следующим образом:

$$k_{np} = m \Delta t_{cp}^n \bar{G}^p,$$

где m , n , p — экспериментальные числовые показатели, выражающие влияние конструктивных и гидравлических особенностей прибора на его коэффициент теплопередачи; \bar{G} — относительный расход воды в конкретном отопительном приборе:

$$\bar{G} = \frac{G_{np}}{360}.$$

К *второстепенным* факторам относятся:

- 1) расход воды в приборе G_{np} ;
- 2) схема присоединения отопительного прибора к теплопроводам («сверху вниз», «снизу вверх»);
- 3) скорость движения воздуха у внешней поверхности прибора;
- 4) конструкция ограждения прибора;
- 5) значение атмосферного давления по сравнению с номинальным (1013,3 Па);

6) окраска прибора;

7) загрязненность внутренней поверхности.

Практически определить коэффициент теплопередачи отопительного прибора можно совместным решением уравнения теплового баланса

$$Q = 0,278cG_{\text{пр}}(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) \quad (8)$$

и уравнения теплопередачи:

$$Q = k_{\text{пр}}F_{\text{пр}}(t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}), \quad (9)$$

где c – удельная массовая теплоемкость воды, равная $c = 4,187$ кДж/(кг · °С); $t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ – температура теплоносителя на входе в отопительный прибор и выходе из него соответственно, °С.

Приравняв правые части уравнений (8) и (9), получим:

$$0,278cG_{\text{пр}}(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) = k_{\text{пр}}F_{\text{пр}}(t_{\text{ср}} - t_{\text{в}});$$

$$k_{\text{пр}} = \frac{0,278cG_{\text{пр}}(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})}{F_{\text{пр}}(t_{\text{ср}} - t_{\text{в}})}. \quad (10)$$

Описание экспериментальной установки

Фрагмент схемы экспериментальной установки для определения коэффициента теплопередачи отопительного прибора приведен на рис. 7.

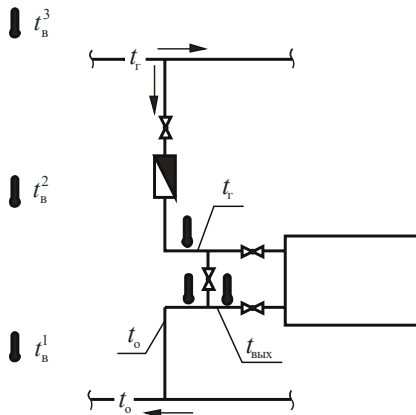


Рис. 7. Схема установки для определения коэффициента теплопередачи отопительного прибора

Для определения коэффициента теплопередачи отопительного прибора используется та же лабораторная установка, что и в лабораторной работе 2. Ее описание приведено выше.

Для измерения температуры воздуха в середине помещения на высоте 0,5, 1,5 и 2,5 м от пола расположены показывающие термометры.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Закрыть кран на замыкающем участке.
2. Включить циркуляционный насос и электродкотел.
3. Измерить площадь поверхности отопительного прибора $F_{\text{пр}}, \text{м}^2$.
4. После выхода системы отопления в стационарный тепловой режим при температуре в подающем трубопроводе, заданной преподавателем, выполнить следующие замеры:
 - снять начальные и конечные показания с водосчетчика с интервалом времени 5 минут;
 - замерить температуру теплоносителя $t_{\text{г}}, t_{\text{вых}}$;
 - замерить температуры воздуха $t_{\text{в}}^1, t_{\text{в}}^2, t_{\text{в}}^3$.
5. Эксперимент проводить при разных температурных режимах.
6. Результаты измерений внести в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения коэффициента теплопередачи отопительного прибора

№ опыта	Результаты измерений										Результаты вычислений		
	$t_{\text{г}}, \text{°C}$	$t_{\text{вых}}, \text{°C}$	$t_{\text{в}}^1, \text{°C}$	$t_{\text{в}}^2, \text{°C}$	$t_{\text{в}}^3, \text{°C}$	$t_{\text{в}}^{\text{ср}}, \text{°C}$	$V_1, \text{м}^3$	$V_2, \text{м}^3$	$z, \text{ч}$	$F_{\text{пр}}, \text{м}^2$	$L_{\text{пр}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$G_{\text{пр}}, \text{кг}/\text{ч}$	$k_{\text{пр}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$
1	40												
2	50												
3	60												
4	70												
5	80												

Обработка результатов эксперимента

1. Определить среднюю температуру воздуха в помещении по формуле

$$t_{\text{в}}^{\text{ср}} = \frac{t_{\text{в}}^1 + t_{\text{в}}^2 + t_{\text{в}}^3}{3}.$$

2. Определить значения $L_{\text{пр}}$ и $G_{\text{пр}}$ по формулам (6) и (7).
3. Определить среднюю температуру теплоносителя в отопительном приборе по формуле

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{г}} + t_{\text{вых}}).$$

4. По формуле (10) вычислить величину коэффициента теплопередачи отопительного прибора $k_{\text{пр}}$.
5. По результатам эксперимента построить зависимость $k_{\text{пр}} = f(\Delta t_{\text{ср}})$.
Объяснить ее характер.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- схему и описание экспериментальной установки;
- методику проведения эксперимента и обработки опытных данных;
- определение коэффициента теплопередачи алюминиевого радиатора;
- графическую зависимость $k_{\text{пр}} = f(\Delta t_{\text{ср}})$;
- анализ результатов работы;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент теплопередачи отопительного прибора, какова его физическая сущность и размерность?
2. Назовите основные факторы, влияющие на коэффициент теплопередачи отопительного прибора.
3. Назовите второстепенные факторы, влияющие на коэффициент теплопередачи отопительного прибора.

4. Почему у радиатора, установленного у внутренней стены, коэффициент теплопередачи выше, чем у установленного вдоль наружной стены?
5. Почему состав и цвет красителей влияют на теплоотдачу радиаторов, а не конвекторов?
6. Почему при подборе радиаторов необходимо вводить поправочный коэффициент, учитывающий число секций в приборе?
7. Чем объясняется уменьшение коэффициента теплопередачи при увеличении диаметра и числа параллельных труб гладкотрубного регистра?
8. Почему у ребристых труб коэффициент теплопередачи ниже по сравнению с гладкими?
9. Каким образом расход теплоносителя влияет на величину коэффициента теплопередачи отопительного прибора?

Лабораторная работа 4

Исследование динамики давления в насосной системе водяного отопления с открытым расширительным баком

Цель работы

Рассмотреть изменение гидростатического давления в различных точках замкнутого циркуляционного кольца системы водяного отопления при разных схемах присоединения открытого расширительного бака.

Динамика давления в системе водяного отопления

В течение отопительного периода гидравлическое давление в замкнутых циркуляционных кольцах системы отопления постоянно меняется. Это происходит из-за постоянного изменения температуры теплоносителя, а следовательно, и его плотности, а также из-за изменения циркуляционного давления.

Изменение гидростатического давления в системах водяного отопления рассматривают с целью выявления мест со слишком низким или слишком высоким давлением. Снижение давления ниже атмосферного возможно в верхних точках системы отопления. Данное обстоятельство чревато подсосом воздуха в систему через имеющиеся неплотности (стыковые соединения трубопроводов, присоединение арматуры, оборудования) и нарушением циркуляции теплоносителя. Чрезмерно высокое гидростатическое давление может возникнуть в нижних точках системы отопления. В этом случае может произойти разрушение отдельных элементов системы, например чугунных радиаторов.

Значение гидравлического давления в любой точке потока жидкости определяется по уравнению Бернулли:

$$\rho \frac{\omega^2}{2} + \rho gh + p = \text{const}, \quad (11)$$

где $\rho \frac{\omega^2}{2}$ – гидродинамическое давление жидкости, Па; ρgh – гидростатическое давление жидкости, Па; p – статическое давление жидкости (давление в потоке жидкости на внутреннюю поверхность

трубы, вызванное внешним возмущением – атмосферным давлением, насосным давлением), Па.

Величина гидростатического давления в формуле (11) намного превышает величину гидродинамического давления. Поэтому при изучении динамики давления в системах водяного отопления принято учитывать изменение только гидростатического давления ($\rho gh + p$).

Изменение давления в замкнутом контуре системы отопления удобно изображать в виде эпюр гидростатического давления. На рис. 8 приведена эпюра гидростатического давления в насосной системе водяного отопления.

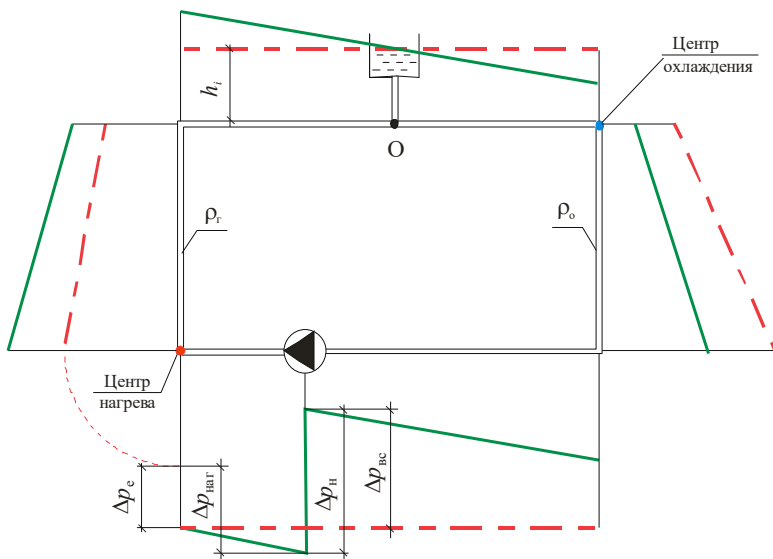


Рис. 8. Эпюра гидростатического давления в насосной системе водяного отопления

Эпюра гидростатического давления строится в следующей последовательности:

1) откладывается величина избыточного гидростатического давления в системе отопления в статическом режиме (с нагреваемой водой при бездействии насоса), равная в любой точке системы ρgh_i , где h_i – расстояние по вертикали от заданной точки до плоскости

отсчета (уровня воды в открытом расширительном баке) – красные штрихпунктирные линии;

2) наносятся линии, соответствующие избыточному гидростатическому давлению в системе отопления в динамическом режиме (при работе насоса), – зеленые сплошные линии; наклон линий показывает падение гидростатического давления при движении воды в трубах; $\Delta p_{\text{наг}}$ и $\Delta p_{\text{вс}}$ – соответственно потери давления в *зоне нагнетания* (от нагнетательного патрубка насоса до точки постоянного давления О) и в *зоне всасывания* (от точки О до всасывающего патрубка насоса); построение начинается с откладывания величины $\Delta p_{\text{н}}$ – давления, развиваемого насосом.

Из эпюры видно, что:

- в точке О давление и в статическом, и в динамическом режимах остается постоянным и равным ρgh , где h – расстояние по вертикали от точки О до уровня воды в расширительном баке;
- гидростатическое давление в динамическом режиме в зоне нагнетания превышает гидростатическое давление в статическом режиме; в зоне всасывания – наоборот; следовательно, в зоне нагнетания необходимо считаться с чрезмерно высоким давлением, а в зоне всасывания – с чрезмерно низким.

Гидростатическое давление в зоне всасывания в любой точке системы отопления должно быть избыточным, т. е. $p_i > p_a$. Если это правило нарушается, то решить проблему (подсос воздуха, нарушение циркуляции) можно тремя способами:

- 1) поднять расширительный бак выше (см. рис. 9);
- 2) подключить расширительный бак в наиболее опасную верхнюю точку и тем самым сократить зону всасывания (см. рис. 10);
- 3) присоединить расширительный бак вблизи всасывающего патрубка насоса (см. рис. 11).

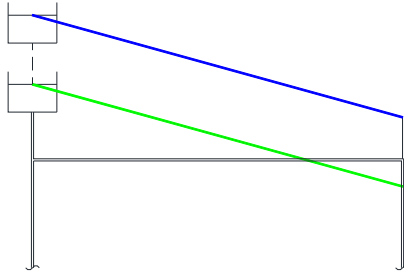


Рис. 9. Изменение гидростатического давления в системе отопления при переносе расширительного бака на большую высоту

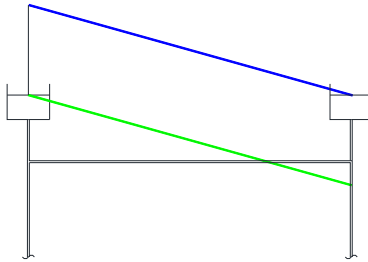


Рис. 10. Изменение гидростатического давления в системе отопления при переносе расширительного бака в наиболее опасную верхнюю точку (слева направо)

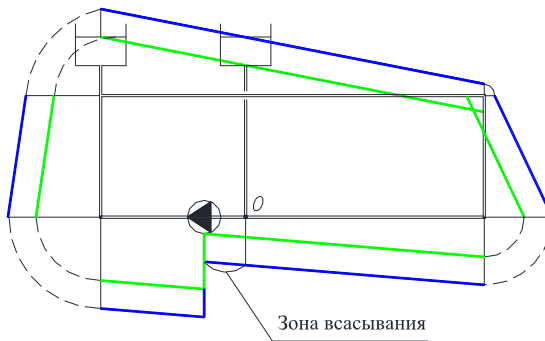


Рис. 11. Изменение гидростатического давления в системе отопления при переносе места подключения расширительного бака из верхней левой точки к всасывающему патрубку насоса

На рис. 9–11 зелеными линиями показаны первоначальные эпюры гидростатического давления в системе отопления, когда имело место падение давления в трубопроводах до атмосферного (точки пересечения линий падения давления с осью трубопроводов) и ниже. Синими линиями показано, как изменится давление в системе, если поднять бак или изменить его точку присоединения к магистралям.

Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка представляет собой упрощенную модель насосной системы водяного отопления с верхней подающей магистралью (см. рис. 12). При помощи кранов А, Б, В и Г открытый расширительный бак может быть подключен в точке 2, 3 или 5. Точки 1, 2, 3, 4 системы подключены к пьезометрическим трубкам на стенде, что позволяет следить за изменением давления в них при различных режимах работы системы.

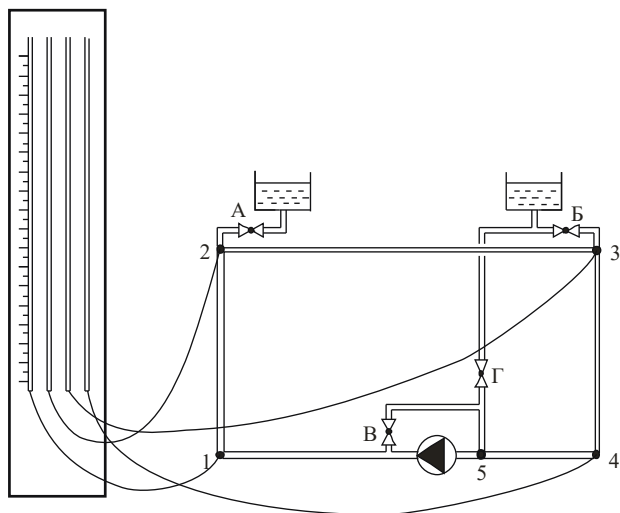


Рис. 12. Схема экспериментальной установки для изучения динамики давления в системе водяного отопления

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Открыть кран А и закрыть краны Б, В, Г. Таким образом, имеем подключение открытого расширительного бака в точке 2.

2. При помощи пьезометрических трубок измерить величину гидростатического давления в точках 1, 2, 3, 4 при выключенном насосе (в статическом режиме).

3. Включить насос на первую скорость и наблюдать за изменением давления в точках 1, 2, 3, 4. После того, как движение жидкости в пьезометрических трубках прекратится, записать значения гидростатического давления в характерных точках системы в динамическом режиме.

4. Выполнить те же замеры, что и в пункте 3, но при работе насоса на второй скорости. Обратит внимание, не опустилось ли давление в какой-либо точке ниже атмосферного.

5. Выявить точку системы с низким давлением и попытаться исправить ситуацию тремя способами:

- поднять расширительный бак выше его первоначального положения, выполнить замеры гидростатического давления в исследуемых точках;
- открыть кран Б, остальные краны закрыть, т. е. подключить бак в точке 3, выполнить замеры гидростатического давления в исследуемых точках;
- открыть кран Г, остальные краны закрыть, т. е. подключить бак в точке 5, выполнить замеры гидростатического давления в исследуемых точках.

6. Результаты замеров внести в табл. 4.

Таблица 4

Результаты наблюдений за изменением гидростатического давления при разных режимах работы системы отопления

Режим работы	Гидростатическое давление в исследуемых точках, мм вод. ст.			
	1	2	3	4
Насос не работает				
Насос включен на 1 скорость, бак присоединен в т. 2				
Насос включен на 2 скорость, бак присоединен в т. 2				
Насос включен на 2 скорость, бак поднят выше				
Насос включен на 2 скорость, бак присоединен в т. 3				
Насос включен на 2 скорость, бак присоединен в т. 5				

Обработка результатов эксперимента

Для каждого режима работы системы отопления (в статическом режиме, в динамическом режиме при работе насоса на разных скоростях, при подключении расширительного бака к разным точкам магистрали, при поднятии расширительного бака) построить эпюры изменения гидростатического давления.

Сделать вывод о динамике давления в насосной системе водяного отопления в зависимости от способа подключения к магистралям открытого расширительного бака.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- схему и описание экспериментальной установки;
- методику проведения эксперимента и обработки опытных данных;

- эпюры гидростатического давления в системе отопления;
- анализ результатов работы;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Почему изменяется давление в замкнутых кольцах системы отопления в течение отопительного периода?
2. Для чего необходимо учитывать изменение гидростатического давления в замкнутом контуре системы отопления?
3. Чему равно полное давление в любой точке системы отопления при установившемся движении потока жидкости? Расшифруйте все величины, входящие в формулу.
4. При изучении динамики давления в водяных системах отопления оперируют величиной гидростатического или гидродинамического давления? Почему?
5. Что изображают на эпюрах гидростатического давления в системе отопления?
6. Где расположена точка постоянного давления в системе водяного отопления? Чему равно давление в ней?
7. Что такое зона всасывания и зона нагнетания насоса? Где они расположены?
8. Желательно, чтобы большая часть магистралей системы отопления находилась в зоне всасывания насоса или в зоне нагнетания? Почему?
9. Что можно предпринять, чтобы в системе отопления исключить участки трубопроводов с гидростатическим давлением ниже атмосферного?

Рекомендуемая литература

1. Андреевский, А.К. Отопление / А.К. Андреевский. – Минск : Вышэйшая школа, 1982. – 363 с.
2. Исаев, В.Н. Устройство и монтаж санитарно-технических систем зданий / В.Н. Исаев, В.И. Сасин. – М. : Высшая школа, 1989. – 352 с.
3. Сасин, В.И. Рекомендации по применению отопительных алюминиевых колончатых радиаторов «Термал» / В.И. Сасин [и др.] ; под ред. В.И. Сасина. – М. : Витатер», 2004. – 36 с.
4. Сканави, А.Н. Отопление / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М. : АСВ, 2008. – 562 с.
5. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200095527>

Ž

Номер рисунка	Номер страницы	Источник
1, 2, 3	6–7	https://bit.ly/2N337oQ
4	7	https://bit.ly/2DvcZUd