

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 14.09.2023 16:48:02
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)
Кафедра теплогазоводоснабжения

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной
работе


О.Г. Локтионова
«12» 09 2023г.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Методические указания для лабораторных и практических
занятий, самостоятельной работы направлений подготовки
08.04.01

Курск 2023

УДК 697.2(07)

Составители: Е.В. Умеренков, Э.В. Умеренкова.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры
теплогазоводоснабжения Т.В. Поливанова

Лабораторный практикум: методические указания для лабораторных и практических занятий, самостоятельной работы направления подготовки 08.04.01/Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Е.В. Умеренков, Э.В. Умеренкова. Курск, 2023. 26 с.: ил2, табл.8. Библиогр.: с. 26 .

Содержатся описания выполнения лабораторных работ, соответствующих тематике вопросов рассматриваемых в ходе освоения дисциплины.

Излагаются основные теоретические положения, исходные данные для проведения исследования по системам теплоснабжения районов городов, основные подходы, используемые при принятии решений выбора и конструирования современных систем теплоснабжения.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 08.04.01 всех форм обучения при выполнении лабораторных работ и практических заданий.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,37 Тираж 100 экз. Заказ Бесплатно. 284
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Оглавление

Введение.....	4
Лабораторная работа №1	5
Лабораторная работа №2.....	12
Лабораторная работа №3.....	17
Лабораторная работа №4.....	22
Библиографический список	26

Введение

В настоящих методических указаниях приведено описание 4-х лабораторных работ, проводимых на специальном стенде, имитирующем двухтрубную тупиковую водяную тепловую сеть с присоединенными к ней потребителями.

Цель проведения лабораторных работ - закрепление у студентов знаний по одному из важнейших разделов курса - «Гидравлические режимы тепловых сетей» и приобретение обучаемыми навыков измерений и обработки опытных данных.

Лабораторная работа №1
«Определение коэффициентов трения и местных сопротивлений тепловой сети»

Лабораторная работа №1

«Определение коэффициентов трения и местных сопротивлений в водяной сети»

1. Краткие теоретические сведения

Потери напора на трение (линейные потери) ΔH_l (м в.ст.) при движении воды по трубопроводам рассчитывают по соотношению

$$\Delta H_l = \frac{\omega^2}{2g} \cdot \frac{l}{d} \cdot \lambda, \quad (1)$$

где ω - скорость движения воды на участке трубопровода с внутренним диаметром d и длиной l ; λ - коэффициент трения, зависящий, в общем случае, от режима течения жидкости и шероховатости стенок труб K_e . Для развитого турбулентного движения λ зависит только от K_e и может быть определен по формуле Б.Л. Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \cdot (K_e/d)^{0,25}. \quad (2)$$

Если на участке имеются местные сопротивления (арматура, углы поворота, компенсаторы и т.д.), то суммарные потери напора ΔH складываются из линейных и местных ΔH_m , а именно

$$\Delta H = \frac{\omega^2}{2g} \cdot \left(\frac{l}{d} \cdot \lambda + \sum \xi_i \right), \quad (3)$$

где $\sum \xi_i$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений ξ_i на участке сети.

Скорость воды ω , входящая в соотношения (1) и (3), при известном расходе W может быть найдена из уравнения неразрывности потока

$$\omega = \frac{W}{(\pi d^2/4)}. \quad (4)$$

Соотношения (1), (3) и (4) являются основой для косвенного определения коэффициентов λ и ξ по измеренным значениям потерь напора и расхода воды.

2. Задание

2.1. По результатам измерений и обработки опытных данных определить коэффициенты трения λ и местного сопротивления ξ . Оценить среднеквадратичную погрешность определения λ и ξ .

2.2. Расчетным путем найти эквивалентную абсолютную шероховатость стенок труб K_e . Сравнить полученные значения K_e и ξ с литературными данными.

3. Описание опытной установки

Установка (стенд лаборатории) для проведения лабораторной работы состоит из центробежного насоса 1, рабочее колесо которого погружено в воду, заполняющую расходный бак 2, и двухтрубной тупиковой водяной сети 3, выполненной из труб $d_y=15$ мм. Между подающей и обратной

магистралями предусмотрены переключки с вентилями 4...7, предназначенные для имитации параллельно присоединенных потребителей.

Изменение расхода воды в системе осуществляется с помощью вентиля 8, а опорожнение (при необходимости) - через кран 9. Для измерения расхода воды на начальном участке подающей линии установлена предварительно тарированная диафрагма 10. Штуцера 11' и 11'', предназначенные для отбора давления воды до и после диафрагмы соответственно, резиновыми трубками соединены с П-образным стеклянным манометром 12.

Для регистрации напоров в различных точках сети предусмотрены штуцера 14', 14"...17', 17'', соединенные с открытыми пьезометрическими трубками 18. Все трубки расположены на общей шкале 19 с оцифрованными значениями через 100 мм.

На участке 14' - 15' установлен вентиль 20, предназначенный для имитации местного сопротивления на подающей магистрали сети.

Данный стенд предназначен для выполнения лабораторных работ 1 - 4, связанных с изучением гидравлических режимов тепловых сетей.

4. Порядок проведения работы

После изучения настоящих методических указаний проверяют (под руководством преподавателя или лаборанта) готовность установки к работе. При этом все вентили (4...8, 20) должны быть полностью открыты, кран 9 - закрыт, кран 13 - находится в положении, обеспечивающем соединение колен манометра 12 с атмосферой, уровни воды во всех пьезометрических трубках - одинаковы. Недопустимо наличие подтеканий воды. При выполнении указанных требований приступают к проведению работы в следующем порядке:

4.1. Закрывают вентили 4, 5, 6 и 8.

4.2. Краном 13 колена манометра 12 соединяют между собой и отключают от атмосферы.

4.3. Включают насос и плавно открывают вентиль 8.

Внимание! При открытии вентиля 8 следить за уровнем воды в пьезометрической трубке 14', не допуская ее переполнения!

4.4. По истечении 2...3-х минут одновременно фиксируют высоту столбов в коленах манометра (трубки 11' и 11''), пьезометрических трубках 14', 15', 16', 17' (с точностью 1мм). Результаты измерений заносят в ведомость испытаний (табл. 1). При колебании менисков жидкости отсчет выполняют по среднему положению мениска за 0,5÷1 мин.

4.5. Измерения по п.4.4 проводят при 7 - 8 значениях расхода воды, постепенно уменьшая его вентилем 8 (через 120÷150мм по пьезометру 14'). Последний опыт проводят при $H_{14'}$ не менее 1350мм.

4.6. По окончании измерений вентиль 8 закрывают полностью, отключают электродвигатель насоса, после чего установку приводят в исходное состояние.

4.7. Замеряют длины участков l_{14-15} , l_{15-16} и l_{16-17} .

Таблица 1 - Ведомость испытаний

№№ изм	Показания манометра, мм		Показания пьезометрических трубок, мм			
	$H_{11'}$	$H_{11''}$	$H_{14'}$	$H_{15'}$	$H_{16'}$	$H_{17'}$
1						
·						
·						
·						
7						
		$l_{14-15} = \dots\text{м};$	$l_{15-16} = \dots\text{м};$		$l_{16-17} =$	
		$\dots\text{м}.$				

5. Обработка результатов измерений

5.1. По данным таблицы 1 для каждого измерения определяют перепад напора на расходомерной шайбе $\Delta H_u = H_{11'} - H_{11''}$, а затем рассчитывают расход воды W (в л/мин) по формуле

$$W = A \cdot \sqrt{\Delta H_u},$$

где A в соответствии с тарировочными измерениями равно 0,542.

5.2. По формуле (4) рассчитывают скорость движения воды ω , а затем динамический напор $\omega^2/2g$. Внутренний диаметр трубы d принять равным 16,3мм = $1,63 \cdot 10^{-2}$ м, а ускорение силы тяжести $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

5.3. Находят потери напора в м в.ст. на участке 15' - 17', которые, в виду отсутствия на нем местных сопротивлений, обусловлены только трением, т.е.

$$\Delta H_l = (H_{15'} - H_{17'}) \cdot 10^{-3}.$$

5.4. В соответствии с формулой (1) рассчитывают коэффициент трения, как

$$\lambda = \frac{\Delta H_l \cdot d}{(\omega^2/2g) \cdot l_1},$$

где $l_1 = l_{15'-16'} + l_{16'-17'}$ - длина участка 15' - 17'.

5.5. Определяют потери напора на участке 14' - 16', которые складываются из линейных и местных потерь в вентиле 20,

$$\Delta H = (H_{14'} - H_{16'}) \cdot 10^{-3}.$$

5.6. Зная λ , рассчитывают ξ по формуле

$$\xi = \frac{\Delta H}{\omega^2/2g} - \lambda \cdot \frac{l_2}{d},$$

где $l_2 = l_{14'-15'} + l_{15'-16'}$ - длина участка 14' - 16'.

Величины, определяемые по п.5.1...5.6, сводят в табл. 2

Таблица 2 - Обработка результатов измерений

№ изм.	$\Delta H_{изм.}$ мм	W , л/мин	ω , м/с	$\omega^2/2g$	ΔH_l , м.в.ст.	λ	ΔH , м.в.ст.	ξ
1								
.								
.								
.								
7								

5.7. Отбросив грубые ошибки (промахи), определяют средние арифметические значения и результатов измерений, а затем средние квадратические ошибки измерений (эмпирический стандарт) σ . Например, для коэффициента трения:

$$\sigma_{\lambda} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_1^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2},$$

где n - число измерений (без «промахов»), а i - номер измерения.

Погрешность σ_{ξ} рассчитывается аналогичным образом.

5.8. С помощью формулы (2) рассчитывают эквивалентную шероховатость K_e по величине $\bar{\lambda}$.

6. Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1.Задание.
- 2.Краткое описание и схему установки.
- 3.Ведомость испытаний (таблица 1).
- 4.Результаты обработки опытных данных.
- 5.Сравнение опытных значений ξ_v и K_e с литературными.

Лабораторная работа №2 «Пьезометрический график двухтрубной водяной сети»

1. Краткие теоретические сведения

Для изучения режима давлений в тепловых сетях и местных системах зданий широко используют пьезометрические графики. На графиках в определенном масштабе наносят рельеф местности по разрезам вдоль тепловых трасс, указывают высоты присоединяемых зданий, показывают напор в подающих и обратных теплопроводах и оборудовании теплоприготовительной установки. Роль пьезометрического графика при разработке гидравлических режимов систем теплоснабжения очень велика, так как он позволяет наглядно показать допустимые границы давлений (напоров) и фактические их значения во всех элементах системы.

Рассмотрим график напоров в части двухтрубной сети лабораторного стенда (тт. 14' - 14").

За горизонтальную плоскость отсчета принимают плоскость OO , проходящую через нулевую отметку, которая в данном случае совмещается (условно) с уровнем пола лаборатории (рис. 2). Величина Z показывает геодезическую высоту оси трубопровода над плоскостью отсчета (пренебрегая незначительным уклоном труб, считаем Z для каждой точки оси одинаковой).

При неработающем насосе напор в любой точке системы определяется уровнем воды в баке. В частности, гидростатический напор в трубопроводах $H_{ст}$ равен разности отметок SS (линии статического напора) и Z .

В динамическом режиме (насос работает) напор, развиваемый насосом, затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления сети, поэтому его величина уменьшается по ходу движения воды (на рисунке показано изменение напора от точки 14' до точки 14"). Потери напора на отдельных участках $\Delta H_{уч}$ зависят от расхода воды, длины и

диаметра участка, а также количества и типа местных сопротивлений на нем, и рассчитываются по формуле (3) (см. л.р. №1) или определяются путем измерения напоров в начале и конце участка.

Графическое изображение распределения давления (напора) вдоль трубопроводов сети и представляет собой пьезометрический график. При этом, напоры (в м.в.ст.) и геодезические отметки откладываются в выбранном масштабе по вертикальной оси, а по оси абсцисс - длины участков (вертикальный и горизонтальный масштабы могут не совпадать).

Зависимость напора от длины изображают прямыми линиями (линейная зависимость H от l ; наклоны линий на отдельных участках в общем случае не одинаковы), а в точках сосредоточенного местного изменения давления показывают скачки напора (например, в вентиле 20). Разность напоров в подающем и обратном трубопроводах представляет собой располагаемый напор H_p в данной точке сети.

Наглядное представление о пьезометрическом графике во время выполнения лабораторной работы дает расположение менисков воды в пьезометрических трубках.

Положение пьезометрических линий зависит от многих факторов: напор сетевого насоса, количество подключенных потребителей, наличие местных сопротивлений на магистралях, открытый водоразбор и т.д. Поэтому пьезометрические графики являются основным инструментом анализа гидравлического режима систем теплоснабжения и возможных его изменений.

2.Задание

2.1. По результатам измерений и обработки опытных данных построить пьезометрические графики двухтрубной водяной сети для следующих режимов работы:

- включение двух (вентили 6 и 7) абонентов;
- включение трех (вентили 5, 6 и 7) абонентов.

Режим	Показания манометра, мм		Показания пьезометрических трубок, мм							
2 потр.										
3 потр.										

$l_{15'-20'} = \dots \text{ м}$

4.Обработка результатов измерений

4.1.Определяют расход (суммарный - на участке 14' - 15') и скорость движения воды (см. л.р.№1) для обоих режимов работы сети.

4.2.Рассчитывают линейные потери напора на участке 15' - 20, по формуле (1) и местное его падение в вентиле 20, как

$$\Delta H_m = (\omega^2/2g) \cdot \xi$$

(коэффициенты гидравлического трения λ и сопротивления вентиля ξ принять равными усредненным значениям по результатам л.р. №1).

Результаты обработки по пп.4.1. и 4.2. следует привести в виде табл. 4.

Таблица 4 - Результаты обработки измерений

Режим	W, л/мин	ω , м/с	$\omega^2/2g$	$\Delta H_{l_{15'-20'}}$	ΔH_m	$\Delta H_{15'-20'} = \Delta H_l + \Delta H_m$
2 потр.						
3 потр.						

4.3. По данным табл. 3 и 4 производят построение пьезометрических графиков (на листе миллиметровой бумаги формата А4). Графики для разных режимов (на одном рисунке) показать разным цветом или разными линиями (сплошная, пунктирная).

5. Содержание отчета

1. Задание.
2. Ведомость испытаний (таблица 3).
3. Результаты обработки опытных данных (таблица 4).
4. Пьезометрические графики части сети.
5. Обоснование изменений гидравлического режима сети при подключении нового потребителя.

Ответить на вопросы:

1. Как и почему изменяется суммарный расход воды в сети?
2. Как и почему изменяются располагаемые напоры у потребителей?
3. Как и почему изменяется наклон пьезометрических линий на участках сети?

Лабораторная работа №3

«Исследование характеристики двухтрубной водяной сети»

1.Краткие теоретические сведения

Характеристикой сети называется зависимость потерь напора (или давления) ΔH_c от расхода теплоносителя W . В тепловых сетях, как правило, имеет место квадратичная зависимость ΔH_c от W , т.е.

$$\Delta H_c = S \cdot W^2, \quad (5)$$

где S - коэффициент пропорциональности, называемый гидравлическим сопротивлением сети.

Величина S зависит от конфигурации и геометрических размеров сети, шероховатости стенок трубопроводов, типа и количества местных сопротивлений и плотности теплоносителя.

Графическое изображение характеристики сети представляет собой квадратичную параболу (рис.1), положение которой зависит от величины S .

2.Задание

2.1. По результатам измерений потерь напора и расхода воды построить характеристики двухтрубной водяной сети для случаев четырех и трех присоединенных абонентов.

2.2. Экспериментальные данные обработать методом наименьших квадратов. Определить гидравлическое сопротивление сети для указанных в пп.2.1. случаев.

2.3. Обосновать изменение сопротивления сети при отключении одного потребителя.

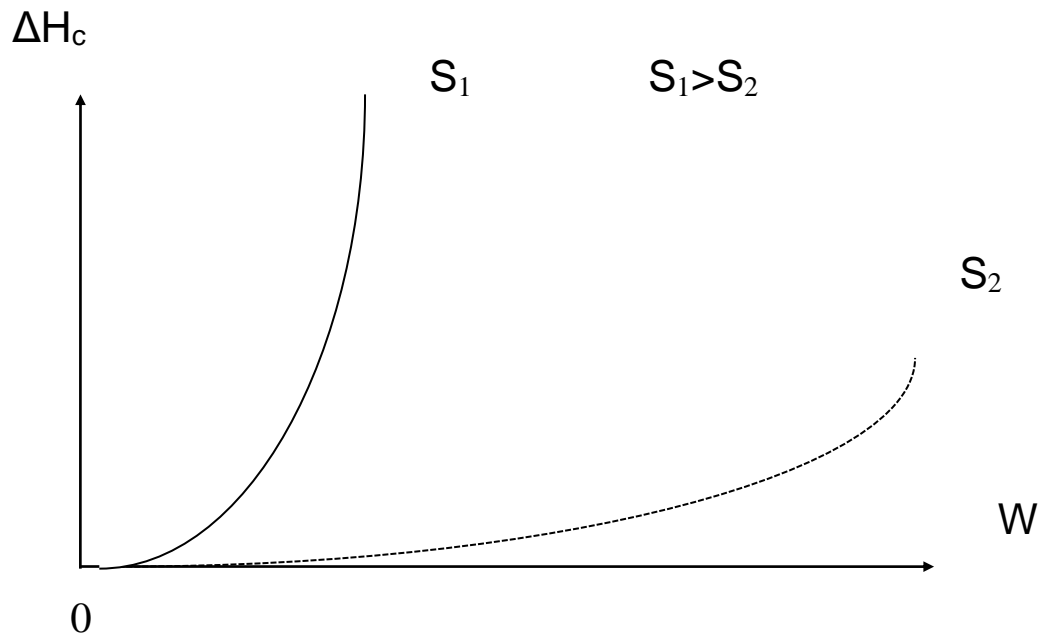


Рис.1- Характеристики тепловой сети

3.Порядок проведения работы

3.1.Проверяют готовность лабораторной установки к работе, отключают манометр 12 от атмосферы и закрывают вентиль 8 (рис. 1).

3.2.Включают насос и, плавно открывая вентиль 8, устанавливают напор в точке 14' ~ 2400 мм.

3.3.По истечении 2-3 минут одновременно фиксируют положения менисков воды в коленах манометра и трубках 14' и 14". Полученные значения заносят в ведомость испытаний (таблица 5).

3.4.Измерения по пп.3.3. проводят при 7÷9 значениях расхода воды, постепенно уменьшая его вентилем 8 (через 50-100 мм по пьезометру 14').

3.5.При полностью закрытом вентиле 8 отключают абонент 4 и повторяют операции по пп.3.2, 3.3., 3.4 для 3-х оставшихся включенными потребителей (вентили 5, 6 и 7).

Внимание! Перед проведением второй серии измерений проверить нагрев электродвигателя насоса. При температуре

60÷80°C (не терпит рука) двигатель отключить. К дальнейшим измерениям приступить после достаточного охлаждения двигателя.

4.Обработка результатов измерений

4.1.По данным табл. 5 для каждого i -го измерения определяют расход воды W_i (см. л.р. №1) и потери напора в сети $\Delta H_{ci}=H_{14'i} - H_{14''i}$

4.2.Рассчитывают величины $W_i^2 \cdot \Delta H_{ci}$ и W_i^4 . Для выполнения расчетов результаты обработки опытных данных сводят в таблицу 6.

Таблица 5 - Ведомость испытаний

Количество абонентов	№ изм.	Показания маном., мм		Показания пьезометров, мм	
		H_{11}	H_{11}'	H_{14}'	H_{14}''
4					
3					

4.3.Определяют величину сопротивления сети, как

$$S = \frac{\sum W_i^2 \cdot \Delta H_{ci}}{\sum W_i^4} \quad (6)$$

4.4.3ная S , строят теоретическую характеристику сети по формуле (5) (построение графиков выполнять на листе миллиметровой бумаги формата А4).

4.5.Наносят на график экспериментальные точки $\Delta H_{ci}(W_i)$.

Пункты 4.1 - 4.4 выполняют для каждой серии измерений (3 и 4 абонента).

Таблица 6 - Обработка результатов измерений

№ ИЗМ	W_i , л/мин	ΔH_{ci} , мм	$W_i^2 \cdot \Delta H_{ci}$	W_i^4	№ ИЗМ	W_i , л/мин	ΔH_{ci} , мм	$W_i^2 \cdot \Delta H_{ci}$	W_i^4
	4 абонента					3 абонента			
1					1				
.					.				
.					.				
.					.				
8					9				
Итого:					Итого:				
S=					S=				

5.Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по работе должен содержать:

1.Задание.

2.Ведомость испытаний (таблица 5).

3.Результаты обработки опытных данных (таблица 6).

4.Графики характеристик сети (экспериментальные точки и сглаживающие кривые).

5.Выводы по пп.2.3.

Лабораторная работа №4.
«Определение гидравлического сопротивления
двухтрубной водяной сети»

1. Краткие теоретические сведения

Гидравлическое сопротивление разветвленной сети может быть рассчитано по правилам определения суммарных сопротивлений параллельно и последовательно соединенных участков. Например, для сети из 4-х параллельно соединенных потребителей (рис. 2) можно записать:

$$S_{1-4} = \frac{S_1 \cdot S'_{1-4}}{S_1 + S'_{1-4} + 2 \cdot \sqrt{S_1 \cdot S'_{1-4}}}, \quad (7)$$

где S_{1-4} – суммарное сопротивление между точками 14' и 14'' при 4-х включенных потребителях; S'_{1-4} – то же, но при трех включенных потребителях (5, 6 и 7); S_1 – сопротивление одного (1-го) потребителя.

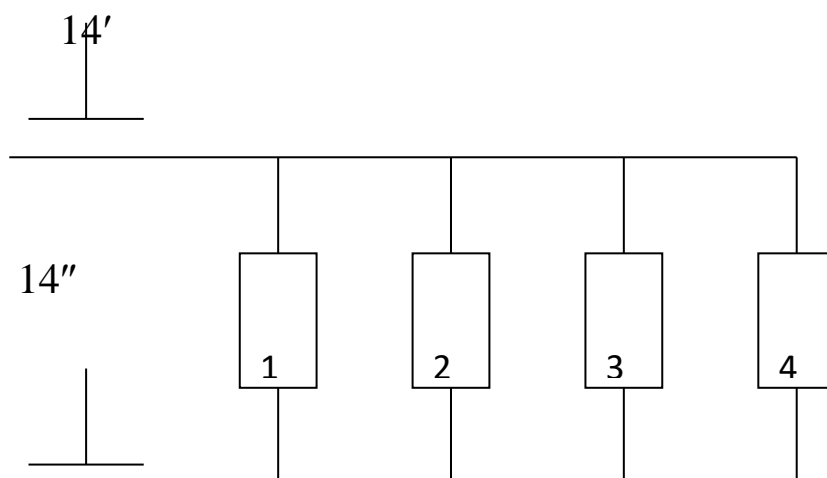


Рис. 2 – Принципиальная схема

2. Задание

2.1. Путем измерения и обработки опытных данных определить гидравлические сопротивления S_{1-4} , S'_{1-4} и S_1 .

2.2. Зная S'_{1-4} и S_1 найти расчетным путем значение S_{1-4} и сравнить его с измеренным.

2.3. Сравнить сопротивления S_{1-4} и S'_{1-4} с величинами, полученными в л.р.№3.

3. Порядок проведения работы

3.1. Проверяют готовность лабораторной установки к работе, закрывают вентиль 8, манометр 12 отключают от атмосферы.

3.2. Включают насос и, плавно открывая вентиль 8, устанавливают напор $H_{14'} \sim 2400$ мм.

3.3. Одновременно фиксируют высоты столбов жидкости в коленах манометра и в трубках 14' и 14". Результаты измерений заносят в ведомость испытаний (табл. 7).

3.4. Повторяют измерения по пп.3.3. еще при 2-х значениях расхода воды, постепенно уменьшая его (через 250-300 мм по пьезометру $H_{14'}$) вентилем 8.

3.5. Закрывают вентили 8, 4 и проводят измерения по пп.3.2.-3.4. для оставшихся включенными потребителей.

3.6. Закрывают вентили 8, 5, 6, 7, а вентиль 4 открывают (на 3 полуоборота маховичка). Проводят указанные выше измерения для одного (1-го) включенного абонента.

3.7. По окончании измерений закрывают вентиль 8, отключают насос, установку приводят в исходное состояние.

4. Обработка опытных данных

4.1. По показаниям манометра определяют расход воды W и потери напора в сети $\Delta H = H_{14'} - H_{14''}$ для каждого измерения.

4.2. Рассчитывают гидравлическое сопротивление как

$$S = \frac{\Delta H_c}{W^2},$$

усредняя его для каждой серии опытов.

Таблица 7 - Ведомость испытаний

Режим	№ измерен.	1	2	3	4
4 абонента	H _{11'} , мм				
	H _{11''}				
	H _{14'}				
	H _{14''}				
3 абонента	H _{11'}				
	H _{11''}				
	H _{14'}				
	H _{14''}				
1 абонент	H _{11'}				
	H _{11''}				
	H _{14'}				
	H _{14''}				

Результаты обработки сводят в табл.7.

4.3. Находят расчетное значение S₁₋₄ для сети из 4-х потребителей по формуле (7). Рассчитывают относительную погрешность определения S₁₋₄ по (7) в сравнении с измеренным значением, т.е.

$$\delta S = \frac{S_{\text{расч}} - S_{\text{изм}}}{S_{\text{изм}}} \cdot 100\% .$$

5. Содержание отчета о работе

Отчет должен содержать:

1. Задание.

2. Ведомость испытаний (табл. 7).
3. Результаты обработки опытных данных.
4. Сравнение расчетного и измеренного значений сопротивлений сети при 4-х потребителях.
5. Сравнение измеренных значений сопротивлений сети для 3-х и 4-х потребителей с полученными в работе №3.
6. Выводы.

Таблица 8 - Результаты обработки опытных данных

№ измерения		1	2	3	Среднее
4 абонента	W, л/мин				
	ΔH_c , мм				
	S				
3 абонента	W, л/мин				
	ΔH_c , мм				
	S				
1 абонент	W, л/мин				
	ΔH_c , мм				
	S				

Библиографический список

1. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003
2. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию / И.В. Беляйкина и др.; Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. М.: Энергоатомиздат, 1988. 376с.
3. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / В.И. Маток и др. М.: Стройиздат, 1988. 432 с.
4. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 320 с.
5. Теплоснабжение: Учебное пособие для студентов ВУЗов / В.Е. Козин и др. М: Высшая школа, 1980. 408 с.
6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Энергоиздат, 1982. 360 с.
7. Теплоснабжение: Учебник для ВУЗов / А.А. Ионин и др.; Под ред. А.А. Ионина, М.: Стройиздат, 1982. 336 с.