

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания к лабораторным работам

Составители Л. В. Кудрявцев, П. П. Кондауров, С. В. Улазовский

Волгоград. ВолгГАСУ. 2015



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2015

УДК 697.34(076.5)

ББК 31.38я73

Т34

Т34 **Теплоснабжение** [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Л. В. Кудрявцев, П. П. Кондауров, С. В. Улазовский. — Электронные текстовые данные (430 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены методы экспериментальных исследований по основным разделам курса «Теплоснабжение».

Для студентов, обучающихся по направлению 270800.62 «Строительство», профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция» всех форм обучения.

УДК 697.34(076.5)

ББК 31.38я73

Лабораторная работа № 1

ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОПРОВОДА

Цель работы – углубление знаний по разделу "Тепловая изоляция и тепловые потери" курса "Теплоснабжение".

Содержание работы: определить удельные потери тепла изолированного и неизолированного теплопроводов; рассчитать погрешность определения удельных потерь тепла; вычислить коэффициент полезного действия теплоизоляционной конструкции.

1. Теоретическая часть

По тепловым сетям транспортируется теплоноситель, температура которого значительно выше температуры окружающей среды. Вследствие этого происходит непрерывная утечка тепла. Борьба за снижение транспортных потерь тепла является важнейшим средством экономии топливных ресурсов. Тепловая изоляция служит для уменьшения тепловых потерь и обеспечения допустимой температуры изолируемой поверхности.

Для трубопроводов тепловых сетей, включая арматуру, фланцевые соединения и компенсаторы, необходимо предусматривать тепловую изоляцию независимо от температуры теплоносителя и способа прокладки.

Теплоизоляционную конструкцию следует предусматривать, как правило, из следующих элементов:

- 1) теплоизоляционного слоя;
- 2) армирующих и крепежных деталей;
- 3) пароизоляционного слоя (при необходимости);
- 4) кровного слоя.

Для теплоизоляционного слоя при всех способах прокладки трубопроводов, кроме бесканальной, используют материалы и изделия со средней плотностью не более 400 кг/м^3 и теплопроводностью не более $0,07 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$. Допускается применение шнуров асбестовых для изоляции теплопроводов диаметром до 50 мм включительно.

При бесканальной прокладке трубопроводов следует применять материалы со средней плотностью не более 600 кг/м^3 и теплопроводностью не более $0,13 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$. Конструкция тепловой изоляции и используемые материалы определяются способом прокладки трубопроводов, температурой теплоносителя, санитарно-гигиеническими требованиями и т. д.

2. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из электрического водоподогревателя 1, насоса 2, испытываемых участков трубопроводов – неизолированного 3 $d_y = 20 \text{ мм}$, $l = 19 \text{ м}$ и изолированного 4 $d_y = 20 \text{ мм}$, $l = 19 \text{ м}$ и трубопроводов, подводящих горячую воду к испытываемым участкам и отводящих ее от них.

Для регулирования расхода воды в системе может быть использована арматура 7, 8, 15. Измерение температуры производится в начале изолированного участка 10, в конце его (она же в начале неизолированного участка) 11 и в конце неизолированного участка 12. Расход воды определяется по показаниям водомера 13 и контролируется с помощью дифманометра 16, показывающего перепад напоров на диафрагме 5.

Вода с постоянным расходом подается насосом 2 через электрический водонагреватель 1 (имеющий постоянную теплопроизводительность в каждом режиме) в испытываемые участки трубопроводов, соединенные последовательно, а затем поступает опять в насос и т. д.

Увеличение объема воды при нагревании компенсируется расширительным баком 6. Для выпуска воздуха из системы служит вентиль 9. Трубопровод 4 покрыт двойным слоем изоляции марки KAIFLEX выполненной из вспененного каучука.

3. Методика выполнения работы и обработка результатов

Поскольку в реальных условиях тепловая изоляция работает практически в стационарном режиме, то и лабораторная установка должна находиться как можно ближе к стационарному тепловому состоянию. Для этого необходимо до начала измерений прогреть установку в течение 45–50 минут, пропуская по трубопроводам 3 и 4 небольшой расход воды. После удаления воздуха из системы вентиль 9 закрывают. По окончании прогрева производят измерение температур в точках 10, 11, 12. Результаты измерений заносят в протокол наблюдений (табл. 1). Через 3 мин. замеры повторяют. Замеры должны производиться до достижения системой стационарного состояния (температуры в каждой точке перестают меняться во времени). Ввиду отсутствия необходимого промежутка времени для выхода системы на стационар ограничиваются тремя измерениями. Расход воды определяется с помощью водомера фиксированием его показаний через определенные промежутки времени (рекомендуется 5–10 мин.).

Изменяя расход воды в системе (или мощность водоподогревателя), аналогично проводим эксперименты при других тепловых режимах. Необходимо выполнить измерения в 3 режимах. При этом до проведения замеров следует дать установиться новому режиму в течение 20–25 мин. Обработку результатов экспериментов проводят по последним значениям температур в каждой точке и средним расходам воды для расчетного режима.

Зная физические свойства воды (табл. 2), падение температуры, определяем потери тепла, Вт, на испытываемых участках:

$$\Delta Q = V \cdot c \cdot \rho (t_n - t_k),$$

где V – объемный расход воды в данном режиме, л/с; c – теплоемкость воды при ее средней температуре, кДж/(кг·°C); ρ – плотность воды при ее средней температуре, кг/м³; t_n – температура воды на входе в испытываемый участок трубопровода, °C; t_k – температура воды на выходе из испытываемого участка трубопровода, °C.

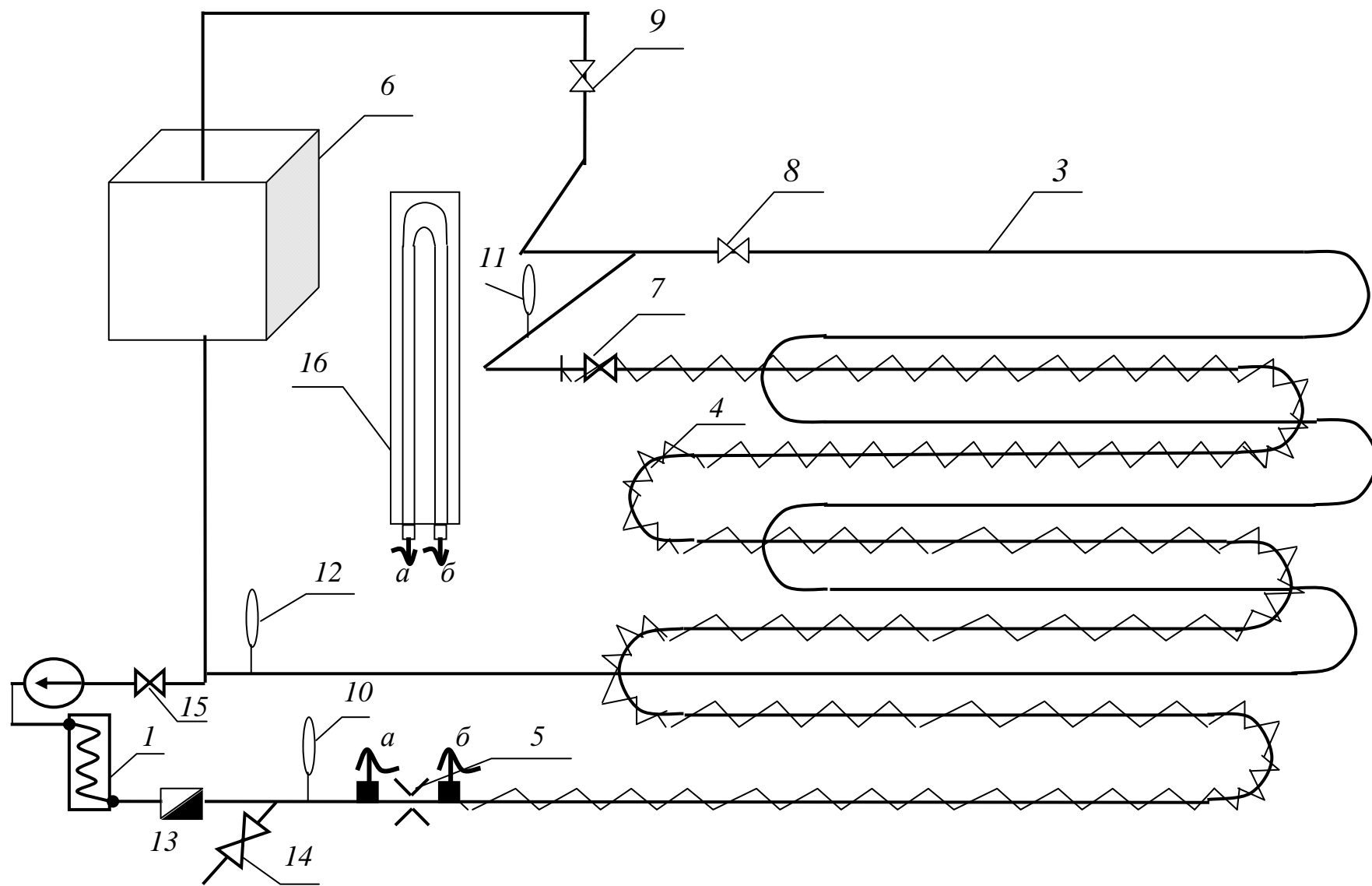


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Так как полный выход системы в стационарное состояние не обеспечивается, а также отсутствует учет потерь тепла подводками и запорной арматурой, потери тепла трубопроводами будут определены с некоторой погрешностью.

Удельные потери тепла, Вт/м, определяются отношением

$$q = \frac{\Delta Q}{l},$$

где ΔQ – потери тепла изолированного или неизолированного участка, Вт;
 l – длина соответствующего участка, м.

Истинная величина удельных потерь тепла запишется в виде

$$q = q_{cp} \pm \varphi \sqrt{\frac{\Delta q_1^2 + \Delta q_2^2 + \dots + \Delta q_n^2}{n(n-1)}},$$

где $q_{cp} = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{n}$ – среднеарифметическое значение удельных тепловых потерь испытываемых участков; n – количество проведенных экспериментов (количество режимов); φ – вероятностный коэффициент (табл. 3);

$\Delta q_i = (q_{cp} - q_i)$ – отклонение полученных значений удельных тепловых потерь

от среднеарифметического; $\sigma = \sqrt{\frac{q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_n^2}{n(n-1)}}$ – средняя квадратичная

ошибка среднего арифметического значения удельных тепловых потерь.

Для оценки эффективности тепловой изоляции определяют ее коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{\Delta Q_{неиз} - \Delta Q_{из}}{\Delta Q_{неиз}} = \frac{q_{неиз} - q_{из}}{q_{неиз}},$$

где $\Delta Q_{неиз}$, ($q_{неиз}$) – потери тепла (удельные потери тепла) неизолированным участком трубопровода, Вт (Вт/м); $\Delta Q_{из}$, ($q_{из}$) – потери тепла (удельные потери тепла) изолированным участком трубопровода, Вт (Вт/м).

Таблица 1

Форма протокола наблюдений

№ опыта	Измерения	Температура теплоносителя, °С				Объемный расход теплоносителя V, л/с	Потери тепла участками, Вт		Удельн. потери тепла, Вт/м		КПД тепловой изоляции
		$t_n^{из}$	$t_k^{из}$	$t_n^{неиз}$	$t_k^{неиз}$		$\Delta Q_{из}$	$\Delta Q_{неиз}$	$\Delta q_{из}$	$\Delta q_{неиз}$	
1.	1										
	2										
	3										
Среднее											

Свойства воды в зависимости от температуры

Температура воды, °С	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Теплоемкость, кДж/(кг·°С)	4,182	4,178	4,179	4,181	4,184	4,189	4,196	4,205	4,217
Средняя плотность, кг/м ³	998,2	995,6	992,2	988,1	983,2	977,8	971,8	965,3	958,4

Таблица 3

Значения вероятностного коэффициента

Количество измерений (n-1)	1	2	3	4	5	6	7
Вероятностный коэффициент φ	1,00	0,816	0,765	0,741	0,727	0,718	0,711

4. Правила техники безопасности

Ознакомиться со схемой лабораторной установки и порядком выполнения работы. Переключения режимов выполнять под наблюдением преподавателя или лаборанта. Температура воды в установке не должна превышать 100 °С. Запрещается во избежание ожогов трогать руками неизолированные трубопроводы. Запрещается трогать руками электрический водоподогреватель, токоведущие провода и места их соединений.

При появлении запаха гари, искр, утечек воды в установке необходимо отключить электрический водоподогреватель, насос и сообщить преподавателю или лаборанту.

5. Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен содержать:

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) протокол записи наблюдений;
- 4) обработку результатов экспериментов;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные требования к тепловой изоляции?
2. Что такое стационарный тепловой режим и чем обеспечивается выход в стационар в данной работе?
3. Что такое эффективный диаметр тепловой изоляции, от чего он зависит?
4. Что называется критическим диаметром тепловой изоляции?
5. Как устраивается тепловая изоляция при подземной бесканальной прокладке теплопроводов?
6. Как устраивается тепловая изоляция при надземной прокладке теплопроводов?
7. Какие требования предъявляются к теплоизоляционным материалам?
8. От чего зависит эффективность (КПД) теплоизоляционной конструкции?
9. Какие основные погрешности заранее заложены в данной лабораторной работе?
10. Как устраивается тепловая изоляция при подземной канальной прокладке теплопроводов?

11. Как выполнена тепловая изоляция на предизолированных трубах предназначенных для бесканальной прокладки?

Список рекомендуемой литературы

1. СП 61.13330.2012 «СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» Актуализированная редакция/ФАУ «ФЦС», М., 2012. 52 с.
2. Ионин А. А., Хлыбов Б. М., Братенков Б. Н. и др. *Теплоснабжение. Под ред. А. А. Ионина.* – М.: Стройиздат, 1982. С. 167 – 169.
3. Козин В. Е. *Теплоснабжение/Козин В. Е., Левина Т. А., Марков А. П. и др. М.: Высш.шк. 1980. С. 273-282.*
4. Михеев И. А., Михеева И. И. *Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973. С. 200-204.*
5. Исаченко В. П., Осипов В. А., Сукомел А. С. *Теплопередача. М.: Энергия, 1975. С. 40–42.*

Лабораторная работа № 2

ПОСТРОЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО ГРАФИКА ДВУХТРУБНОЙ ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Цель работы – углубление знаний по разделу “Гидравлические режимы тепловых сетей” курса “Теплоснабжение”.

Содержание работы: построить пьезометрические графики для двухтрубной водяной тепловой сети при различных режимах работы; Исследовать влияние положения нейтральной точки на уровень давлений в тепловой сети.

1. Теоретическая часть

При проектировании и эксплуатации разветвленных тепловых сетей для учета взаимного влияния различных факторов, определяющих гидравлический режим сети – геодезического профиля района, высоты абонентских зданий, потерь напора в тепловой сети и местных установках и т. д., широко используется пьезометрический график. На нем в масштабе наносят рельеф местности, высоты присоединенных зданий и величины напора в трубопроводах тепловой сети. Пьезометрический график характеризует гидравлический режим тепловой сети по давлениям (напорам) в отдельных точках сети и располагаемым давлениям (напорам) на участках сети и у абонентов. Проектирование тепловых сетей без учета пьезометрического графика, особенно в условиях сложного профиля трассы, может привести к нерациональным схемам подключения абонентов, усложнению оборудования источника тепла, неоправданному сооружению насосных подстанций и усложнению эксплуатации всей системы теплоснабжения.

Пьезометрические графики, как правило, строятся в единицах напора.

Напор – это давление, выраженное в линейных единицах столба теплоносителя (воды). Напор и давление связаны следующей зависимостью:

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g},$$

где H – напор, м вод. ст.; P – давление теплоносителя, Па; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; $g = 9,81$ м/с² – гравитационная постоянная.

Различают полный и пьезометрический напоры. Полный напор отсчитывают от одного общего условного уровня (линия нулевого уровня), а пьезометрический – от уровня прокладки оси трубопровода в данной точке:

$$H = H' - Z,$$

где H – пьезометрический напор, м вод. ст.; H' – полный напор, м вод. ст.; Z – геометрическая высота оси трубопровода от линии нулевого уровня, м.

Когда ось трубопровода совпадает с плоскостью отсчета, полный напор в данной точке равен пьезометрическому.

При отсутствии циркуляции теплоносителя в трубопроводах напоры во всех точках сети одинаковы и на графике (рис. 2.) выражаются прямой горизонтальной линией, общей для подающих и обратных трубопроводов (линия статического давления (напора) $S-S$). Такой режим называется статическим.

При динамическом режиме напоры (давления) в сети падают по ходу движения теплоносителя и на графике выражаются наклонными линиями с различными углами наклона по участкам (в зависимости от гидравлического сопротивления трубопроводов).

Разность напоров ΔH в различных точках сети называется потерей напора (между точками одного трубопровода) или располагаемым напором (между подающими и обратными трубопроводами).

В тепловых сетях расход воды не является величиной постоянной. В общем случае связь между расходами воды и потерями давлений (или между располагаемыми давлениями и расходами воды) определяется как

$$\Delta P = S \cdot V^2. \quad (1)$$

При переменных гидравлических режимах справедлива следующая зависимость:

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{V_2^2}{V_1^2} \quad \text{или} \quad \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\Delta P_2 \cdot S_1}{\Delta P_1 \cdot S_2}}, \quad (2)$$

где $\Delta P_1, \Delta P_2$ – потери давления (или располагаемые давления) при данных режимах, Па; S_1, S_2 – сопротивление сети (потери давления при расходе $V=1$ м³/ч); при данных режимах, Па/(м³/ч)²; V_1, V_2 – расход воды при различных гидравлических режимах, м³/ч.

При неизменном сопротивлении сети ($S = const$) имеется следующая зависимость:

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2, \quad \text{или} \quad \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}}. \quad (3)$$

Указанные формулы справедливы как для сети в целом, так и для отдельных ее участков, при этом вместо единиц давления ΔP можно использовать единицы напора ΔH , выполнив соответствующий пересчет сопротивлений сети S .

Для регулирования отпуска тепла в системах теплоснабжения используют качественное и количественное регулирование. В первом случае расход тепла регулируется изменением параметров теплоносителя, во втором – изменением расхода теплоносителя. В зависимости от места осуществления регулирования различают центральное, групповое, местное и индивидуальное регулирование.

При центральном количественном регулировании расход воды в системе изменяется вследствие изменения действующего напора в начале сети (например, изменяя напор, создаваемый циркуляционным насосом) при неизменном сопротивлении сети. При этом происходит пропорциональное изменение располагаемых напоров и расходов воды по участкам сети и у абонентов согласно зависимости (3).

Групповое регулирование производят в центральных тепловых пунктах для группы однородных потребителей. Местное регулирование предусматривается на абонентском вводе для дополнительной корректировки с учетом местных факторов.

При этих видах регулирования задвижками на ответвлениях сети или на вводах у абонентов происходит изменение сопротивления сети, и связь между расходами и располагаемыми напорами (давлениями) для переменных гидравлических режимов выражается зависимостью (2). В этом случае в начале сети, на участках от циркуляционного насоса до точки изменения сопротивления в сети (регулируемое ответвление или абонент), происходит непропорциональное изменение располагаемых напоров и расходов воды, а на последующих участках – пропорциональное (аналогично центральному регулированию).

Индивидуальное регулирование осуществляется непосредственно у теплотребляющих приборов.

Нейтральной точкой в сети называется точка, в которой давление остаётся постоянным при любом режиме работы сети. Нейтральная точка служит для закрепления необходимого уровня давлений (т. е. высотного положения пьезометрического графика) в тепловой сети.

Постоянство давлений в нейтральной точке в больших тепловых сетях обеспечивается подпиточными насосами с автоматическим регулированием подпитки тепловой сети. В небольших сетях закрепление нейтральной точки может быть осуществлено расширительным сосудом с постоянным уровнем воды в нем. Точка подключения расширительного сосуда (или подпиточного насоса) к тепловой сети и будет являться нейтральной точкой.

Нейтральная точка может располагаться на магистральных трубопроводах и на перемычке у насоса. В разветвленных тепловых сетях закрепление нейтральной точки на одной из магистралей не обеспечивает необходимой устойчивости гидравлического режима. Закрепление нейтральной точки на перемычке у насоса наиболее рационально, так как дает возможность обеспечивать и наиболее просто поддерживать различные уровни давления в сети путем изменения сопротивления ветвей перемычки с помощью регулировочных вентилях.

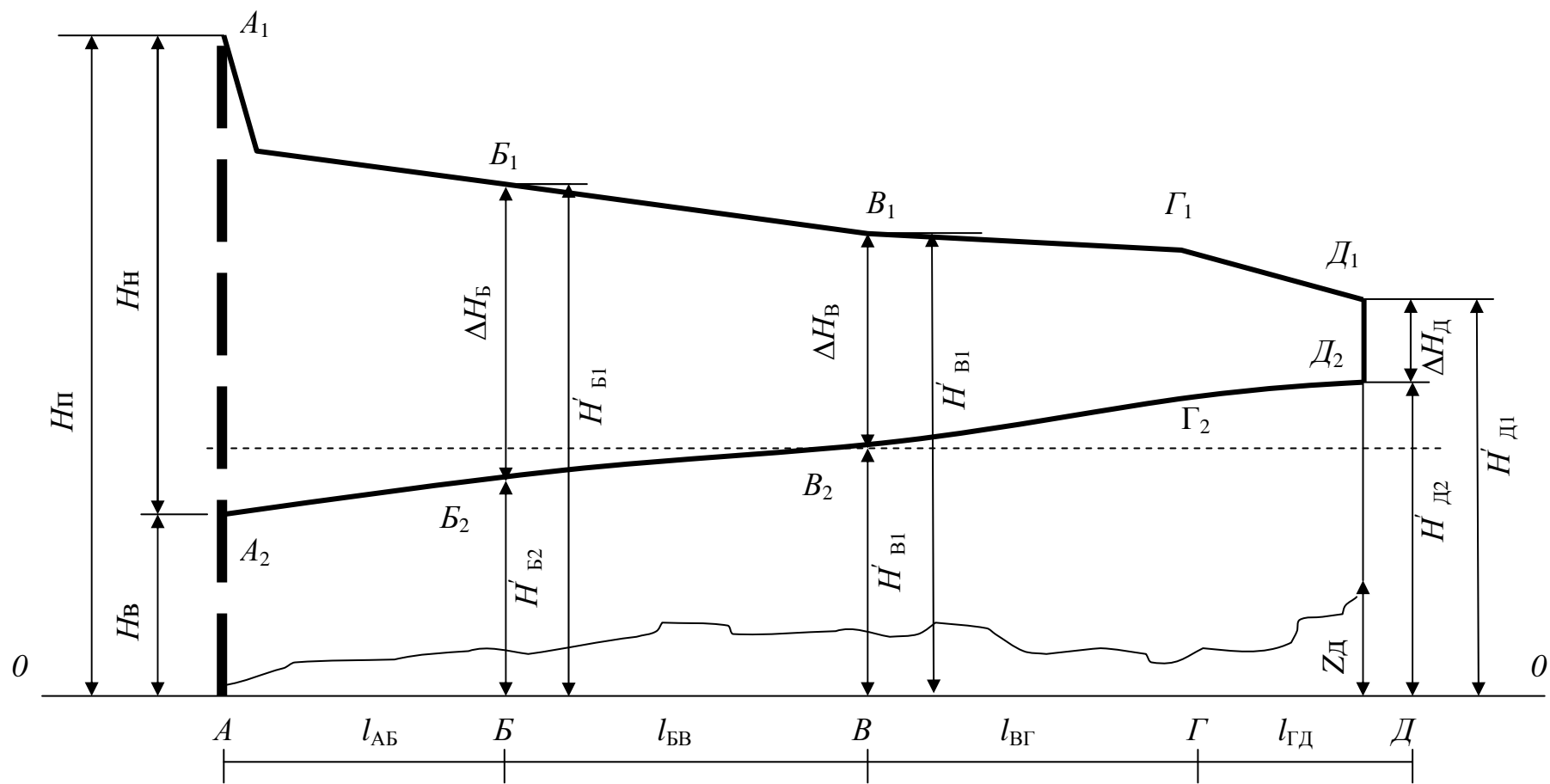


Рис. 2.1 Общий вид пьезометрического графика двухтрубной водяной тепловой сети:

A_1 – D_1 – пьезометрическая линия подающей магистрали; A_2 – D_2 – пьезометрическая линия обратной магистрали; $H_{п}$ – полный напор на нагнетательной стороне сетевого насоса; $H_{в}$ – полный напор на всасывающей стороне сетевого насоса; $H_{Б1}$, $H_{В1}$, $H_{Д1}$ – полные напоры в подающей линии тепловой сети в точках Б, В, Д; $H_{Б2}$, $H_{В2}$, $H_{Д2}$ – полные напоры в обратной линии тепловой сети в точках Б, В, Д; $H_{н}$ – напор развиваемый сетевым насосом; $\Delta H_{б}$, $\Delta H_{в}$, $\Delta H_{д}$ – располагаемые напоры в точках Б, В, Д; $Z_{д}$ – геометрическая высота трубопровода в точке Д.

2. Описание экспериментальной установки

Установка (рис. 3) состоит из замкнутой системы трубопроводов 2, 3 $d_y = 15$ мм ($d_{вн} = 15,7$ мм) с дросселирующими устройствами 13, циркуляционного насоса 1, расширительного сосуда 4 с трубопроводом для его подключения к различным точкам сети 5, системы пьезометрических трубок 6, перемычек с дросселирующими устройствами 8, 9, 10, 11 водомера 12 и регулировочных вентилей на перемычке у насоса 14, 15. Перемычки 8, 9, 10, 11 выполняют роль потребителей тепла (абонентов). Подключение расширительного сосуда к сети может осуществляться на обратном трубопроводе (путем открытия кранов 7', 7'' или 7''') и на перемычке у циркуляционного насоса.

Расход воды в системе определяется с помощью водомера и изменяется с регулировочными кранами 16, 16'.

Изменяя расход воды в системе, сопротивление перемычек, место подключения нейтральной точки, можно провести эксперименты для различных гидравлических режимов. Напоры в точках сети определяются по пьезометрическим трубкам 6, при этом за условный ноль принимается отметка оси циркуляционного насоса, которая совпадает с отметками от трубопроводов. Следовательно, замеренные напоры будут являться полными.

3. Методика проведения опытов и обработка результатов

3.1. Закрепление уровня давлений в тепловой сети с помощью нейтральной точки и изменение статического напора в сети

Включить в работу насос и создать циркуляцию воды в системе. Открыв один из кранов 7', 7'' или 7''' (вентили 14 и 15 на перемычке у насоса должны быть закрыты), присоединить тем самым расширительный бак к обратному трубопроводу. Измерить напоры в точках А, Б, В, Г в подающей и обратной линиях сети. Изменив расход воды в системе (краном 16 или 16'), повторить замеры. Изменив точку присоединения расширительного бака, опыт повторить. Результаты измерений занести в табл. 4.

Подключить расширительный бак к перемычке у насоса (закрыв 7'–7'''). Положение вентилей на перемычке: вентиль (14) – закрыт, вентиль (15) – открыт (соответствует схеме с нейтральной точкой на всасывающем патрубке насоса). Установить пьезометр в сети в верхнем положении путем прикрытия крана 16' на обратной линии перед насосом. Произвести измерения напоров.

Создать циркуляцию воды в перемычке у насоса путем частичного открытия вентиля (14) на перемычке (режим с нейтральной точкой в точке О). Произвести запись напоров. Прикрыть (не полностью) вентиль (15) на перемычке у насоса. Произвести измерения напоров. Открыть больше вентиль (15) на перемычке. Произвести измерения напоров. Результаты измерений занести в табл. 4. Построить пьезометрические графики и на основании их анализа сделать выводы о влиянии положения нейтральной точки на уровень давления в сети.

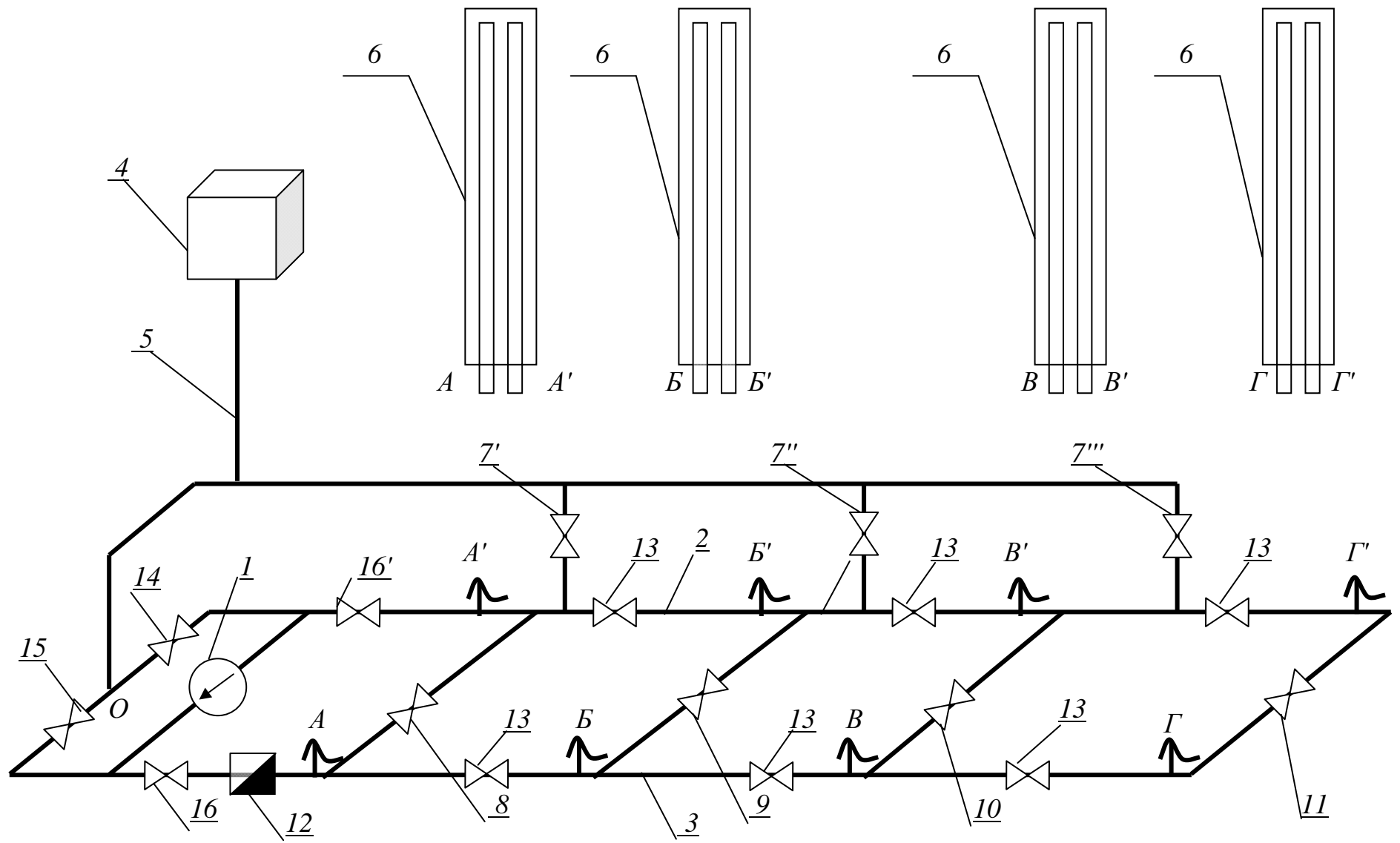


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Форма протокола наблюдений

№ замера	Место закрепления нейтральной точки	Положение вентилей 14 и 15 на перемычке	Напоры в точках, мм вод. ст					Примечание
			<i>O</i>	$\frac{A}{A'}$	$\frac{B}{B'}$	$\frac{B}{B'}$	$\frac{\Gamma}{\Gamma'}$	
1.								
2.								
3.								
...								

3.2. Переменные гидравлические режимы в сети

Произвести измерение напоров в сети при различных перепадах давления в начале сети (точки $A-A'$). При этом кран $16'$ на всасывающем патрубке насоса и краны на перемычках должны быть полностью открыты. Расширительный бак подключен на перемычке у насоса. Результаты измерений занести в табл.5. По результатам измерений построить пьезометрические графики и определить располагаемые напоры и степень их изменения у абонентов. Сделать вывод о характере изменения гидравлических режимов при центральном количественном регулировании.

Закрыв кран на одной из перемычек (8, 9 или 10), измерить напоры в сети. Измерения повторить при другой закрытой перемычке.

Результаты занести в табл. 5. Построить пьезометрические графики. Определить степень изменения располагаемых напоров и расходов у абонентов. Сравнить с предыдущими результатами. Произвести анализ данных опыта и сделать вывод о характере изменения гидравлических режимов в сети при местном регулировании. Результаты занести в табл. 5. Построить пьезометрические графики. Определить степень изменения располагаемых напоров и расходов у абонентов. Сравнить с предыдущими результатами. Произвести анализ данных опыта и сделать вывод о характере изменения гидравлических режимов в сети при местном регулировании. При построении пьезометрических графиков длины участков AB , BB , $B\Gamma$ принять одинаковыми.

Форма протокола измерений

№ замера	Наименование	Обозначение	Точки замера				Примечания
			$\frac{A}{A'}$	$\frac{B}{B'}$	$\frac{B}{B'}$	$\frac{\Gamma}{\Gamma'}$	
1,	Опыт 1. Центральное количественное регулирование						
2,	Опыт 2. Местное количественное регулирование						
3,	Напоры	H					
4	Располагаемые напоры	ΔH					
	Расход воды	V , л/с					

Отношение располагаемых напоров у абонентов	$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1}$						
Отношение расходов воды у абонентов	$\frac{V_2}{V_1}$						

Примечание к табл. 4, 5: напоры в точках измеряются для подающего (числитель) и обратного (знаменатель) трубопроводов в миллиметрах водяного столба.

4. Правила техники безопасности

Ознакомиться со схемой лабораторной установки и порядком выполнения работы.

При появлении запаха гари, искрения в насосе, утечек воды в установке немедленно отключить насос и сообщить преподавателю или лаборанту.

5. Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен содержать:

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальная схема установки;
- 3) протокол записи измерений;
- 4) пьезометрические графики для различных режимов работы сети;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что называется статическим напором (давлением), полным напором (давлением), пьезометрическим напором (давлением), располагаемым напором (давлением)?
2. Для чего строятся пьезометрические графики тепловых сетей?
3. Что называется нейтральной точкой тепловой сети?
4. Исходя из каких условий выбирается положение линий статического давления в тепловых сетях?
5. Что понимается под гидравлической устойчивостью тепловой сети?
6. Как поддерживается постоянное давление (напор) в нейтральной точке?
7. Какие существуют виды регулирования отпуска тепла? В чем их отличие друг от друга?
8. Как меняется положение линий пьезометрического давления (напора) при различных видах количественного регулирования?
9. Сколько положений линий статического напора может поддерживаться на лабораторной установке?
10. Почему размещение нейтральной точки на перемычке у циркуляционного насоса является наиболее рациональным?

Список рекомендуемой литературы

1. СП 124.13330.2012 «СНиП 41-02-2003 Тепловые сети» Актуализированная редакция / ФАУ «ФЦС», М., 2012. 74 с.
2. Ионин А. А., Хлыбов Б. М., Братенков Б. Н. и др. Теплоснабжение. Под ред. А. А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. С. 206–236.
3. Козин В. Е. Теплоснабжение / Козин В. Е., Левина Т. А., Марков А. П. и др. М.: Высш. шк. 1980. С. 175–196.

Лабораторная работа № 3

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДЯНЫХ СЕТЕЙ

Цель работы – усвоение основных понятий и расчетных зависимостей раздела. “Гидравлический расчет тепловых сетей” курса “Теплоснабжение”

Содержание работы: по экспериментальным данным рассчитать коэффициент гидравлического трения λ , определить коэффициент эквивалентной шероховатости k_s трубопровода, коэффициенты местных сопротивлений ζ , эквивалентные длины $l_{\text{экв}}$ местных сопротивлений, укрупненный показатель k_m для участков трубопровода. Для заросшей трубы определить величину зарастания Δd , рассчитать коэффициенты увеличения скорости и удельных потерь давления по длине вследствие зарастания k_v, k_R . Для всех видов участков определить гидравлический режим движения теплоносителя.

1. Теоретическая часть

В результате гидравлического расчета по заданным расходам теплоносителя определяют: диаметры труб и запорно-регулирующей арматуры, потери давления на всех элементах сети, скорости движения теплоносителя, выполняют подбор оборудования. Результаты расчета используются для построения пьезометрических графиков, выбора схем абонентских вводов, подбора насосного оборудования, определения стоимости тепловой сети и др.

При движении теплоносителя по трубам потери давления складываются из потерь давления на трение по длине трубопровода и потерь в местных сопротивлениях (вентилей, задвижек, компенсаторов, отводов и т. д.)

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}}. \quad (1)$$

Гидравлическое сопротивление по длине трубопровода определяется по формуле Вейсбаха–Дарси:

$$\Delta P_{\text{л}} = \lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; $l, d_{\text{вн}}$ – длина и внутренний диаметр участка трубопровода, м; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; ω – скорость потока, м/с.

$$\text{Величину} \quad \frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = R, \quad (3)$$

называют удельными потерями давления, Па./м.

Выразив скорость через расход, получим

$$R = \frac{8\lambda\rho V^2}{\pi^2 D_{\text{вн}}^5}, \quad (3^*)$$

где V – секундный расход теплоносителя, м³/с.

Если энергию потока (Дж) отнести к единице силы (Н), получим формулу для расчета потерь напора $\Delta H_{\text{л}}$ м вод. ст. Для этого все члены уравнения (2) следует разделить на удельный вес $\gamma = \rho \cdot g$, Н/м²:

$$\Delta H_{\lambda} = \frac{\Delta P_{\lambda}}{\rho \cdot g} = \lambda \frac{l}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\omega^2}{2g},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – гравитационная постоянная.

Аналогичную операцию можно производить и с последующими формулами.

Коэффициент гидравлического трения λ в общем случае зависит от числа Рейнольдса – Re (т. е. от режима движения жидкости), характера шероховатости внутренней поверхности трубы и высоты выступов шероховатости. Гидравлической шероховатостью трубы называют выступы и неровности, влияющие при турбулентном движении жидкости на линейные потери давления. В реальных трубах эти выступы и неровности различны по форме, величине и неравномерно распределены по длине.

Для удобства расчетов вводится понятие эквивалентной шероховатости $k_{\text{э}}$ – абсолютной эквивалентной равномерно-зернистой шероховатости, выступы которой имеют одинаковые форму и размеры, а потери давления по длине такие же, как и в реальных трубах.

При гидравлических расчетах принимают следующие значения абсолютной эквивалентной шероховатости внутренней поверхности труб, $k_{\text{э}}$, м: паровые сети – 0,0002; водяные сети – 0,0005; сети горячего водоснабжения и конденсатопроводы – 0,001.

Для теплопроводов тепловых сетей характерным является турбулентный режим движения теплоносителей. При этом разделяют режимы гидравлических гладких труб, переходный и установившийся турбулентный (гидравлически шероховатых труб).

При $\frac{Re \cdot k_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} \leq 23$ трубы считаются гидравлически гладкими. В этом режиме пристенный ламинарный слой закрывает выступы шероховатости и турбулентное ядро не соприкасается с ними, т. е. наблюдается турбулентное течение с сопротивлением, зависящим только от вязкости жидкости. Коэффициент гидравлического трения для режима гидравлически гладких труб определяется по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (4)$$

или по формуле Г. А. Мурина:

$$\lambda = \frac{1,01}{(\lg Re)^{2,5}} \quad (5)$$

где $Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}$; ν - коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Для гидравлически шероховатых труб при $\frac{Re k_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} \geq 560$ решающее влияние на гидравлическое сопротивление оказывают силы трения жидкости о

стенку трубы, т. е. сопротивление обусловлено наличием инерционных сил и не зависит от вязкости жидкости. Такой режим характеризуется квадратичным законом сопротивления.

Коэффициент гидравлического трения зависит только от относительной эквивалентной шероховатости $\left(\frac{k_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}}\right)$ и определяется по формуле Б. Л. Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} \right)^{0,25}. \quad (6)$$

Для переходной области, характеризующейся изменением комплекса $\frac{Re k_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} = 23 - 560$, рекомендуется формула проф. А. Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (7)$$

По формуле (7) коэффициент гидравлического трения λ определяется достаточно точно для всех турбулентных режимов.

Потери давления на местных гидравлических сопротивлениях, $\Delta P_{\text{м}}$, определяется по формуле Вейсбаха

$$\Delta P_{\text{м}} = \sum \xi \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (8)$$

где $\sum \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке.

С учетом (1), (2), (3), (8) можно записать

$$\Delta P = R l + \sum \xi \frac{\rho \omega^2}{2}. \quad (9)$$

Потери давления на местных сопротивлениях в гидравлическом расчете также можно учесть с помощью эквивалентной длины местного сопротивления $l_{\text{экв}}$, м, или укрупненного показателя $k_{\text{м}}$. За эквивалентную длину местного сопротивления принимают длину прямолинейного трубопровода с линейными потерями давления численно равными потерям давления в местном сопротивлении. Решая совместно (2) и (8), получим

$$l_{\text{экв}} = \sum \xi \frac{d_{\text{вн}}}{\lambda}.$$

С учетом этого формула (9) примет вид

$$\Delta P = R (l + l_{\text{экв}}). \quad (10)$$

При гидравлическом расчете участков трубопровода, содержащих однотипные местные сопротивления (например, системы горячего водоснабжения), допускается использовать укрупненный показатель $k_{\text{м}}$ – коэффициент местных сопротивлений участка. Величина его выбирается в зависимости от назначения участка. Потери давления на участке, $\Delta P_{\text{м}}$, в этом случае определяются по формуле

$$\Delta P = R \cdot l \cdot k_m. \quad (11)$$

В процессе эксплуатации при недостаточной противонакипной обработке воды (или отсутствии таковой) на внутренней поверхности трубы откладываются нерастворимые соли Ca и Mg , что приводит к уменьшению внутреннего диаметра трубы. Этот процесс называется зарастанием труб.

Зарастание приводит к увеличению скорости движения воды и удельных потерь давления:

$$\omega_3 = \omega \cdot k_\omega,$$

$$R_3 = R \cdot k_R.$$

где ω , R – скорость и удельные потери давления в чистой трубе; ω_3 , R_3 – скорость и удельные потери давления в трубе с учетом зарастания; k_ω , k_R – коэффициенты увеличения скорости и удельных потерь давления по длине вследствие зарастания труб.

2. Описание экспериментальной установки

Установка смонтирована из стальных оцинкованных труб $d_{\text{вн}} = 15,7$ мм ($d_y = 15$ мм) на участках от точки a до точки h и полипропиленовых труб $d_{\text{вн}} = 16,6$ мм ($d_y = 25$ мм) от точки i до точки m (рис. 4).

Участок ab содержит П-образный компенсатор, состоящий из четырех гнутых отводов с радиусом закругления $r = 3d$. Величина вылета компенсатора 0,5 м, длина полки 0,25 м. На участке bc находятся два угольника (отвода) с радиусом закругления $r = d$. На участке cd расположен полностью открытый вентиль 3 с вертикальным шпинделем. Участок ef – заросшая труба. На участке fg установлена измерительная диафрагма для определения расхода воды, кроме того, на нем расположены два угольника ($r=d$). Участок gh – чистая труба. Участок ik – чистая полипропиленовая труба. На участке kl находятся два угольника (отвода) с радиусом закругления $r = d$. На участке lm расположен полностью открытый полипропиленовый шаровый кран 4. Длины участков $l_{ab} = l_{cd} = l_{cf} = l_{gh} = l_{ik} = l_{lm} = 2$ м; $l_{bc} = l_{fg} = l_{kl} = 0,5$ м.

Циркуляцию воды в лабораторной установке обеспечивает насос 5 (расход регулируется шаровым краном 1). Расширительный бак 6 воспринимает вытесняемую жидкость. На каждом участке с помощью дифференциальных манометров 7, можно определить потери напора $\Delta H_{\text{уч}}$, мм вод. ст.

3. Методика проведения опытов и обработка результатов

Приоткрыв шаровый кран 1, по дифманометрам 7 (после установления стационарного режима движения воды в течении 1÷2 мин.) определяем потери напора ΔH на участках ab , bc , cd , ef , fg , gh , ik , kl , lm . По графику (рис. 5) находим расход воды в системе по перепаду напоров на измерительной диафрагме. Перепад напоров на диафрагме находится как разность потерь напоров на участках fg и bc : $\Delta H_g = \Delta H_{fg} - \Delta H_{bc}$.

Результаты заносим в табл. 6. Изменяем расход и повторяем замеры. Всего необходимо провести измерения в 3-4 режимах. При выполнении работы следует обратить внимание, чтобы перепад уровней воды в трубках дифма-

нометра, измеряющего потери напора на участке fg , не превышал 1000 мм. Физические свойства воды, необходимые для расчетов, приведены в табл. 7.

Таблица 6

Форма протокола измерений

№ опыта	Гидравлические потери на участках																Расход $V, \text{л/с}$		
	ab		bc		cd		ef		fg		gh		ik		kl			lm	
	$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па	$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па	$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па	$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па	$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па	$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па	$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па	$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па		$\Delta H,$ мм	$\Delta P,$ Па
1																			
2																			
3																			
4																			

Таблица 7

Физические свойства воды

Температура воды, $t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50
Плотность воды $\rho, \text{кг/м}^3$	999,8	999,6	998,2	995,6	992,2	988,0
Коэффициент кинематической вязкости $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	1,789	1,306	1,006	0,805	0,659	0,556

По результатам экспериментов необходимо рассчитать:

1) для участка gh (незаросшая стальная труба) и ik (незаросшая полипропиленовая труба):

- скорость воды на участке ω_{gh} (по известному расходу и диаметру);
- удельные потери давления $R = \Delta P/l$;
- критерий Рейнольдса Re ;
- коэффициент гидравлического трения λ (3), (3^x);
- коэффициент эквивалентной шероховатости k_s (7);

режим движения жидкости – $\frac{Re K_s}{d_{вн}}$.

В зависимости от режима движения жидкости для расчета коэффициента гидравлического трения можно воспользоваться формулами (4), (5), (6). Результаты расчета занести в табл. 8.

2) для участков ab, bc, cd, kl, lm :

- потери давления в местных сопротивлениях ΔP_m ;
- укрупненный показатель k_m (11);
- эквивалентные длины $l_{э\text{кв}}$ местных сопротивлений (10);
- коэффициенты местных сопротивлений ξ (8), (9).

Удельные потери давления принять равными потерям в гидравлически гладкой трубе R_{gh} для соответствующих режимов. Результаты расчетов занести в табл. 9, 10. Сравнить полученные значения $\lambda, \xi, k_m, k_s, l_{э\text{кв}}$ со справочными.

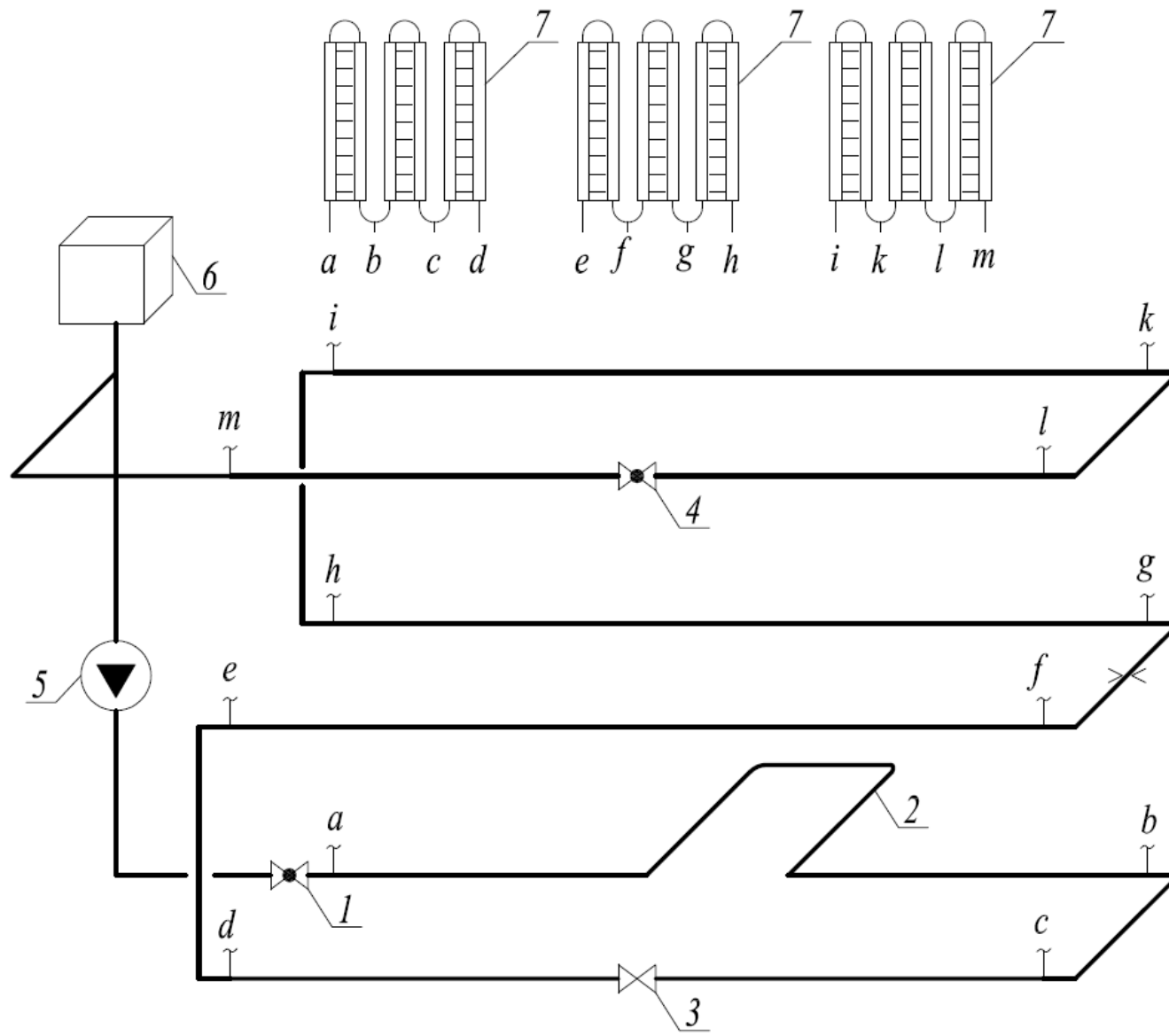


Рис. 4 Схема экспериментальной установки

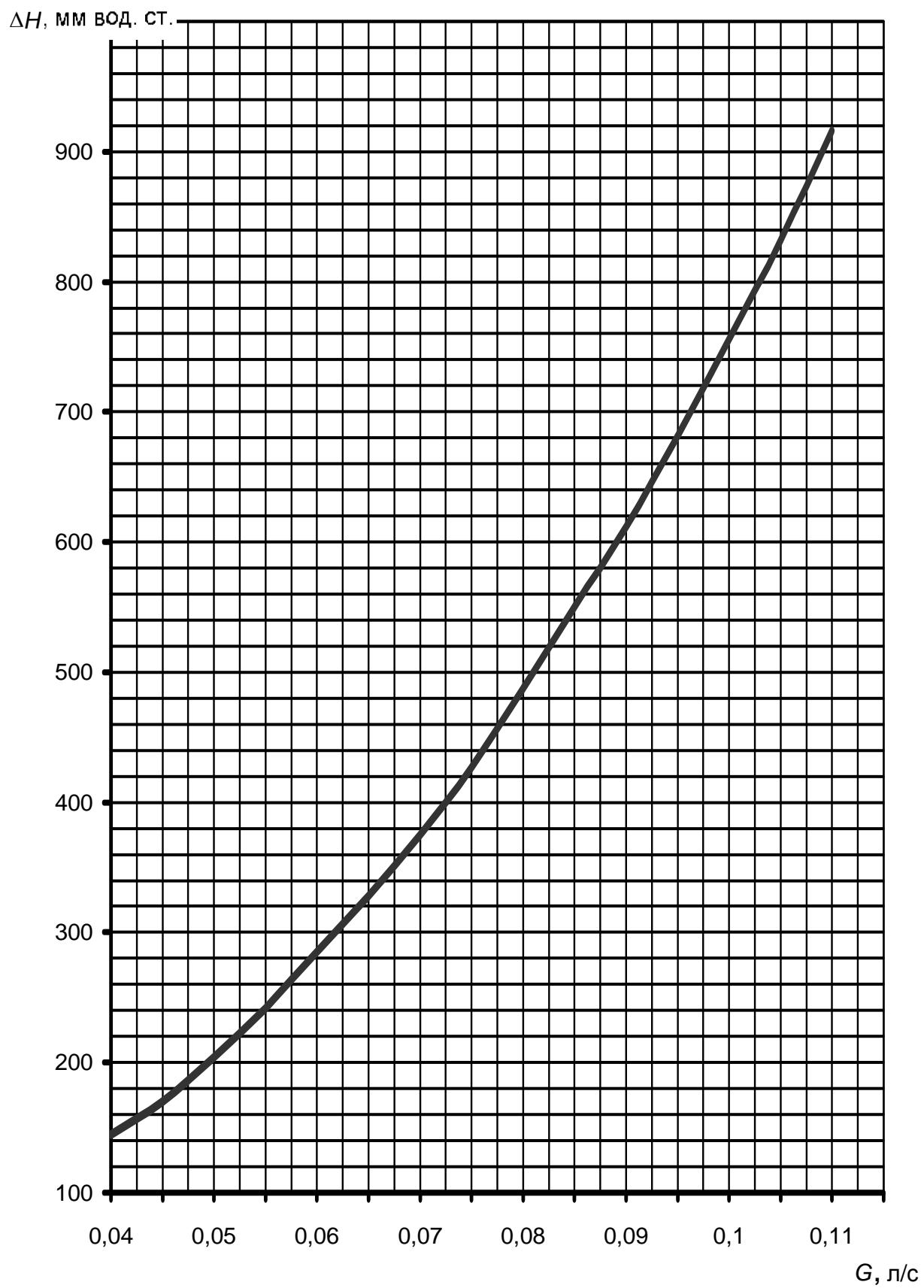


Рис. 5. График для определения расходов воды

3) для участка ef :

- величину коэффициентов k_v и k_R ;
- действительную скорость движения воды на участке ω_3 ;
- среднюю величину зарастания Δd ;
- критерий Рейнольдса Re ;
- режим движения жидкости;
- вывести зависимости $k_v = f(d_{вн}, \Delta d)$ и $k_R = f(k_v)$.

Сравнить полученные данные с имеющимися в литературе. При расчетах коэффициенты эквивалентной шероховатости и гидравлического трения принять равными для гидравлически гладкой и заросшей трубы. Результаты расчета занести в табл. 11.

Таблица 8

Расчет участка gh, ik

№ опыта	$V, \text{ л/с}$	$\omega_{gh}, \text{ м/с}$	$R_{gh}, \text{ Па/м}$	Re	λ	k_3	$\frac{Re k_3}{d_{вн}}$	Примечание
1								
2								
3								
Среднее								

Таблица 9

Расчет участка ab

№ опыта	$\Delta P_M, \text{ Па}$	k_M	Компенсатор		Отводы	
			$l_{эКВ}, \text{ м}$	ξ_K	$l_{эКВ}, \text{ м}$	ξ_o
1						
2						
3						
Среднее						

Таблица 10

Расчет участков bc, cd, kl, lm

№ опыта	Участок bc					Участок cd			
	$\Delta P_M, \text{ Па}$	k_M	$l_{эКВ}, \text{ м}$	$l_{эКВ}, \text{ м}$	ξ_y	$\Delta P_M, \text{ Па}$	k_M	$l_{эКВ}, \text{ м}$	ξ_B
1									
2									
3									
Среднее									

Таблица 11

Расчет заросшей трубы

№ опыта	k_R	k_v	$\omega_3, \text{ м/с}$	$\Delta d, \text{ мм}$	Re	$\frac{Re k_3}{d_{вн}}$	Примечание
1							
2							
3							
Среднее							

4. Правила техники безопасности

Общие для поведения в лаборатории.

5. Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен содержать:

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) протокол записи показаний дифманометров;
- 4) обработку результатов опытов (приводятся все расчеты);
- 5) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные задачи гидравлического расчета?
2. Где используют результаты гидравлического расчета?
3. Из чего складываются потери давления в трубопроводе?
4. Что называется гидравлической и эквивалентной шероховатостью?
5. Какие существуют виды гидравлических режимов? Чем они качественно различаются между собой?
6. Что такое турбулентный режим? Какие виды турбулентного режима могут быть? Чем они качественно различаются между собой?
7. От чего зависит коэффициент гидравлического трения λ ?
8. Для чего служат коэффициенты k_v , k_R , k_m , ξ ?
9. Как в гидравлическом расчете можно учесть потери давления на местные сопротивления?
10. Что называют эквивалентной длиной местного сопротивления?
11. От чего происходит зарастание труб? На что оно влияет?

Список рекомендуемой литературы

1. СП 124.13330.2012 «СНиП 41-02-2003 Тепловые сети» Актуализированная редакция / ФАУ «ФЦС», М., 2012. 74 с.
2. Козин В. Е. Теплоснабжение / Козин В. Е., Левина Т. А., Марков А. П. и др. М.: Высш. шк. 1980. С. 157-164, 403.
3. Ионин А. А., Хлыбов Б. М., Братенков Б. Н. и др. Теплоснабжение. Под ред. А. А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. С. 183-192.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. 7-е изд., стереотипное. М.: МЭИ, 2001. С. 182-194.

Лабораторная работа № 4

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДОВОДЯНОГО СКОРОСТНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Цель работы – углубление знаний по разделу "Оборудование тепловых пунктов" курса "Теплоснабжение".

Содержание работы: аналитически и экспериментально определить гидравлическое сопротивление водоводяного кожухотрубного скоростного подогревателя по трубному и межтрубному пространствам.

1. Теоретическая часть

В тепловых пунктах устанавливают водоподогреватели различных типов и конструкций. Наиболее часто используют кожухотрубные скоростные водоподогреватели. В них основными конструктивными элементами являются цилиндрический корпус и пучок гладких трубок, размещаемый внутри корпуса. Один из теплоносителей движется по межтрубному пространству, другой – внутри трубок. При движении теплоносителей обеспечивается интенсивный теплообмен, поэтому такие подогреватели называются скоростными.

Водоводяные скоростные подогреватели выпускают в настоящее время разъемными. Собирая на месте подогреватели с различным числом однотипных секций, получают требуемую поверхность нагрева. Между собой секции соединяют по одному теплоносителю на фланцах, по другому – калачами.

Корпус секции выполняется из стальной бесшовной трубы. Внутри корпуса расположены латунные трубки диаметром 16 x 1 мм (наружный диаметр x толщина стенки). Корпусы теплообменников выпускают длиной 2,0 и 4,0 м, наружным диаметром от 57 до 530 мм, число трубок от 4 до 450 (ТУ 400-28-429-92Е, ГОСТ 27590 – 88). Подогреватели рассчитаны на рабочее давление до 10 МПа.

В подогревателях, предназначенных для горячего водоснабжения, греющую воду направляют в межтрубное пространство, нагреваемую – в трубки. Этим достигается: во-первых, выравнивание скоростей движения сетевой и водопроводной воды, так как расход сетевой воды обычно больше чем водопроводной; во-вторых, удаление осаждающейся накипи легче производить с внутренней поверхности трубок, чем с наружной.

При подборе насосного оборудования местных систем горячего водоснабжения и сетевых насосов источников теплоснабжения необходимо знать гидравлическое сопротивление подогревателей как по сетевой, так и по нагреваемой воде.

Гидравлическое сопротивление подогревателей складывается из потерь на трение по длине и потерь в местных сопротивлениях.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}} = \frac{\lambda}{d_3} \cdot \frac{\omega^2}{2} \rho \cdot l \cdot n + \sum \xi \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho,$$

где $\Delta P_{\text{л}}$ – потери на трение по длине, Па; $\Delta P_{\text{м}}$ – потери давления в местных сопротивлениях, Па; λ – коэффициент гидравлического трения, можно принимать равным 0,03 - 0,04; d_3 – эквивалентный диаметр, м, при расчете гидравлических потерь в трубном пространстве равен внутреннему диаметру трубок при расчете потерь давления в межтрубном пространстве:

$$d_3 = \frac{D_{\text{вн}}^2 - z d_{\text{н}}^2}{D_{\text{вн}} + z d_{\text{н}}},$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр корпуса подогревателя, м; $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр трубки, м; z – число трубок; ω – скорость движения теплоносителя, м/с; ρ – плотность принимаемая при средней температуре теплоносителя (табл. 14),

кг/м³; l – длина одного хода подогревателя, м; n – количество секций;
 $\Sigma\xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений (определяется согласно табл. 13).

Скорость движения теплоносителя определяется из соотношения

$$G = \rho \cdot \omega \cdot f,$$

где G - массовый расход теплоносителя, кг/с; f - площадь сечения трубного или межтрубного пространства, м² (принимается по справочным таблицам – табл. 15).

2. Описание экспериментальной установки

Установка (рис. 6) смонтирована из двух секций 3-76x2000-Р (ТУ 400-28-429-92Е). Перемещение воды в подогревателе осуществляется насосом 2. Расход воды в подогревателе определяется с помощью водомера 4. Для компенсации возможных утечек воды и увеличения ее объема вследствие температурного расширения служит расширительный бак 3. Дифференциальные манометры 5, 6 предназначены для определения потерь напора соответственно в трубном и межтрубном пространствах. Вентили 7, 7', 8, 8', 9 регулируют работу установки.

3. Методика проведения опыта и обработка результатов

Закрывают вентили 7 и 7' (8 и 8' открыты). Включить насос 2. По дифманометру 5 определить потери напора в трубном пространстве подогревателя. Замерив показания водомера за какой-либо период времени (рекомендуется 3 мин.), определить расход воды в трубном пространстве. Изменив производительность насоса 2 вентилем 9, повторить замеры. Выполнить 3 опыта. Открыть вентили 7 и 7', после чего закрыть вентили 8 и 8'. Выполнить измерения при движении воды в межтрубном пространстве. При этом потери напора определяются по дифманометру 6. Измерения выполняются при трех различных производительностях насоса. Результаты занести в табл. 12.

Для каждого гидравлического режима в трубном и межтрубном пространствах аналитически рассчитать потери давления (п. 1).

Сравнить значения полученные теоретически с экспериментальными.

Таблица 12

Форма протокола измерений

№ опыта	Расход воды G , кг/с	Скорость движения воды ω , м/с	Гидравлические потери			Примечание
			экспериментальные		по расчету	
			ΔH , мм. вод. ст	ΔP , Па	ΔP , Па	
Трубное пространство						
1						
2						
3						
Межтрубное пространство						
1						
2						
3						

Таблица 13

Коэффициенты местных сопротивлений в теплообменных аппаратах

Тип местного сопротивления	ξ
Вход в камеру и выход из камеры под углом 90° к трубкам	1,5
Вход в трубки секционных подогревателей	0,31-0,34
Выход из трубок и камеры секционных подогревателей	0,53-0,56
Огибание перегородок, поддерживающих трубки	0,5-1
Поворот на 180° при переходе потока из одной секции в другую	2

Таблица 14

Плотность воды в зависимости от температуры

Температура воды, $^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	999,8	999,7	999,6	998,9	998,2	996,9

Примечание: при данных температурах с достаточно большой точностью для расчетов можно принимать $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Таблица 15

Основные размеры водоводяного подогревателя (ТУ 400–28–429–92Е)

Обозначение	D_n , мм	$D_{вн}$, мм	Число трубок, Z	Площадь живого сечения	
				трубок $f_{тр.}$, м^2	межтрубного пространства $f_{м.тр.}$, м^2
3-76x2000-р	76	69	7	0,00108	0,00233

4. Правила техники безопасности

Ознакомиться со схемой лабораторной установки и порядком выполнения работы. Включение и изменение режимов работы экспериментальной установки выполняется под наблюдением преподавателя или лаборанта.

При появлении запаха гари, искрения насоса, утечек воды в установке немедленно отключить насос и сообщить преподавателю или лаборанту.

5. Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен содержать:

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) протокол записи измерений и результатов расчетов;
- 4) обработку результатов (приводятся все расчеты);
- 5) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие виды теплообменных аппаратов вы знаете?
2. От чего зависит гидравлическое сопротивление подогревателя?
3. Для чего необходимо знать гидравлическое сопротивление подогревателя?
4. В чем отличие многоходовых водоподогревателей от емкостных?
5. В чем отличие многоходовых водоподогревателей от секционных?
6. В каких случаях в системах горячего водоснабжения устанавливают емкостные подогреватели?
7. Какие основные погрешности заранее заложены в данной лабораторной работе?
8. Какие водоподогреватели называются скоростными и почему?

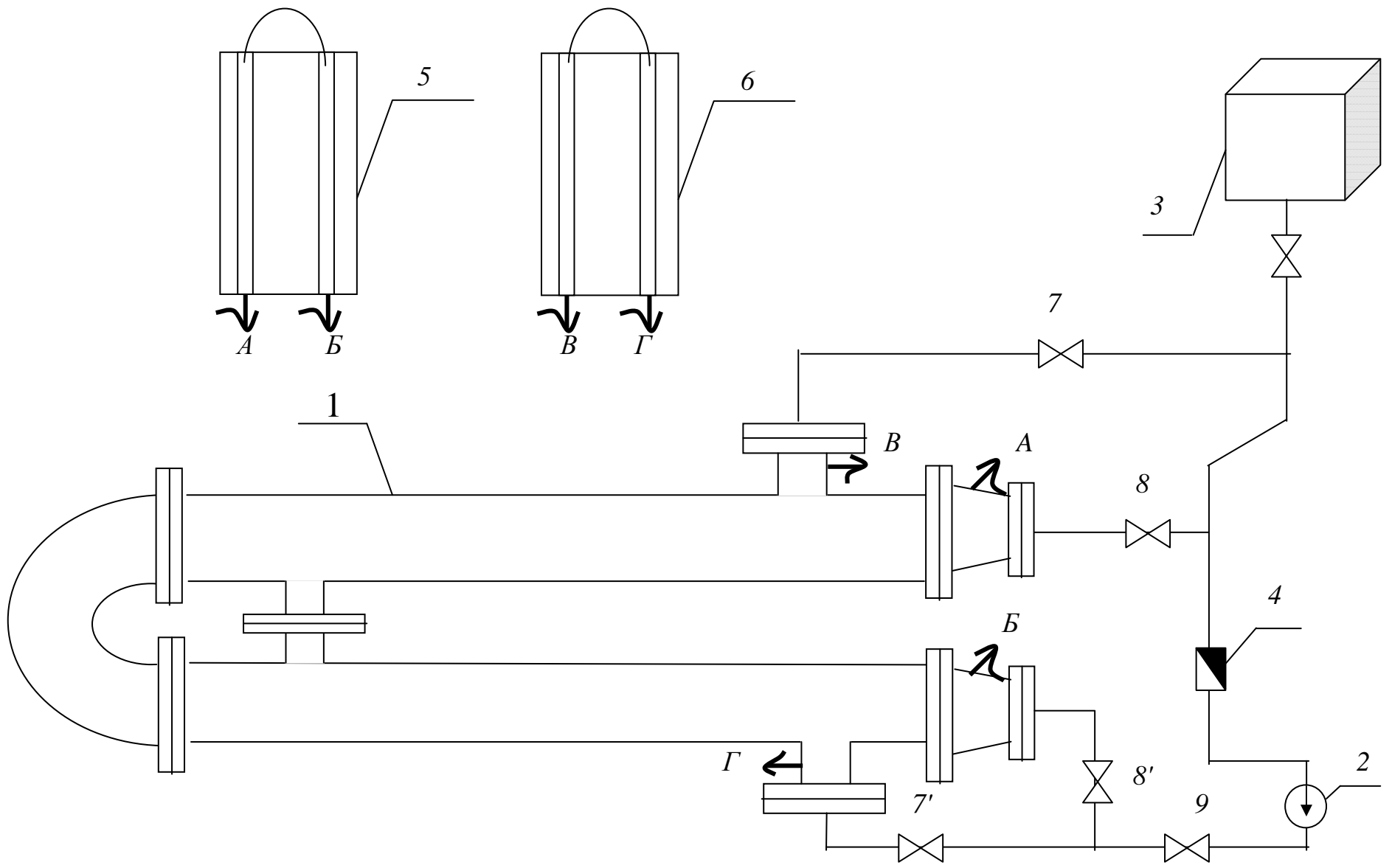


Рис. 6. Схема экспериментальной установки

9. Какие местные сопротивления встречаются в подогревателе при движении воды в трубном пространстве?
10. Какие местные сопротивления встречаются в подогревателе при движении воды в межтрубном пространстве?

11. Каково устройство водоводяного скоростного подогревателя?

Список рекомендуемой литературы

1. Ионин А.А., Хлыбов Б.М., Братенков Б.Н. и др. Теплоснабжение. Под ред. А. А.Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. С. 61 – 72.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. 7-е изд., стереотипное. М.: МЭИ, 2001. С. 266-278.
3. Манюк В. И., Каплинский Я. И., Хиж Э. Б. и др. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник. М.: Стройиздат, 1988. С.48 – 53.

Лабораторная работа № 5

ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДОВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Цель работы – усвоение основных понятий и расчетных зависимостей раздела «Тепловой расчет теплообменных аппаратов» курса «Теплоснабжение».

Содержание работы: определить экспериментально и рассчитать теоретически коэффициент теплопередачи водоводяного подогревателя, вычислить коэффициент полезного действия водоподогревателя и коэффициент загрязнения теплообменной поверхности.

1. Теоретическая часть

Большую роль в системах теплоснабжения играют водоподогреватели. Они применяются в системах горячего водоснабжения и отопления на абонентских вводах, в центральных тепловых пунктах, на источниках тепла (ТЭЦ, центральные котельные) и т. п.

В водоводяных подогревателях систем теплоснабжения необходимо осуществлять противоточное движение теплоносителей, так как это дает возможность получить наиболее глубокое охлаждение первичного теплоносителя и наиболее высокий нагрев вторичного при прочих равных условиях.

Важнейшим элементом теплового расчета подогревателя является определение коэффициента теплопередачи, который зависит от скоростей движения теплоносителей, их температуры, физических свойств, состояния теплопередающей поверхности (чистая или загрязненная) и др. Теплопроизводительность подогревателя можно определить при известных расходах теплоносителей, их теплоемкостях и падении (или приросте) температуры теплоносителей в подогревателе.

В идеальном случае

$$Q = G_1 \cdot c_1 \cdot (\tau_1 - \tau_2) = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_1), \quad (1^*)$$

где G_1, G_2 – расход соответственно первичного (греющего) и вторичного (нагреваемого) теплоносителя, кг/с; c_1, c_2 – теплоемкость теплоносителей при

средней температуре, кДж/(кг °C) (табл. 17); τ_1, τ_2 – температуры первичного теплоносителя на входе и на выходе из подогревателя, °C; t_1, t_2 – температуры вторичного теплоносителя на входе и на выходе из подогревателя, °C.

В реальных условиях при наличии теплопотерь в окружающую среду равенство (1*) не выполняется. В этом случае теплопроизводительность подогревателя определяется по нагреву вторичного теплоносителя:

$$Q = G_2 c_2 (t_2 - t_1). \quad (1)$$

Зная теплопроизводительность подогревателя и тепловой поток, отдаваемый первичным теплоносителем, можно рассчитать коэффициент полезного действия подогревателя:

$$\eta = \frac{Q}{Q^*} = \frac{G_2 c_2 (t_2 - t_1)}{G_1 c_1 (\tau_2 - \tau_1)}. \quad (2)$$

С другой стороны, теплопроизводительность можно определить по формуле Ньютона:

$$Q = \pi \cdot k \cdot \mu \cdot L \cdot \Delta t = \pi \cdot k_1 \cdot L \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_{вн}} + \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{d_n}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_2 d_n}} \quad (4)$$

коэффициент теплопередачи чистой поверхности теплообмена, Вт/(м °C);

μ – коэффициент загрязнения теплообменной поверхности, $\mu = k_1/k$; k_1 – коэффициент теплопередачи загрязненной теплообменной поверхности, $k_1 = k \cdot \mu$,

Вт/(м °C); L – длина поверхности теплообмена, м; $\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}$ – среднелогарифмический температурный напор, °C;

α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи соответственно от теплообменной поверхности к нагреваемой воде и от греющей воды к теплообменной поверхности, Вт/(м² °C):

– при турбулентном движении воды ($Re \geq 2300$)

$$\alpha = 1,16(1210 + 18\theta - 0,038\theta^2) \frac{\omega^{0,8}}{d_3^{0,2}};$$

– при ламинарном режиме и в переходной области ($Re \leq 2300$)

$$\alpha = (93 + 0,7\theta - 0,0058\theta^2) \frac{\omega^{0,8}}{d_3^{0,2}} \nu^{0,1},$$

где $Re = (\omega \cdot d_3) / \nu$ – число Рейнольдса; d_3 – эквивалентный диаметр канала, м:

– для каналов круглого сечения $d_3 = d_{вн}$;

– для других форм каналов $d_3 = 4f/P$;

f – площадь сечения канала, м²; P – омываемый периметр канала, м; ω – скорость движения воды, м/с, определяемая из соотношения $G = \rho \omega f$; ρ – плотность теплоносителя при его средней температуре, кг/м³, (табл. 17); ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с, (табл. 17); θ – средняя температура

теплоносителя, °C; ν – температурный напор между теплоносителем и стенкой, °C: $\nu_1 = t_{ст} - t_{ср}$; $\nu_2 = \tau_{ср} - t_{ст}$; $t_{ст} \cong \frac{\tau_{ср} + t_{ср}}{2}$ – температура стенки, °C; $\tau_{ср}$ и $t_{ср}$ – средние температуры первичного и вторичного теплоносителей, °C; $d_{вн}$ и $d_{н}$ – внутренний и наружный диаметры теплообменной поверхности, м; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки, для стали можно принять $\lambda_{ст} \cong 46$ Вт/(м² °C); $\Delta t_б$ и $\Delta t_м$ – большая и меньшая разность температур между теплоносителями по концам теплообменника, °C.

2. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка выполнена в виде теплообменника типа «труба в трубе» (рис. 7). Теплообменник изготовлен из стальных оцинкованных водогазопроводных труб, корпус $D_{н} = 0,0423$ м, $D_{вн} = 0,0359$ м, внутренняя труба $d_{вн} = 0,0212$ м, $d_{н} = 0,0268$ м. Длина теплообменной поверхности $L = 2,0$ м.

Греющая сетевая вода, проходящая через межтрубное пространство подогревателя, нагревается в скоростном электрическом водоподогревателе 2 и циркулирует по замкнутому контуру с помощью насоса 1. Расход воды регулируется вентилем 12 и определяется с помощью измерительной диафрагмы 7 или водомера 16. Для выпуска воздуха из замкнутого контура сетевой воды служит вентиль 11. Расширительный бак 10 компенсирует возможные утечки воды и увеличение объема воды вследствие температурного расширения при нагреве. Термометры 5 и 6 служат для измерения температуры сетевой воды на входе и выходе теплообменника.

Холодная водопроводная вода, расход которой регулируется вентилем 13 и определяется с помощью измерительной диафрагмы 14 или водомера 15, поступает во внутреннюю трубу противотоком относительно греющей воды. После нагрева она сливается в канализацию. Термометры 3 и 4 измеряют температуру нагреваемой воды на выходе и входе водоподогревателя.

3 Методика проведения опытов и обработка результатов

Вентилем 13 устанавливается фиксированный расход водопроводной воды. Включается насос 1 и вентилем 12 устанавливается расход греющей воды. С помощью вентиля 11 выпускается воздух из системы, после чего включается электроводоподогреватель 2.

После прогрева установки измеряют температуры сетевой и нагреваемой воды на входе и выходе из водоподогревателя. Замеры повторяют через 3–4 мин. до достижения системой стационарного теплового состояния. Результаты заносят в табл. 16 (ввиду отсутствия необходимого для выхода в стационарное состояние промежутка времени выполняют 3–4 измерения и дальнейшие вычисления производят по последним значениям замеренных температур).

Расход сетевой и нагреваемой воды определяют по графикам (рис. 8, 9) в зависимости от потерь напора на измерительных диафрагмах (дифманометры 8 и 9) или измерив показания водомеров 15, 16 за фиксированный промежуток времени (рекомендуется 5–10 мин.).

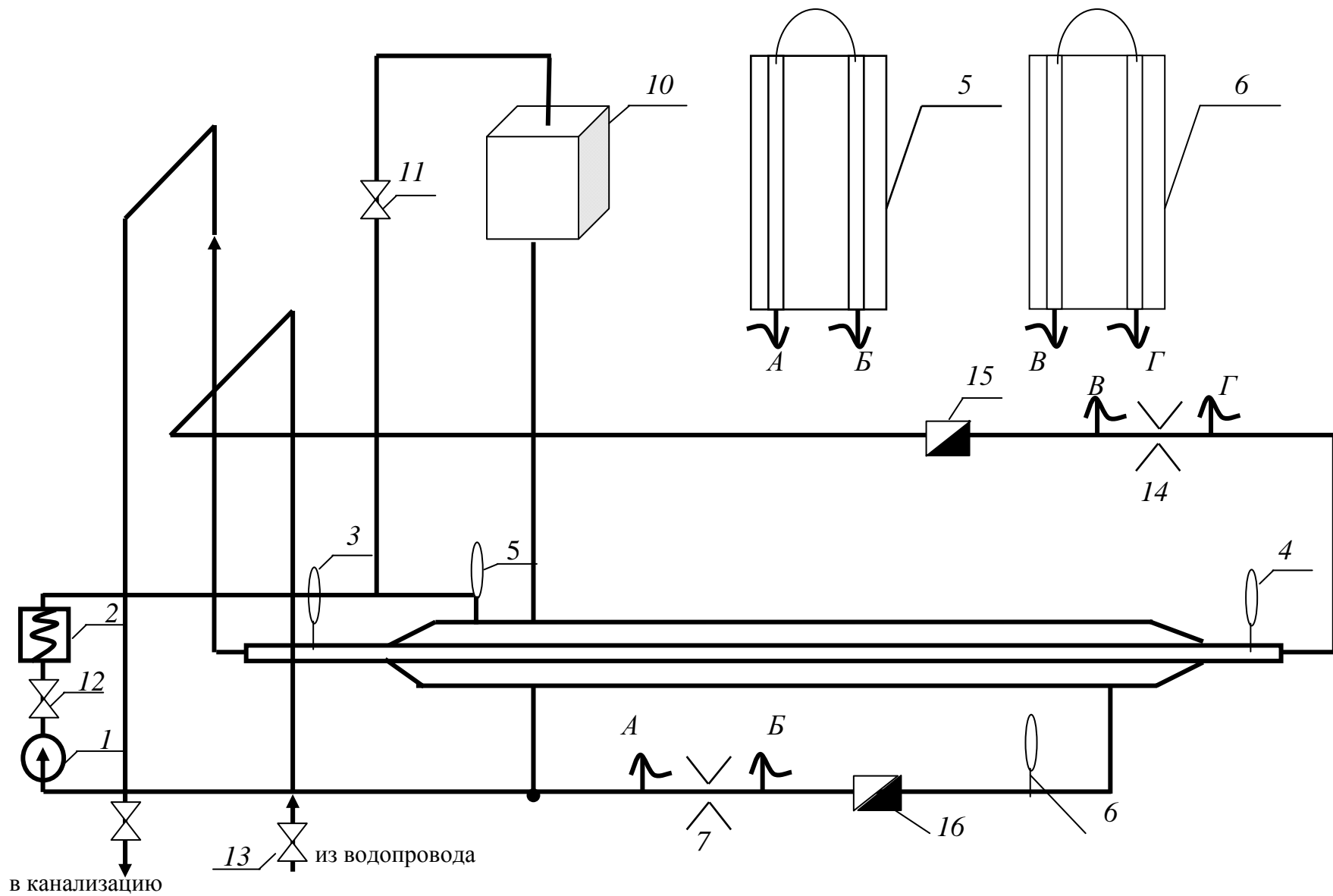


Рис. 7. Схема экспериментальной установки

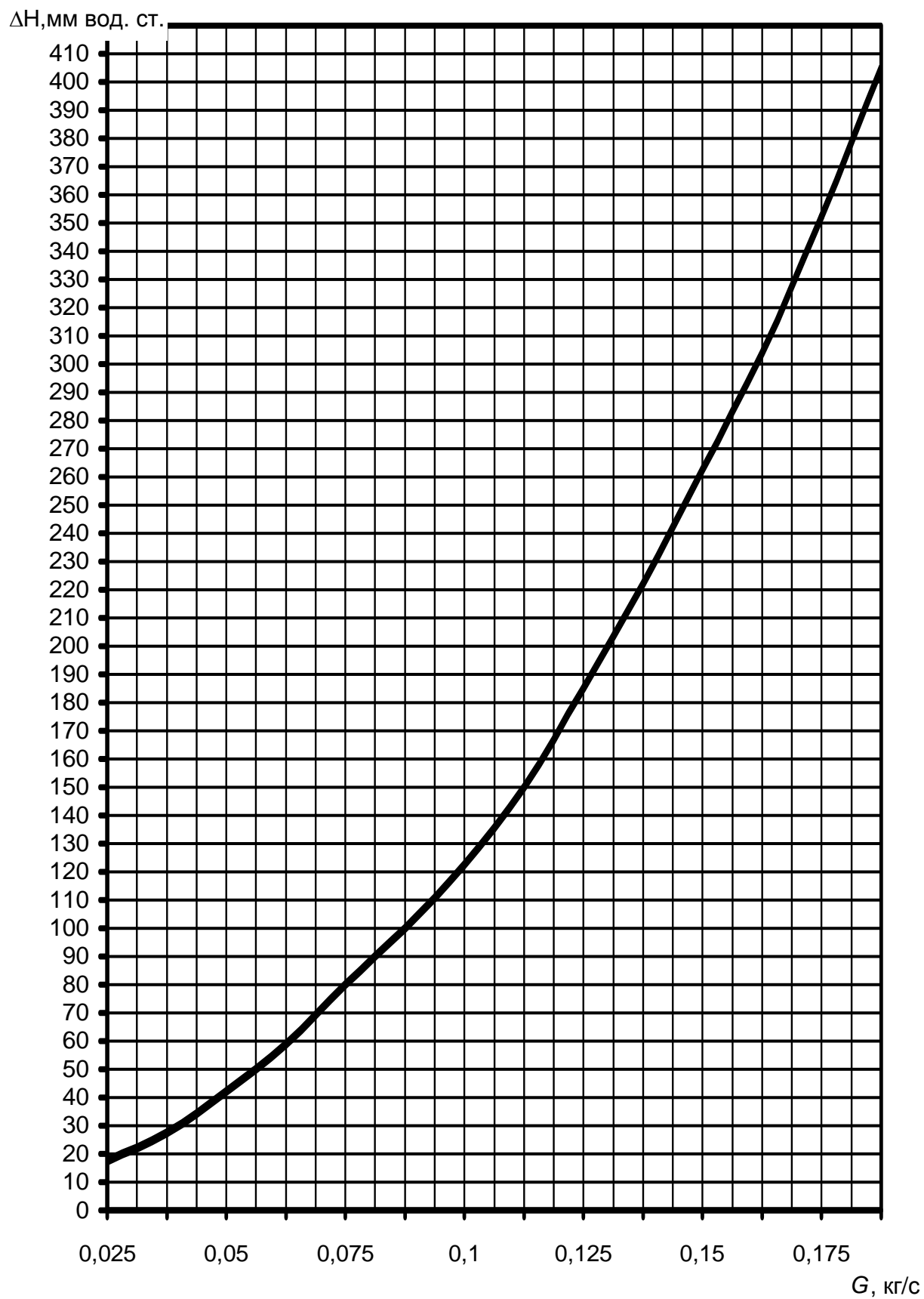


Рис.8. График для определения расходов греющей воды

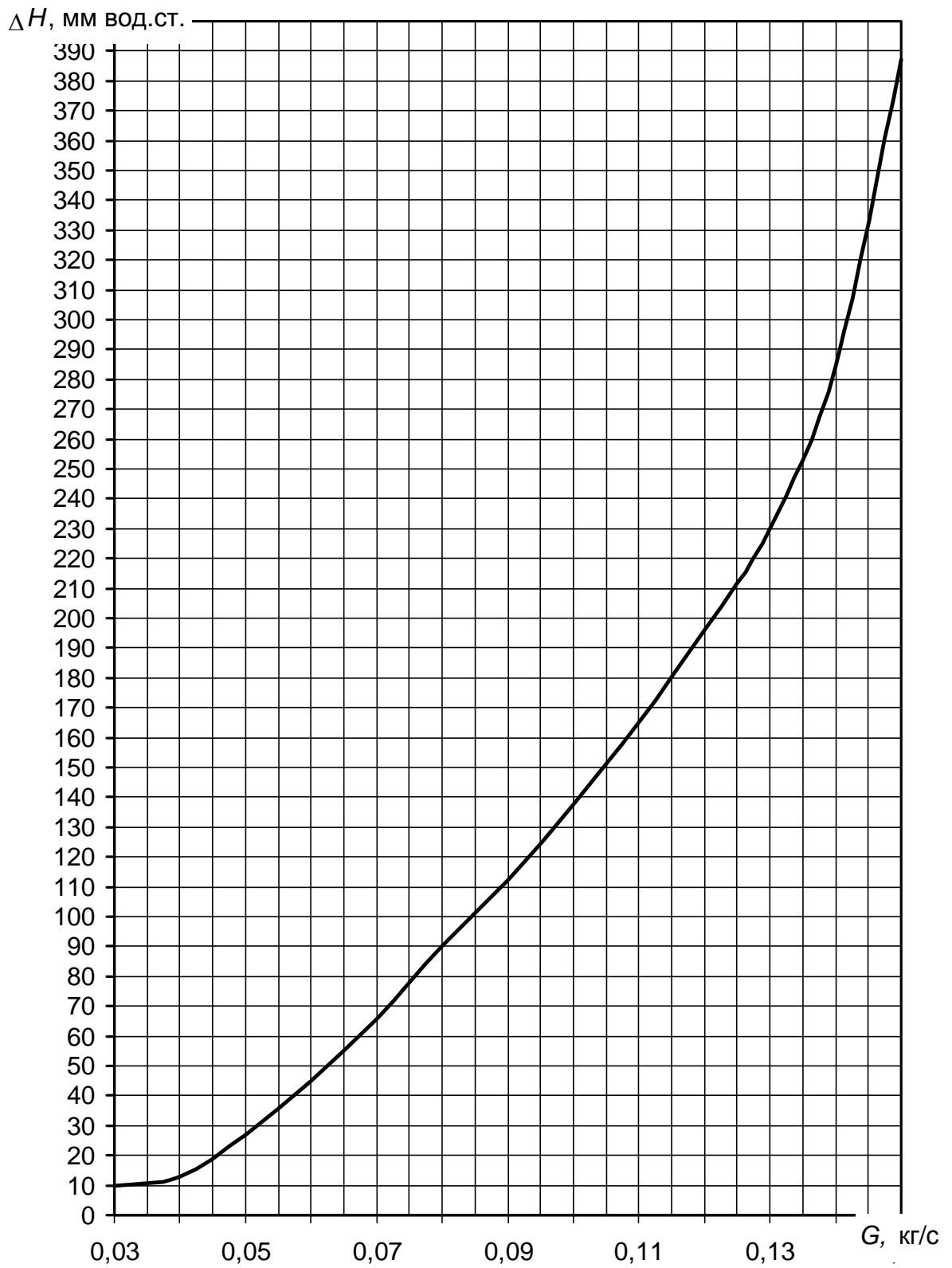


Рис. 9 График для определения расходов нагреваемой воды

Измерения и расчеты производятся для трех различных режимов. По формуле (1) определяется теплопроизводительность водоподогревателя. По формулам (3) и (4) определяются коэффициенты теплопередачи теплообменника с учетом загрязнения и для чистой теплообменной поверхности, из их соотношения определяется коэффициент загрязнения теплообменной поверхности. Необходимые для расчетов характеристики воды приведены в табл. 17.

После определения теплового потока, отдаваемого в водоподогревателе сетевой водой, рассчитывают КПД водоподогревателя по формуле (2).

Таблица 16

Форма протокола наблюдений

№ режима и зам-ра	$\tau_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$\tau_2, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	ΔH_1 мм вод. ст.	$G_1, \text{ кг/с}$	ΔH_2 мм вод. ст.	$G_2, \text{ кг/с}$	$Q, \text{ Вт}$	$Q^*, \text{ Вт}$	η	Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$		μ	Примечания
												k	k_1		
I															
1															
2															
3															
...															
II															
1															
2															
3															
...															

Таблица 17

Физические свойства воды в зависимости от температуры

Температура воды, $^\circ\text{C}$	0,01	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Теплоемкость, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$	4,128	4,193	4,18	4,178	4,179	4,181	4,184	4,189	4,196	4,20
Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	999,8	999,6	998,2	995,6	992,2	988,1	983,2	977,8	971,8	965,
Коэффициент кинематической вязкости $\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	1,789	1,306	1,006	0,805	0,659	0,556	0,478	0,415	0,326	0,32

4. Правила техники безопасности

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться со схемой экспериментальной установки и порядком выполнения лабораторной работы.

Переключение режимов выполнять под наблюдением преподавателя или лаборанта.

Не допускается нагрев воды в установке выше 100 °С.

При ощущении запаха гари, появлении искр, утечек воды немедленно отключить электрический водоподогреватель, насос и сообщить преподавателю или лаборанту.

5. Содержание отчета

Отчет о выполненной работе должен содержать:

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) протокол записи измерений;
- 4) обработку результатов опытов (приводятся все расчеты);
- 5) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены и какие используются виды водоподогревателей?
2. Каковы цели теплового расчета водоподогревателей?
3. От чего зависит теплопроизводительность теплообменника?
4. Каковы пути интенсификации теплоотдачи теплообменников?
5. Чем определяется величина коэффициента теплопередачи теплообменника?
6. Что характеризует коэффициент полезного действия водоподогревателя и как его можно увеличить?
7. От чего зависит коэффициент теплоотдачи режимов?
8. От чего происходит загрязнение теплообменной поверхности?
9. Как влияет режим движения теплоносителей в водоподогревателе на величину коэффициента теплоотдачи?
10. Каковы принципы действия регенеративных, рекуперативных и смешительных теплообменников?

Список рекомендуемой литературы

1. Ионин А. А., Хлыбов Б. М., Братенков Б. Н. и др. *Теплоснабжение*. Под ред. А. А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. С. 61-70.
3. Козин В. Е. *Теплоснабжение*/ Козин В. Е., Левина Т. А., Марков А. П. и др. М.: Высш. шк. 1980. С. 136-149.
4. Михеев И. А., Михеева И. И. *Основы теплопередачи*. М.: Энергия, 1973. С. 228-254.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УДЛИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель работы – углубление знаний по разделу "Компенсация температурных удлинений трубопроводов" курса "Теплоснабжение".

Содержание работы: исследовать зависимость термического удлинения трубопровода от температуры его нагрева; определить коэффициента линейного расширения материала трубопровода и его зависимости от температу-

ры; исследовать условий компенсации температурных удлинений П-образного компенсатора; выполнить проверку на самокомпенсацию изогнутого участка трубопровода.

1. Теоретическая часть

Компенсация температурных деформаций стальных трубопроводов имеет исключительно важное значение в технике транспорта теплоты. Удлинение труб в результате теплового расширения металла, m , определяется по формуле

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot (t_w - t_o), \quad (1)$$

где α – коэффициент линейного расширения, $1/^\circ C$; l – длина рассматриваемого участка трубопровода, m ; t_w – рабочая температура стенки трубы, $^\circ C$; t_o – температура монтажа трубопровода, $^\circ C$.

Если в трубопроводе отсутствует компенсация температурных удлинений, то при сильном нагревании в стенке трубопровода могут возникнуть большие разрушающие напряжения, значения которых могут быть определены по закону Гука:

$$\sigma = E \cdot i, \quad (2)$$

где E – модуль упругости первого рода, МПа (табл. 20); i – относительная деформация.

Если участок трубы заземлен и при нагревании не удлиняется, то его относительное сжатие определится по формуле

$$i = \Delta l / l = \alpha(t_w - t_o). \quad (3)$$

Следовательно, возникающие напряжения не зависят от длины заземленного участка и диаметра трубопровода, а определяются только температурным перепадом и материалом, из которого изготовлен трубопровод. При этом величина возникающего напряжения может превысить предел прочности материала трубы, что приводит к ее разрушению.

Для устранения (или значительного уменьшения) разрушающих напряжений в тепловых сетях применяют компенсирующие устройства, а также использует гибкость труб на поворотах трассы тепловых сетей (самокомпенсацию).

По принципу работы компенсаторы подразделяют на две группы: осевые и радиальные. Осевые компенсаторы устанавливают на прямолинейных участках трубопровода, так как они предназначены для компенсации усилий, возникающих только в результате осевых удлинений. Радиальные компенсаторы могут использоваться при любой конфигурации тепловой сети, так как они компенсируют как осевые, так и радиальные усилия. Самокомпенсация не требует установки специальных устройств, поэтому ее необходимо применять в первую очередь.

В тепловых сетях находят применение сальниковые, линзовые и манжетные осевые компенсаторы. Сальниковый компенсатор (рис. 10) состоит из корпуса 2, стакана 1 и уплотнительных приспособлений. Температурные деформации приводят к перемещению стакана 1 внутри корпуса 2. Между ни-

ми для герметизации помещается сальниковая набивка 3. Набивка зажимается между опорным кольцом 4 и грундбуксой 5 при помощи болтов 6.

В качестве сальниковой набивки применяют асбестовые прографиченные кольца толщиной 6 – 12 мм или термостойкую резину. В процессе работы набивка изнашивается и теряет упругость, поэтому требуются периодическая подтяжка компенсатора и замена сальниковой набивки. Для возможности проведения ремонта сальниковые компенсаторы размещают в теплофикационных камерах.

Изготавливают сальниковые компенсаторы одностороннего (рис. 10) и двустороннего действия. Двусторонние применяют, как правило, для уменьшения числа камер и увеличения компенсирующей способности компенсатора. Они устанавливаются в тепловой камере, в середине их помещается неподвижная опора, разделяющая участки труб, удлинения которых компенсируются каждой из сторон компенсатора.

Компенсаторы непосредственно ввариваются в трубу, поэтому их основными достоинствами являются малые габарита и низкое гидравлическое сопротивление. Они нашли широкое применение в тепловых сетях. При подземной прокладке сальниковые компенсаторы устанавливают на трубопроводах тепловых сетей диаметром 100 мм и более, при надземной – диаметром 800 мм и более при прокладке, как правило, на низких опорах.

В линзовых компенсаторах при температурных деформациях труб происходит сжатие упругих стальных линз. При этом обеспечивается полная герметичность системы и не требуется обслуживания компенсаторов. Для уменьшения гидравлического сопротивления линзовых компенсаторов внутрь гофрированного корпуса вставляется гладкая труба. Линзовые компенсатора сварного типа находят применение на трубопроводах, работающих при давлениях до 0,5 МПа. Для компенсации больших термических деформаций компенсаторы выполняют с большим количеством линз.

К недостаткам осевых компенсаторов следует отнести жесткие требования к соосности смежных участков трубопроводов и передачу на неподвижные опоры реакций внутреннего давления теплоносителя в трубопроводах.

В радиальных компенсаторах термическая деформация трубопровода воспринимается с помощью специального изгиба отдельных его участков. К компенсаторам этого типа относятся П- и S-образные, лирообразные, омегообразные и другие (схемы некоторых типов радиальных компенсаторов приведены на рис. 11). Преимуществами радиальных компенсаторов являются: простота устройства, надежность, отсутствие необходимости в постоянном надзоре и уходе, разгруженность неподвижных опор от усилий внутреннего давления.

Наибольшее распространение на практике вследствие простоты изготовления получили П-образные компенсаторы (рис. 11 а). Их компенсирующая способность определяется суммой деформаций по оси каждого из участков трубопровода (рис. 12 а):

$$\Delta = \Delta/2 + \Delta/2.$$

Для увеличения компенсирующей способности компенсатора производят его предварительную растяжку (рис. 12 б). При этом спинка компенсатора в предварительно растянутом состоянии изогнута внутрь и испытывает изгибающее напряжение. Вследствие удлинения при нагреве трубопровода, компенсатор приходит сначала в ненапряженное состояние, а затем уже спинка изгибается наружу и в ней возникают изгибающие напряжения обратного знака. В крайних положениях, т. е. при предварительной растяжке и максимальной температуре теплоносителя в трубопроводе достигаются предельно допустимые напряжения, компенсирующая способность компенсатора увеличивается в два раза по сравнению с компенсаторами без предварительной растяжки.

При известных наружном диаметре трубопровода и размерах компенсатора (вылет H и полка B) можно предварительно определить его компенсирующую способность

$$\Delta = \frac{\sigma_d \cdot H^2 \cdot (1 + 6n)}{1,5 \cdot E \cdot d_n}, \quad (4)$$

где Δ – компенсирующая способность компенсатора, мм; σ_d – допустимое напряжение материала трубопровода, МПа (табл. 20); H – вылет компенсатора, м; $n = B/H$ – отношение длины полки компенсатора к вылету; d_n – наружный диаметр трубопровода, мм.

Рассчитав компенсирующую способность компенсатора и термическое удлинение заземленного участка, можно определить количество компенсаторов, которое необходимо установить на трубопроводе

$$m = \Delta l / \Delta, \quad (5)$$

где m – количество равномерно установленных компенсаторов.

Компенсирующая способность сальниковых и П-образных компенсаторов приводится в справочной литературе.

Если участок трубопровода между неподвижными опорами имеет несколько поворотов или пространственно изогнут, то для компенсации термических деформаций используют гибкость трубопровода на поворотах – естественную компенсацию (самокомпенсацию).

При естественной компенсации на поворотах трассы температурные деформации трубопроводов приводят к поперечным смещениям участков (рис. 13). Расчет естественной компенсации заключается в нахождении усилий и напряжений, возникающих в трубопроводе под действием упругой деформации, выборе длин взаимодействующих плеч трубопровода и определении смещения участков трубопровода при компенсации. При выборе способа компенсации температурных деформаций трубопровода, имеющего повороты, следует предварительно проверить его на самокомпенсацию.

Для этого предварительно определяются комплексы β и η :

$$\beta = \frac{l_k}{S} - 1; \quad (6)$$

$$\eta = \frac{\alpha \cdot E \cdot d_n (t_w - t_0)}{\sigma_d \cdot l_k}, \quad (7)$$

где l_k – длина рассматриваемого участка трубопровода, м; S – кратчайшее расстояние между неподвижными опорами, м; d_n – наружный диаметр трубопровода, м; t_w – рабочая температура стенки трубопровода, °C; t_0 – температура монтажа трубопровода, °C.

На рис. 14 в координатах η – β построены пограничные кривые, разделяющие координатную систему на три зоны – A , B и C . Если точка, построенная по полученным значениям комплексов η и β , попадает в область A , то трубопровод самокомпенсируется; в области B необходимы дополнительные уточняющие расчеты; попадание точки в область C свидетельствует о том, что трубопровод полностью не самокомпенсируется и для него необходим выбор и расчет дополнительных компенсирующих устройств.

2. Описание экспериментальной установки

Установка (рис. 15) выполнена из двух труб – прямой 1 и изогнутой 2, оснащенных электронагревателями и покрытых слоем изоляции из асбестового шнура и стеклоткани. Наружный диаметр труб 32 мм. Концевые участки труб жестко закреплены. Расстояние между точками закрепления 3 м. В левом конце нижней трубы 1 установлен сальниковый компенсатор 4 одностороннего действия, средняя часть верхней трубы 2 имитирует П-образный компенсатор с размерами: $H = 0,4$ м, $B = 0,3$ м. Для измерения температур в стенке труб заделаны термомпары 3, показания которых регистрируются самопишущим потенциометром 5 типа КСП–4.

Для измерения температурных деформаций служат индикаторы перемещений часового типа с ценой деления 0,01 мм – I–IV.

Перед началом опыта индикаторы устанавливаются в нулевое положение.

3. Методика проведения работы и обработка результатов

1. Измерить температуру воздуха в помещении, которая будет соответствовать температуре монтажа компенсатора t_0 .

2. Включить потенциометр 5 и сетевой выключатель 6.

3. Подать напряжение на нагреватель нижней трубы, для этого переключатель 7 переводится в положение A . Сила тока и напряжение в цепи будут фиксироваться амперметром 8 и вольтметром 9.

4. Занести показания индикатора I в журнал наблюдений (табл. 18) при изменении температуры поверхности трубы t_w от 30 до 150 °C с шагом 10 °C.

5. Подать напряжение на нагреватель П-образного компенсатора для чего переключатель 7 перевести в положение B .

6. Записать показания индикаторов II, III, IV в журнал наблюдений (табл. 18) при изменении температуры поверхности трубы t_w от 30 до 100 °C с шагом 10 °C. Необходимо, чтобы значения температур стенки трубы, при которых будут производиться записи, совпадали со значениями температур для сальникового компенсатора.

Отключить нагрев компенсатора выключателем 6 и отключить потенциометр 5.

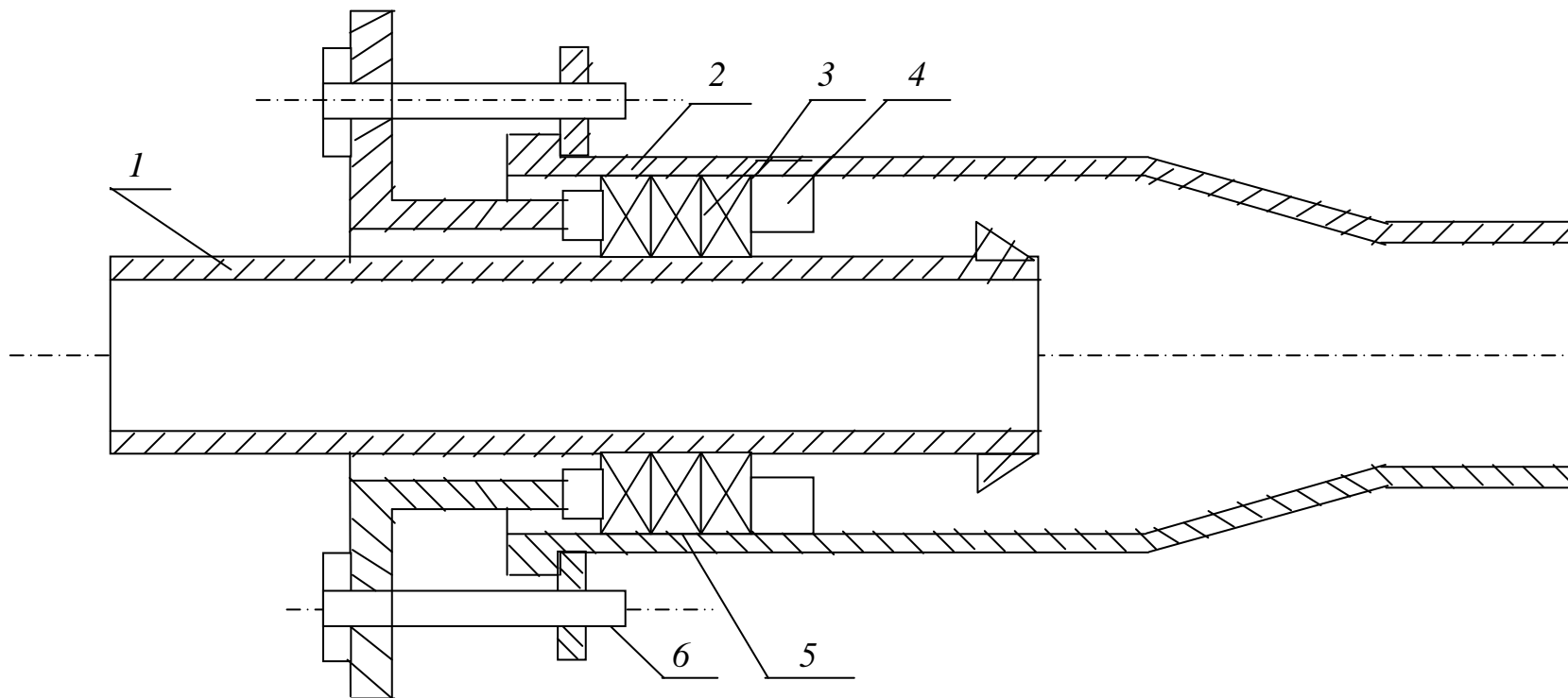


Рис. 10. Односторонний сальниковый компенсатор
1 – стакан; 2 – корпус; 3 – уплотнение; 4 – опорное кольцо; 5 – грундбукса;

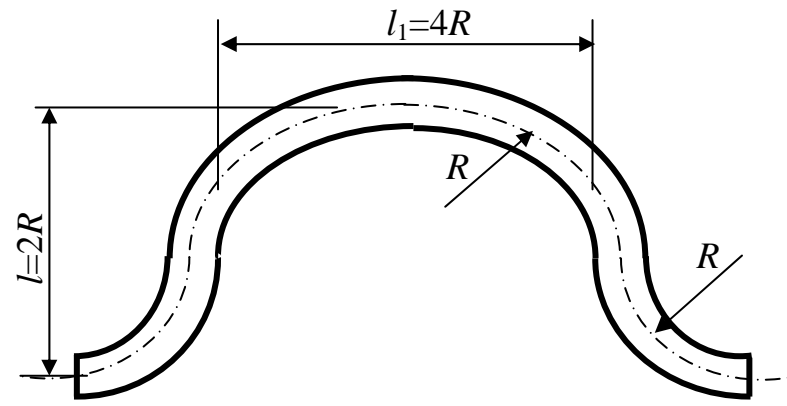
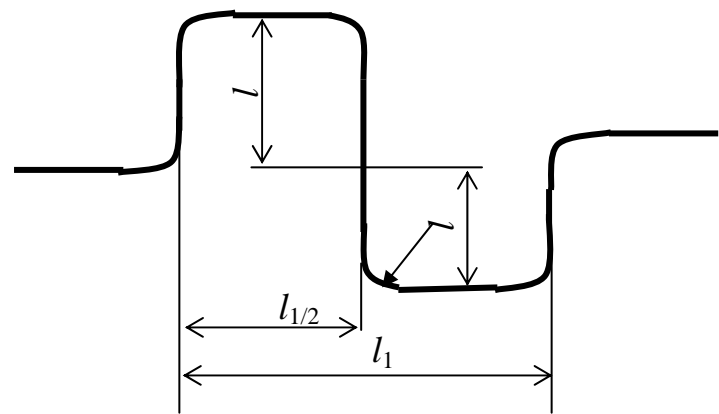
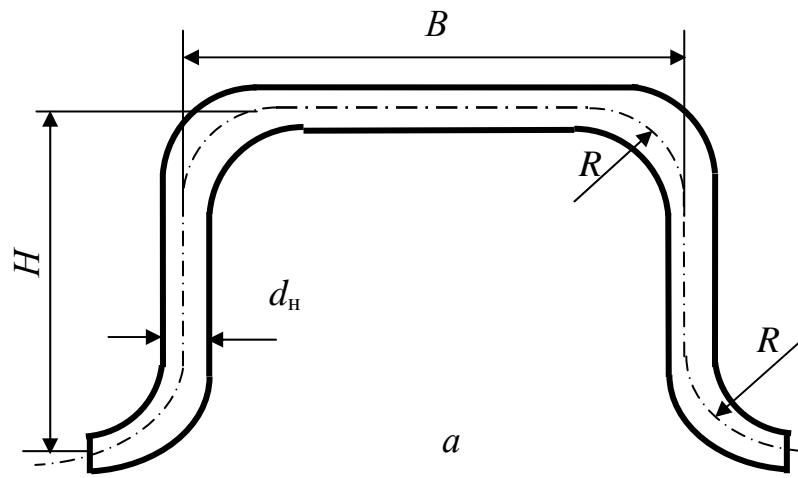


Рис. 11. Типы радиальных компенсаторов:
a – П-образный; *б* – S-образный; *в* – омегаобразный



Рис. 12. Схема работы П-образного компенсатора:
 а – без предварительной растяжки; б – с предварительной растяжкой

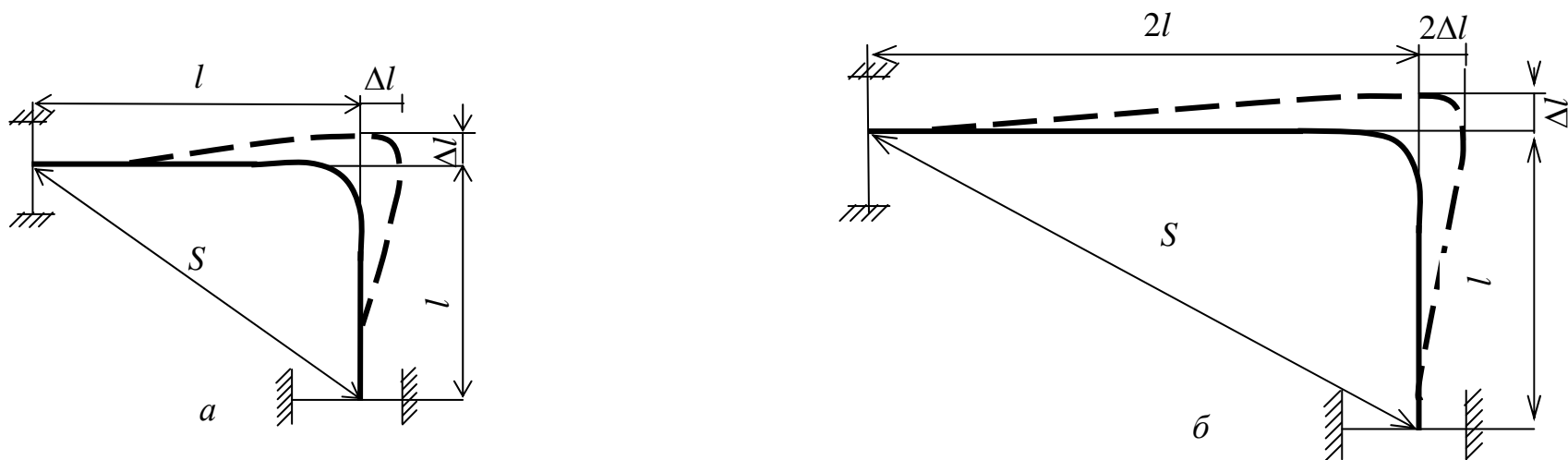


Рис. 13 Схема работы Г-образного участка трубопровода:
 а – при одинаковых длинах плеч $l_T = l + l$; б – различных длинах плеч $l_T = 2l + l$.

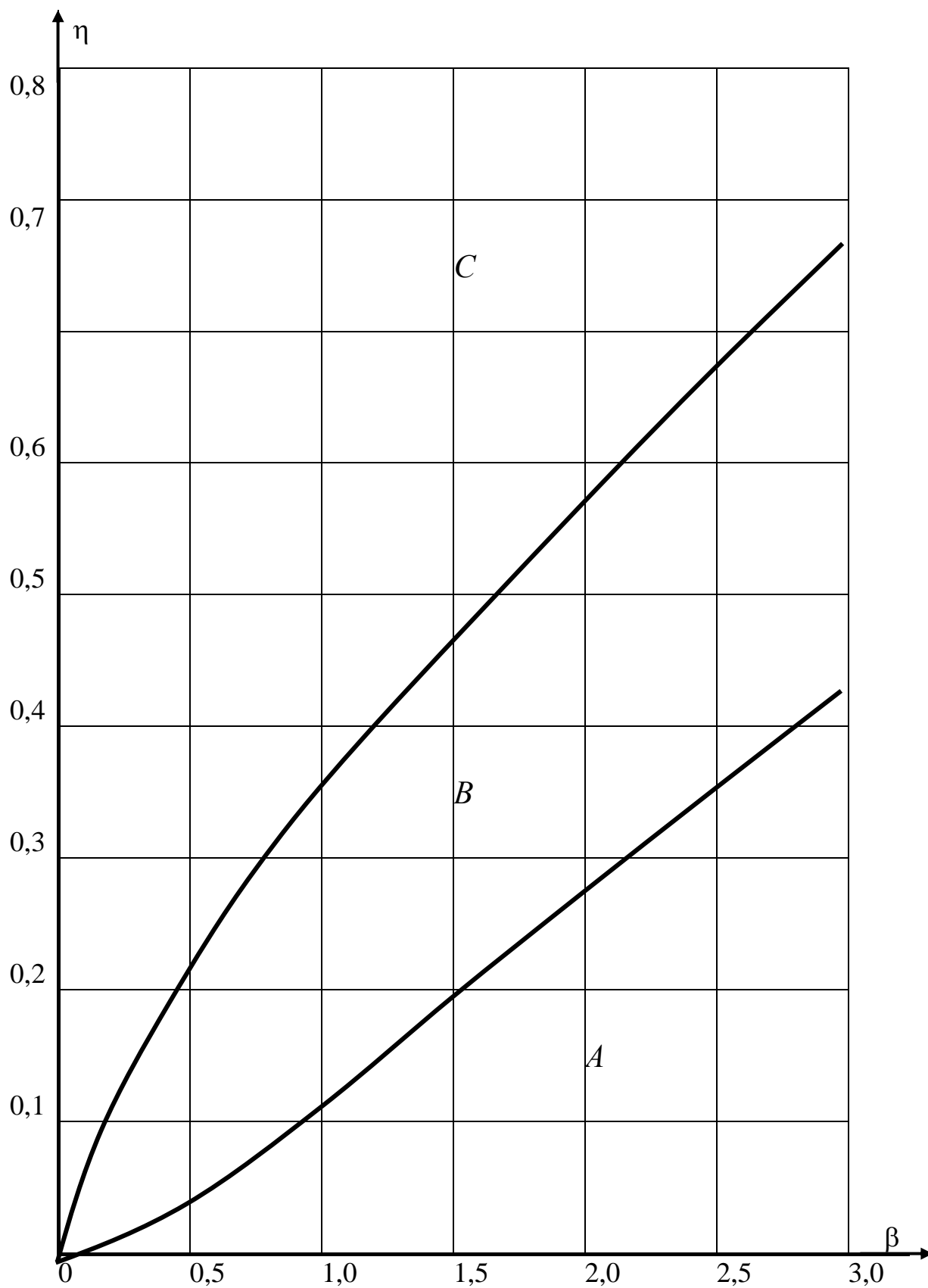


Рис. 14. Диаграмма для оценки компенсирующей способности трубопровода

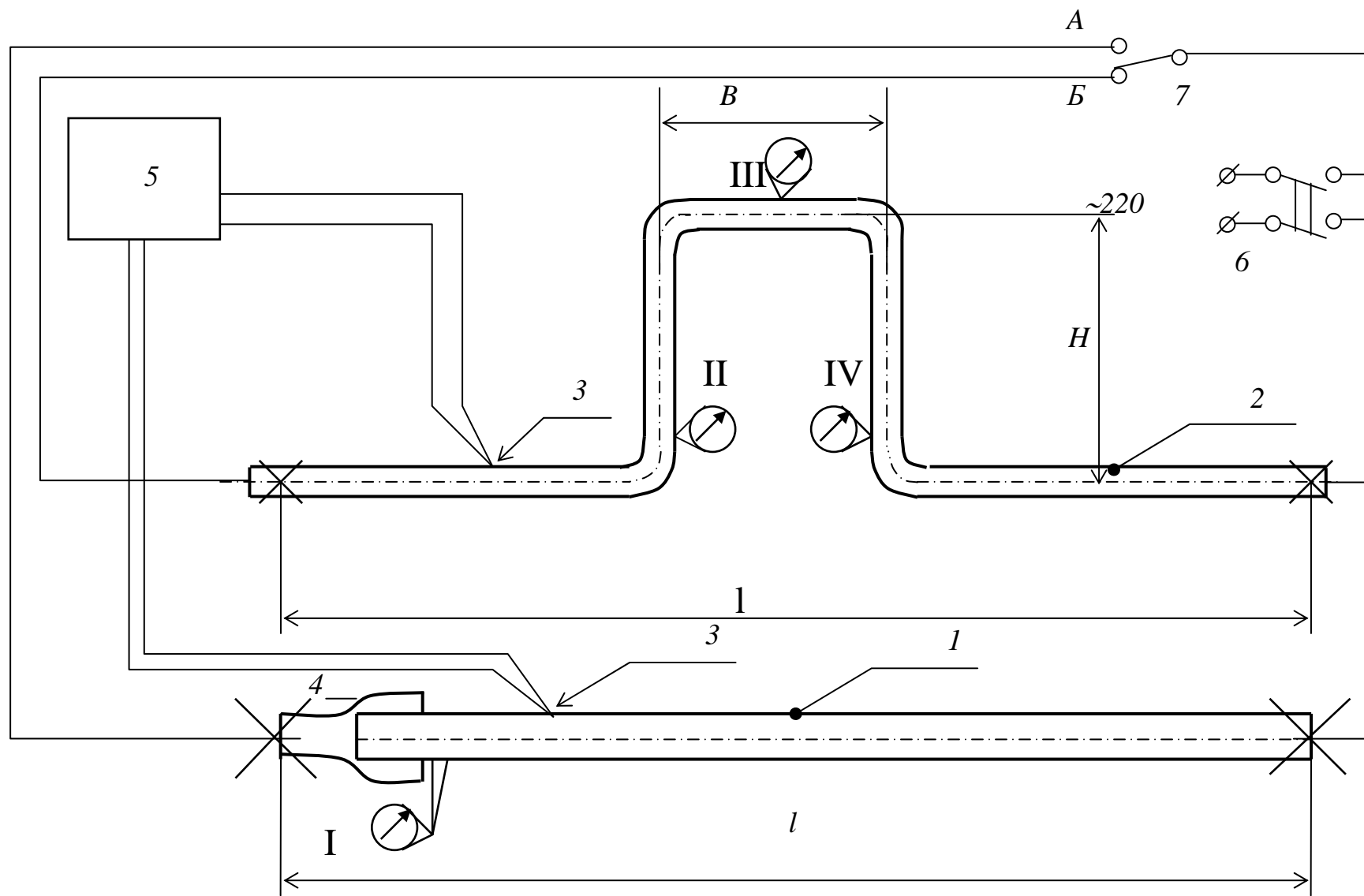


Рис. 15. Схема экспериментальной установки

Форма протокола наблюдений

Сальниковый компенсатор				П-образный компенсатор					
№ опыта	Температура монтажа, t_0 , °C	Рабочая температура, t_w , °C	Показания индикатора I, Δ , мм	№ опыта	Температура монтажа, t_0 , °C	Рабочая температура, t_w , °C	Показания индикаторов, мм		
							II	III	IV
1				1					
2				2					
...				...					

7. По опытным данным для трубы с сальниковым компенсатором построить зависимость удлинения трубы Δl от разности температур $\Delta t = (t_w - t_0)$.

8. Определить, пользуясь формулой (1), значения коэффициентов линейного расширения и построить график зависимости $\alpha = f(t_w)$.

9. По известным размерам П-образной трубы определить величину компенсирующей способности П-образного компенсатора Δ (4).

В формулу (4) подставить σ из формулы (2) а значение относительной деформации i вычислить через рассчитанное ранее значение коэффициента линейного расширения α при той же температуре t_w (3).

11. Сравнить рассчитанную величину компенсирующей способности П-образного компенсатора с суммарными показаниями индикаторов II и IV, полученными на основании опытных замеров.

12. Сравнить показания индикаторов II, III и IV.

13. Проверить верхнюю трубу на самокомпенсацию по графику рис. 14, рассчитав комплексы β и η для каждого опыта с использованием значений α , полученных для трубы с сальниковым компенсатором.

Результаты расчетов и проверки свести в протокол обработки опытных данных (табл. 19).

Таблица 19

Форма протокола наблюдений

№ опыта	t_w , °C	Сальниковый компенсатор			П-образный компенсатор			Самокомпенсация			
		$\Delta t = (t_w - t_0)$, °C	Δ , мм	α , 1/°C	$\Delta t = (t_w - t_0)$, °C	Расчетное значение Δ_p , мм	Опытное значение Δ_o , мм	$(\Delta_p - \Delta_o) / \Delta_p$	β	η	Область графика, в которой работает трубопровод
1											
2											
3											

Таблица 20

Свойства трубных сталей

Температура стенки трубы, °C	20	75	100	125	150
Модуль продольной упругости E, МПа	201036,3	195152,3	193681,3	191229,7	189268,3
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^5$, 1/°C	1,18	1,2	1,22	1,24	1,25
Допускаемые напряжения для углеродистых сталей в зависимости от марки стали	ВСт2кп	ВСт3кп	ВСт3пс	Ст10	Ст20
$\sigma_{дл}$, МПа	95	110	117	125	140

4. Правила техники безопасности

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться со схемой экспериментальной установки и порядком выполнения лабораторной работы.

Переключение режимов выполнять под наблюдением преподавателя или лаборанта.

Запрещается трогать руками неизолированные трубопроводы, токоведущие провода и места их соединения.

Не допускается нагрев установки выше 150 °С.

При ощущении запаха гари, появлении искр немедленно отключить электричество и сообщить преподавателю или лаборанту.

5. Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать :

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) протокол записи наблюдений;
- 4) обработку результатов экспериментов;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. *Какие существуют способы компенсации температурных удлинений трубопроводов?*
2. *Какие бывают типы компенсаторов? Каковы области их применения?*
3. *Каковы преимущества и недостатки каждого типа компенсаторов?*
4. *Как определить компенсирующую способность П-образного компенсатора?*
5. *Как зависит компенсирующая способность П-образного компенсатора от соотношения величин вылета и полки?*
6. *От чего зависит коэффициент линейного расширения трубопровода?*
7. *Как определить вылет П-образного компенсатора при заданном диаметре трубопровода?*
8. *Как определить температурное удлинение трубопровода, от чего оно зависит?*
9. *Как по заданной схеме теплотрассы, диаметру и температурному графику выбрать количество компенсаторов?*
10. *Для чего применяется предварительная растяжка П-образных компенсаторов?*
11. *Как проверить участок трубопровода на самокомпенсацию?*
12. *В чем заключается расчет естественной компенсации (самокомпенсация)?*
13. *Какие факторы ограничивают применение самокомпенсации?*

Список рекомендуемой литературы

1. *Ионин А. А., Хлыбов Б. М., Братенков Б. Н. и др. Теплоснабжение. Под ред. А. А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. с. 169–175.*
2. *Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. 7-е изд., стереотипное. М.: МЭИ, 2001. С. 332-340.*
3. *Справочник проектировщика: Проектирование тепловых сетей /Под ред. А. А. Николаева.– М.: Стройиздат, 1965. 359 с., ил.*
4. *Козин В. Е. Теплоснабжение/ Козин В. Е., Левина Т. А., Марков А. П. и др. М.: Высш. шк. 1980. С. 232–241.*

План выпуска учеб.-метод. документ. 2015 г., поз. 24

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 20.05.2015.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 2,0. Объем данных 430 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru