

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

**Виртуальный лабораторный практикум
по определению гидравлических характеристик
водопроводных сетей**

Учебное пособие

Тверь 2021

УДК 532:621.22
ББК 22.253

Рецензенты: кандидат технических наук доцент кафедры «Гидравлика, теплотехника и гидропривод» Тверского государственного технического университета Качановский Ф.В.; кандидат технических наук директор ООО «Экология + Аудит» Светогорова Т.Л.

Коноплев, Е.Н. Виртуальный лабораторный практикум по определению гидравлических характеристик водопроводных сетей: учебное пособие / Е.Н. Коноплев [и др.]. Тверь: Тверской государственной технической университет, 2021. 96 с.

Представлен курс виртуальных лабораторных работ по дисциплинам «Водоснабжение», «Водоснабжение и канализация», «Водоснабжение и водоотведение», «Гидравлика», «Механика жидкостей и газов», «Гидромеханика». Материал соответствует темам лабораторных занятий по образовательным программам и является дополнением к основным пособиям курсов.

Предназначено для студентов всех технических специальностей, обучающихся по направлениям подготовки специалистов и бакалавров, магистрантов и аспирантов Тверского государственного технического университета.

Евгений Николаевич Коноплев
Илья Вячеславович Образцов
Николай Павлович Курбатов
Александр Львович Яблонев

Виртуальный лабораторный практикум по определению гидравлических характеристик водопроводных сетей

Учебное пособие

Редактор М.Б. Юдина
Корректор А.В. Смирнов

Подписано в печать
Формат 60 x 84/16
Физ. печ. л. 6
Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 5,58
Заказ № 11

Бумага писчая
Уч.-изд. л. 5,22
С – 10

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22

ISBN 978-5-7995-1140-1

© Тверской государственной
технической университет, 2021
© Коноплев Е.Н., Образцов И.В.,
Курбатов Н.П., Яблонев А.Л., 2021

ВВЕДЕНИЕ

При расчете, проектировании, реконструкции и эксплуатации водопроводных сетей возникает необходимость определения фактических гидравлических характеристик отдельных участков сети. В ходе испытаний, проводимых с этой целью на водопроводных сетях, определяют свободные напоры в разных точках водопроводной сети, гидравлические сопротивления и пропускную способность отдельных ее участков, дефектные участки сети, объемы потерь воды на них и другие показатели [1].

Лабораторные исследования позволяют более глубоко понять основные законы гидростатики и гидродинамики. Обработка ряда опытных данных осуществляется с помощью диаграмм и таблиц, умение пользоваться которыми необходимо каждому инженеру [2].

В ходе выполнения лабораторных работ студенты получают практические навыки проведения испытаний на водопроводных сетях с целью определения их гидравлических характеристик.

В данном учебном пособии приводится методика выполнения виртуальных лабораторных работ по определению гидравлических характеристик водопроводной сети, содержатся рекомендации по обработке полученных результатов и требования по оформлению отчетов.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТОВ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

При подготовке к выполнению лабораторной работы студент обязан изучить ее содержание и методику выполнения; подготовить на листах бумаги формата А4 конспект, который должен включать:

титальный лист (название работы, ФИО студента, группу) – отдельная страница;

цель выполнения лабораторной работы;

схему установки с ее описанием;

рисунки, поясняющие сущность протекающих процессов;

таблицы для записи опытных данных и результатов вычислений;

схему для оцифровки водопроводной сети.

Результаты выполнения лабораторной работы должны быть занесены в «Таблицу наблюдений» и предъявлены преподавателю для подписи.

Пример оформления протокола лабораторной работы с бланком оцифровки водопроводной сети приведен на с. 72.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ И СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Программный продукт «Виртуальная лаборатория водоснабжения» предназначен для построения и практического изучения расчетных гидравлических моделей кольцевых, тупиковых и комбинированных водопроводных сетей. В базовый комплект входят два программных модуля: редактор расчетно-параметрических моделей водопроводных сетей и модуль выполнения лабораторных работ для студентов, а также файлы рабочих проектов расчетно-параметрических моделей [3].

Редактор моделей водопроводных сетей предназначен для настройки конфигурации сетей в трехмерном пространстве (то есть установки геометрических характеристик трубопровода и положения органов запорно-регулирующей арматуры), а также для установки входных и выходных параметров расчетной модели (ввода величин напора и расхода воды в узловых точках сети и др.). Редактор оснащен функциями открытия и сохранения файла проекта расчетно-параметрической модели.

Модуль лабораторной работы позволяет воспроизводить имитационную модель водопроводной сети на основе спроектированного (в редакторе) файла расчетно-параметрической модели. В возможности модуля лабораторной работы входят измерение геометрических параметров трубопровода, замеры расхода воды и определение величины напора в узловых точках водопроводной сети, а также визуализация пьезометрической плоскости в соответствии с заданными значениями напора в узлах сети.

Программные компоненты реализованы в виде графических DESKTOP-приложений, работающих под управлением операционной системы Microsoft Windows. Графическая составляющая программного обеспечения использует компонентную базу Microsoft DirectX версии 9.0.c.

Минимальные системные требования к оборудованию:

центральный процессор: Intel/AMD, не менее 1.8 ГГц (суммарно для многоядерных процессоров);

объем оперативной памяти: не менее 1 Гб;

объем видеопамати: не менее 256 Мб (необходима поддержка аппаратного 3D-ускорения);

минимальное разрешение экрана: 1 024×768×32;

операционная система: Microsoft Windows 7/8/8.1/10;

программные компоненты Microsoft DirectX версии 9.0.c.

Форма поставки программного обеспечения: дистрибутив локальной установки. Программные продукты предоставляются в бессрочное пользование заказчика, с установкой на неограниченное количество компьютеров, без права передачи третьим лицам.

ОПИСАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ «ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ, ТУПИКОВЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ»

Виртуальная лаборатория предназначена для имитационного выполнения опыта по измерению расходов и гидростатических напоров водопроводной сети. В данном программном модуле отсутствует возможность изменения конфигурации водопровода и исходных параметров опыта. Результатом работы модуля являются измеренные значения расхода воды и гидростатического напора в узловых точках водопровода. После запуска исполняемого файла программы происходит процесс загрузки графических элементов. По окончании процесса загрузки на мониторе отобразится рабочий вид модели лабораторной установки (рис. 1).

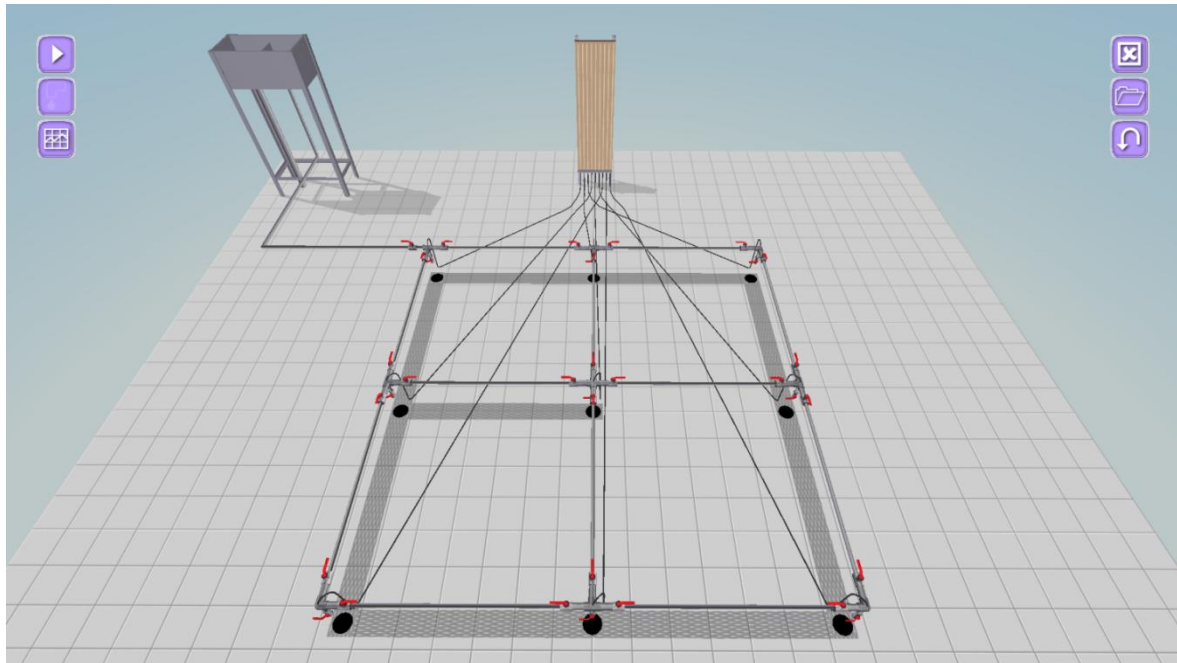


Рис. 1. Общий вид лабораторной установки

В правой верхней части экрана расположены кнопки (сверху вниз): «Выйти из программы», «Открыть вариант модели», «Сбросить параметры установки»; в левой верхней части экрана – кнопки (сверху вниз): «Наполнить установку водой», «Открыть сливные краны» и «Отобразить пьезометрическую плоскость».

Лабораторную работу следует начинать с открытия файла параметров, щелкнув левой кнопкой мыши по значку «Открыть вариант модели». После выбора и открытия по указанию преподавателя заранее

подготовленного файла параметров конфигурация трубопровода изменится в соответствии с загруженной параметрической моделью (например, рис. 2).

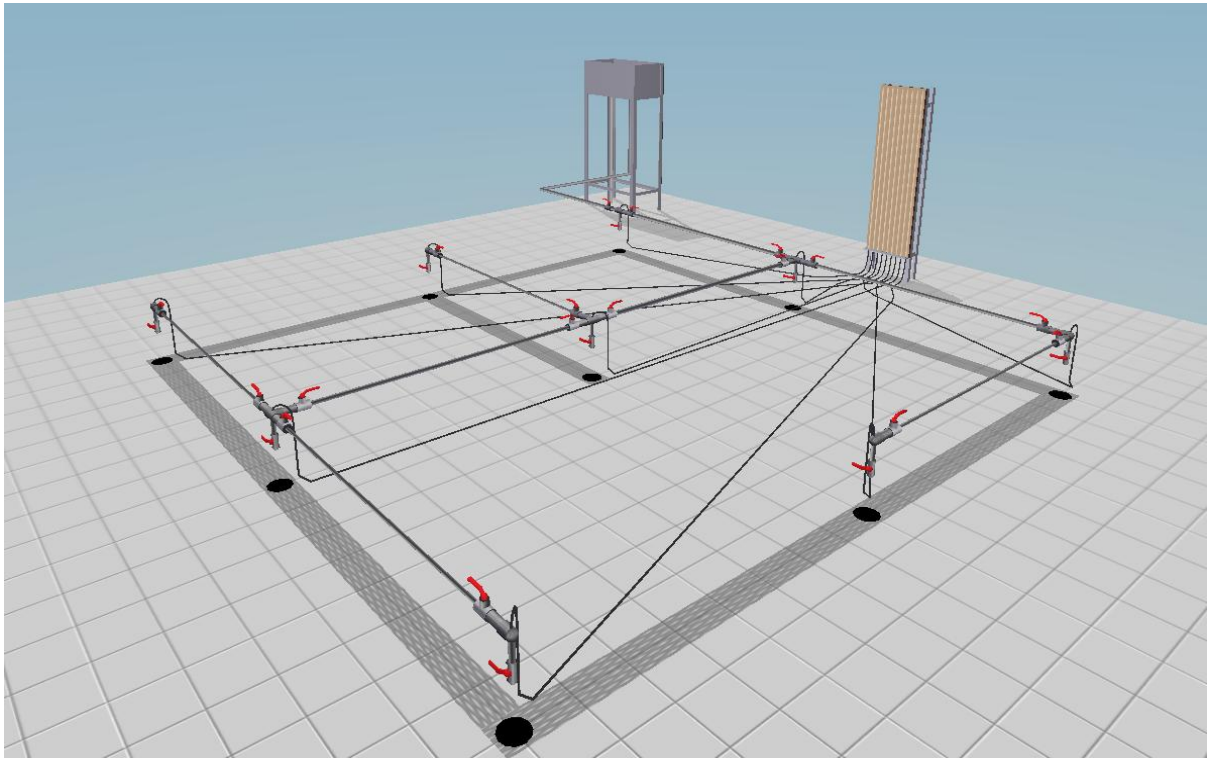


Рис. 2. Конфигурация трубопровода в соответствии с загруженной параметрической моделью тупиковой сети

После загрузки параметров модели необходимо наполнить установку водой, щелкнув левой кнопкой мыши по соответствующему значку в левой части экрана.

В результате наполнения установки водой станет доступной кнопка «Открыть сливные краны», щелчок левой кнопкой мыши по которой приведет к изменению положения спусковых кранов в соответствии с заложенной параметрической моделью.

Информация о состоянии всех конструктивных элементов трубопровода (длины участков, диаметры труб, степень открытия кранов и пр.) отображается при наведении указателя мыши на соответствующие элементы. Пользователь фиксирует характерные параметры трубопровода и производит измерение гидростатических напоров с помощью стенда пьезометров, ориентируясь на миллиметровую разметку стенда.

Для измерения расхода воды в узловых точках необходимо навести указатель мыши на соответствующие струи сливающейся воды и щелкнуть левой кнопкой мыши. При этом виртуальная камера перейдет в режим замера расхода в конкретной узловой точке (рис. 3).

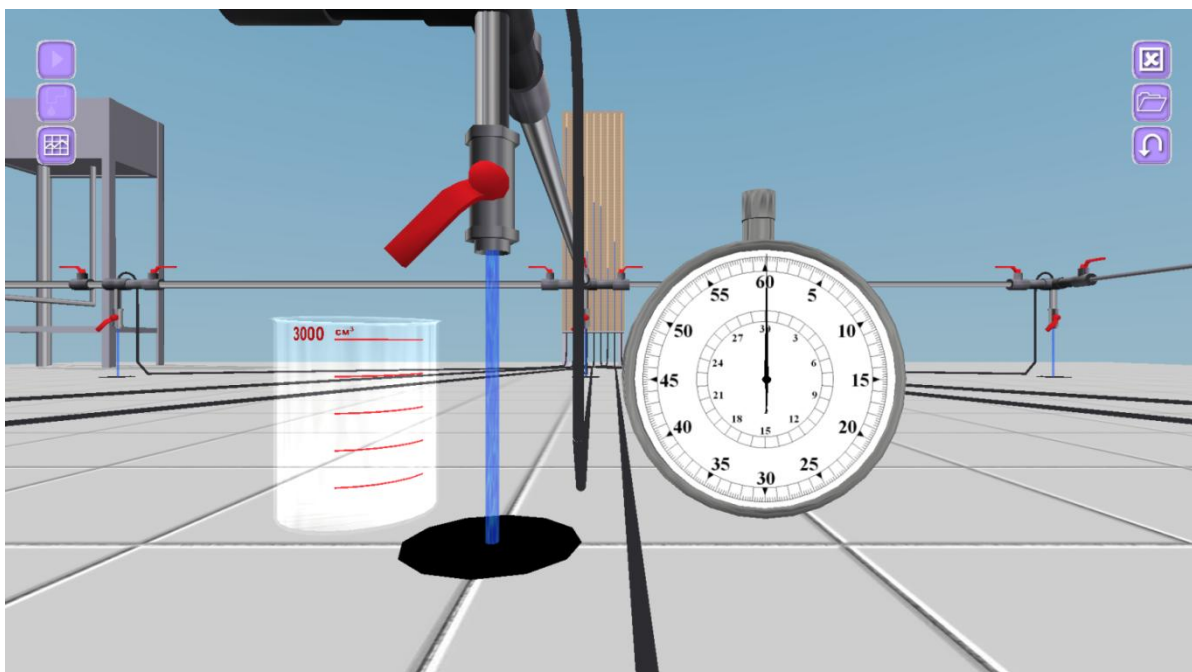


Рис. 3. Виртуальная камера в режиме замера расхода

Для осуществления замера времени наполнения водой мерной емкости нужно щелкнуть левой кнопкой мыши по трехмерному объекту «Емкость». По завершении наполнения емкости следует зафиксировать время, ориентируясь на градуировку циферблата секундомера (рис. 4).

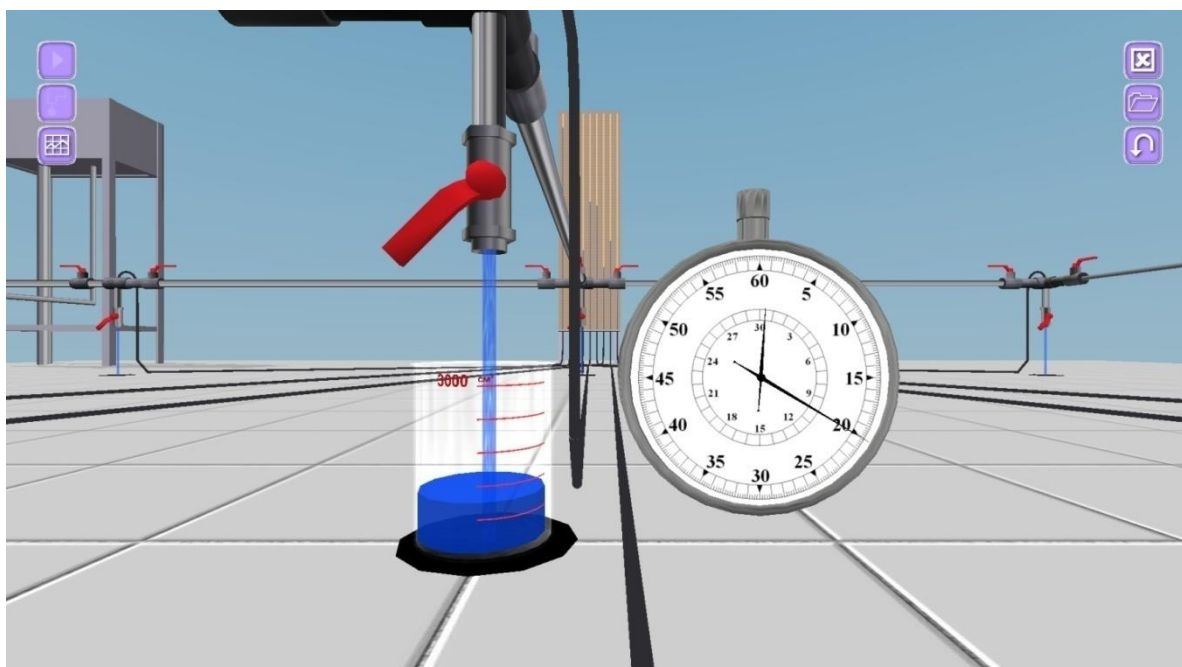


Рис. 4. Процесс замера расхода воды в узловой точке сети

Возврат камеры в исходное положение осуществляется щелчком правой кнопкой мыши.

Для того чтобы отобразить на экране пьезометрическую плоскость (графическое представление величин напора в узловых точках трубопровода), следует навести указатель мыши на значок «Отобразить пьезометрическую плоскость» в левой части экрана и нажать (не отпуская) левую кнопку мыши. Пьезометрическая плоскость отобразится на экране в виде синего контура поверхности и будет доступна для просмотра, пока указатель мыши находится на значке «Отобразить пьезометрическую плоскость» и нажата левая кнопка мыши (рис. 5).

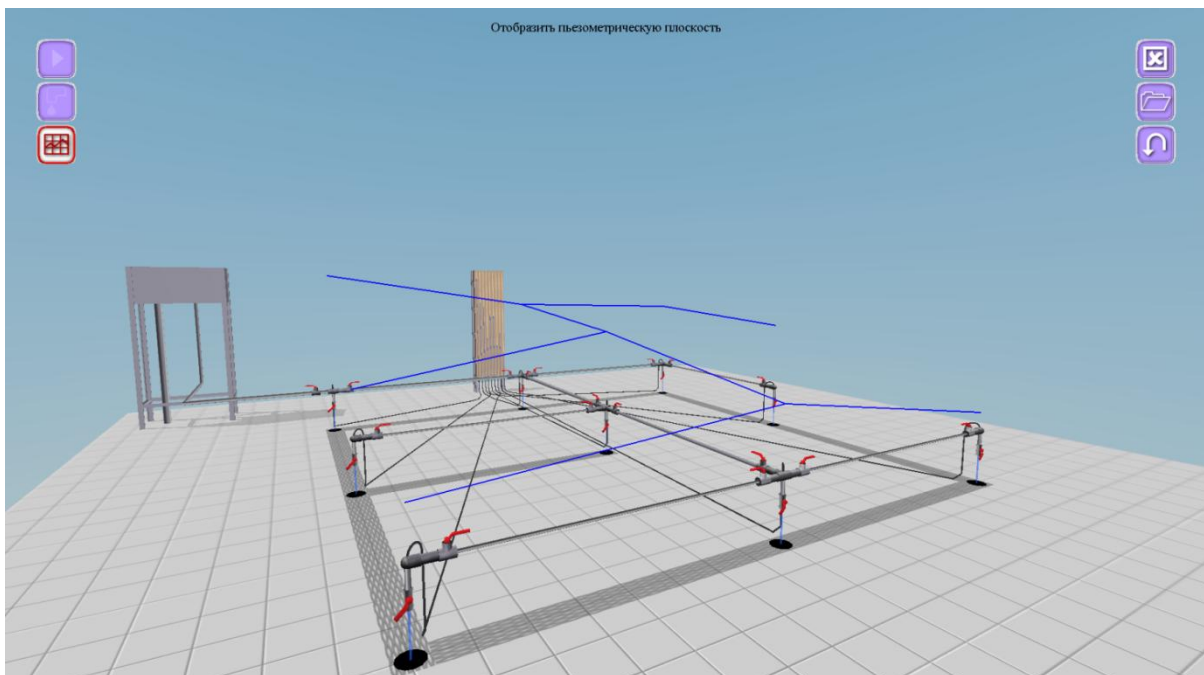


Рис. 5. Отображение пьезометрической плоскости

Измеренные выходные параметры имитационной модели заносятся пользователем в специальный лабораторный журнал и обрабатываются в соответствии с методикой испытаний. На этом работа виртуальной лаборатории завершена.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Создание удовлетворяющих требованиям надежности и экономичности инженерных систем водоснабжения, работающих в условиях нерегулируемого непрерывного возрастания водопотребления, – сложная

задача. Для ее решения используются методы математической статистики и теории вероятностей.

Сеть городского водопровода предназначена для распределения подаваемой в город воды по его территории, обеспечения возможности отбора в заданных точках территории требуемых количеств воды и создания требуемых свободных напоров.

Сети водопроводов устраивают тупиковыми, кольцевыми или комбинированными. Для повышения надежности городские тупиковые сети по возможности закольцовывают [1, 4].

При расчете водопроводной сети определяют диаметры ее линий (участков), потери напора в них, свободные напоры в узлах сети. Основу для расчета сети составляют заданная схема и величины узловых отборов. Диаметры труб должны обеспечивать возможность подачи заданных количеств воды, а также требуемые напоры в сети с наименьшей затратой средств. При назначении диаметров труб необходимо учитывать требования надежности.

Потери напора при движении воды по трубам пропорциональны их длине и зависят от диаметра труб, расхода воды (скорости течения), характера и степени шероховатости стенок труб (то есть от типа и материала труб) и от области гидравлического сопротивления для режима их работы. Основной формулой инженерной гидравлики, связывающей все указанные характеристики, является уравнение Дарси – Вейсбаха:

$$h = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

где h – потери напора, м; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; l и d – длина и диаметр трубы, м; v – скорость движения воды м/с; g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$) [1, 4, 5].

Влияние шероховатости внутренней поверхности труб на их гидравлическое сопротивление учитывается различными эмпирическими формулами, выведенными на основе экспериментальных данных для различных типов труб. В России широкое распространение получили формулы из таблиц Шевелевых [6, прил. А].

Исходя из того, что потери напора h пропорциональны длине водопроводной линии, можно определять потери напора на единицу длины безразмерной величиной – гидравлическим уклоном [6, 7]:

$$i = \frac{h}{l}, \quad (2)$$

и находить полные потери напора для линии любой длины:

$$h = i \cdot l. \quad (3)$$

Ф.А. Шевелевым предложены следующие формулы для определения единичных потерь напора [6, 8]:

а) для неновых стальных и чугунных труб, работающих в квадратичной области гидравлического сопротивления при $v \geq 1,2 \text{ м/с}$:

$$i = \frac{0,001735 q^2}{d^{5,3}}, \quad (4)$$

где q – расход воды на участке сети, м³/с;

б) для неновых стальных и чугунных труб, работающих в доквадратичной области гидравлического сопротивления при $v < 1,2$ м/с:

$$i = \frac{0,00148 q^2}{d^{5,3}} \left(1 + \frac{0,867}{v}\right)^{0,3}, \quad (5)$$

в) для асбестоцементных труб:

$$i = \frac{0,00091 q^2}{d^{5,19}} \left(1 + \frac{3,51}{v}\right)^{0,19}. \quad (6)$$

В основу лабораторной установки заложены неновые стальные и чугунные трубы с условными диаметрами 10, 15 и 20 мм (расчетные диаметры 11,6; 14,7; 20,2 мм соответственно).

При расчете водопроводных сетей задача может ставиться различно: требуется определить потери напора (и скорость) по заданному расходу при уже известном диаметре;

требуется подобрать диаметр при заданном располагаемом напоре и необходимом расходе;

требуется провести увязку сети, то есть многократное определение потерь напора на многих участках при известных диаметрах, длинах, и определить поправочные расходы в контурах для снижения величины невязки [1, 7, 9].

Для ускорения процесса определения потерь напора широко используются различные вспомогательные таблицы, графики, номограммы и т. д.

Например, таблицы Шевелевых дают величины потерь напора на единицу длины (потери напора на 1 000 м длины) для всех стандартных диаметров труб различных типов в широком диапазоне расходов. По этим таблицам можно для заданного расхода предварительно подобрать диаметр в соответствии с предполагаемой скоростью и определить потери, соответствующие заданной длине, или, имея заданный располагаемый напор H , м, и длину водовода l , км, найти гидравлический уклон по формуле $i = H/l$, а затем определить по таблицам требуемый диаметр при заданном расходе.

Действительное распределение расходов воды по сети должно удовлетворять первому и второму законам Кирхгофа [1, 4]:

$$\sum q_{ij} + Q_i = 0, \quad (7)$$

$$\sum h_{ij} = 0, \quad (8)$$

где q_{ij} – расходы на участках, подходящих к узлу i – со знаком «+», отходящих от него – со знаком «-»; Q_i – узловой расход; h_{ij} – потери напора в участках кольца (с движением воды против часовой стрелки – со знаком «-», по часовой стрелке – со знаком «+»).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ТУПИКОВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 1

1.1. Общие сведения

Тупиковые водопроводные сети 1 широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий. Водопроводная сеть должна удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать подачу воды к местам потребления с заданным напором;

обладать надежностью и обеспечивать бесперебойное водоснабжение.

1.2. Цель работы

Исследовать работу тупиковой водопроводной сети 1, в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

определить потери напора на участках;

определить расходы на участках сети и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

1.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели тупиковой водопроводной сети 1, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). Для изменения расходов воды по линиям сети в узлах с 1 по 9 установлены регулировочные краны. Пьезометрические напоры в каждом узле измеряются пьезометрами, установленными на пьезометрическом стенде. Подача воды осуществляется в сеть с узла 1. В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;

геодезические отметки узлов Z_i ;

расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);

скорости движения воды на участках v_{ij} ;

потери напора на участках h_{ij} ;

длины участков l_{ij} ;

условные диаметры участков $d_{усл.ij}$.

На рис. 6 изображена схема тупиковой водопроводной сети 1 в плане.

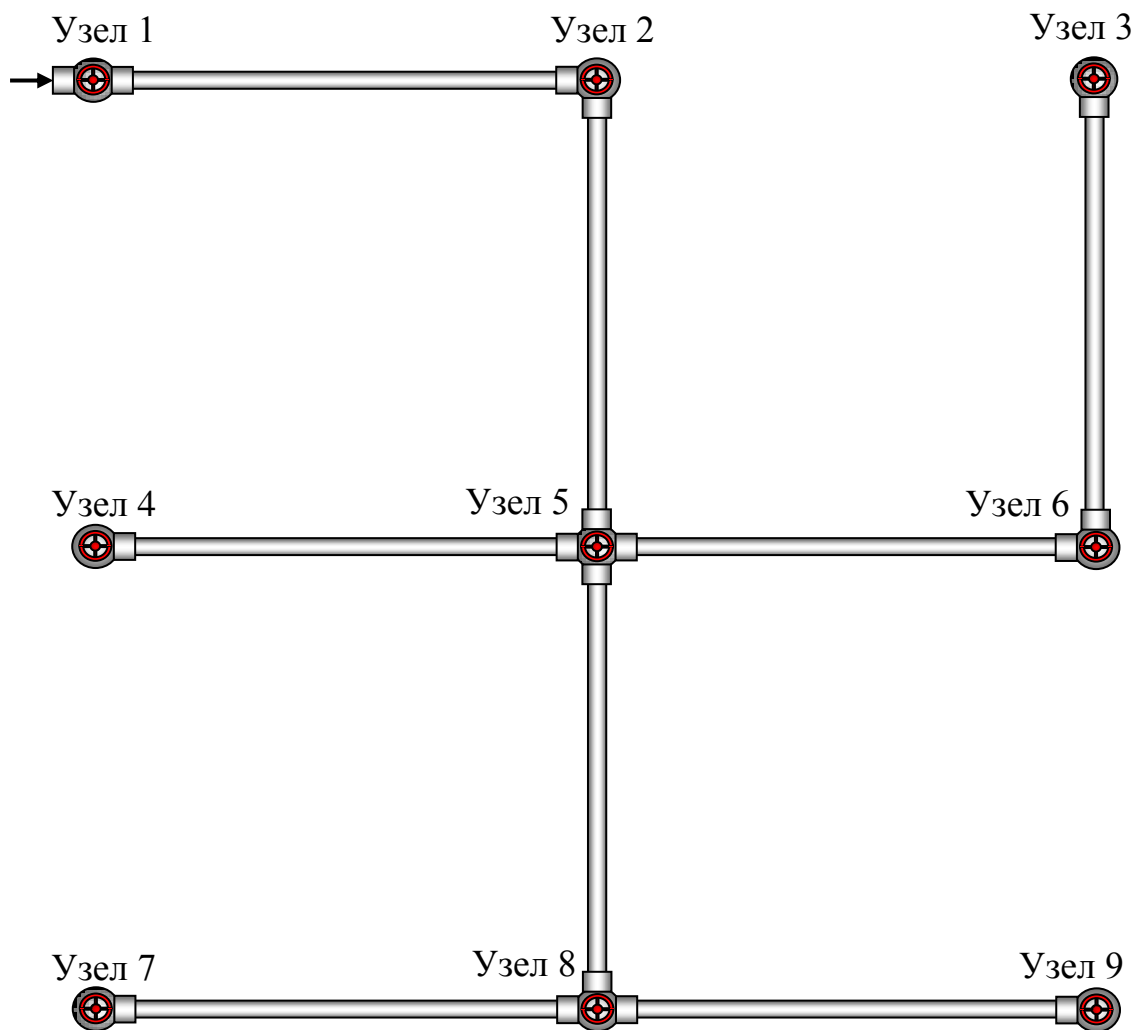


Рис. 6. Схема тупиковой водопроводной сети 1

1.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы с 1 по 9, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 1.1. В каждом узле рассчитывается свободный напор, m , по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (1.1)$$

Узловые расходы воды определяются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i} \quad (1.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 1.1 (графы 4 и 7).

Таблица 1.1

Параметры тупиковой водопроводной сети I по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

Опытные потери напора на отдельных участках сети вычисляются на основе показаний пьезометров (см. табл. 1.1) по формуле

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (1.3)$$

то есть

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{25} = H_2 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{54} = H_5 - H_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{56} = H_5 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{63} = H_6 - H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{58} = H_5 - H_8 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{87} = H_8 - H_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{89} = H_8 - H_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}.$$

Результаты вычислений опытных потерь напора заносятся в табл. 1.2 (графа 9).

Расходы на участках сети (линейные расходы) вычисляются после последовательного определения узловых расходов (табл. 1.1) от конечных узлов 9, 7, 4, 3 к узлу 1:

$$q_{89} = Q_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{87} = Q_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{58} = Q_8 + q_{87} + q_{89} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с};$$

$$q_{63} = Q_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{56} = Q_6 + q_{63} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{54} = Q_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с};$$

$$q_{25} = Q_5 + q_{56} + q_{54} + q_{58} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{12} = Q_2 + q_{25} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}.$$

Результаты вычислений расходов на участках заносятся в табл. 1.2 (графа 3).

Опытные значения потерь на участках (табл. 1.2) сравниваются с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или принимаемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяются величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняются графы 10 и 11 табл. 1.2. Условный диаметр (графа 4 табл. 1.2) снимается с ха-

рактеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5 табл. 1.2) также рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Средняя скорость на участке определяется по формуле

$$v_{ij} = \frac{4q_{ij}}{\pi d_{расч.ij}^2}. \quad (1.4)$$

Таблица 1.2

Параметры тупиковой водопроводной сети 1 по участкам

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход воды на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке, h_{ij} м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100, \%$
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12										
25										
36										
45										
56										
58										
78										
89										

Примечание: i – гидравлический уклон участка сети (численные значения определяются по таблицам Шевелевых в зависимости от материала, диаметра труб и расхода воды на участке).

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» тупиковой водопроводной сети 1 (см. прил. Б1), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение основной цели лабораторной работы и поясните, как достигается поставленная цель.
2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.
3. Перечислите основные требования, которым должна удовлетворять водопроводная сеть.

4. Укажите свойства водопроводных сетей, различающихся по геометрической форме.

5. Приведите пример расчетной схемы тупиковой водопроводной сети.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ТУПИКОВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 2

2.1. Общие сведения

Тупиковые водопроводные сети 2 широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий. Водопроводная сеть должна удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать подачу воды к местам потребления с заданным напором;

обладать надежностью и обеспечивать бесперебойное водоснабжение.

2.2. Цель работы

Исследовать работу тупиковой водопроводной сети 2, в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

определить потери напора на участках;

определить расходы на участках сети и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

2.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели тупиковой водопроводной сети 2, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). Для изменения расходов воды по линиям сети в узлах с 1 по 9 установлены регулировочные краны. Пьезометрические напоры в каждом узле измеряются пьезометрами, установленными на пьезометрическом стенде. Подача воды осуществляется в сеть с узла 1. В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;

геодезические отметки узлов Z_i ;

расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);

скорости движения воды на участках v_{ij} ;

потери напора на участках h_{ij} ;

длины участков l_{ij} ;

условные диаметры участков $d_{усл.ij}$.

На рис. 7 изображена схема тупиковой водопроводной сети 2 в плане.

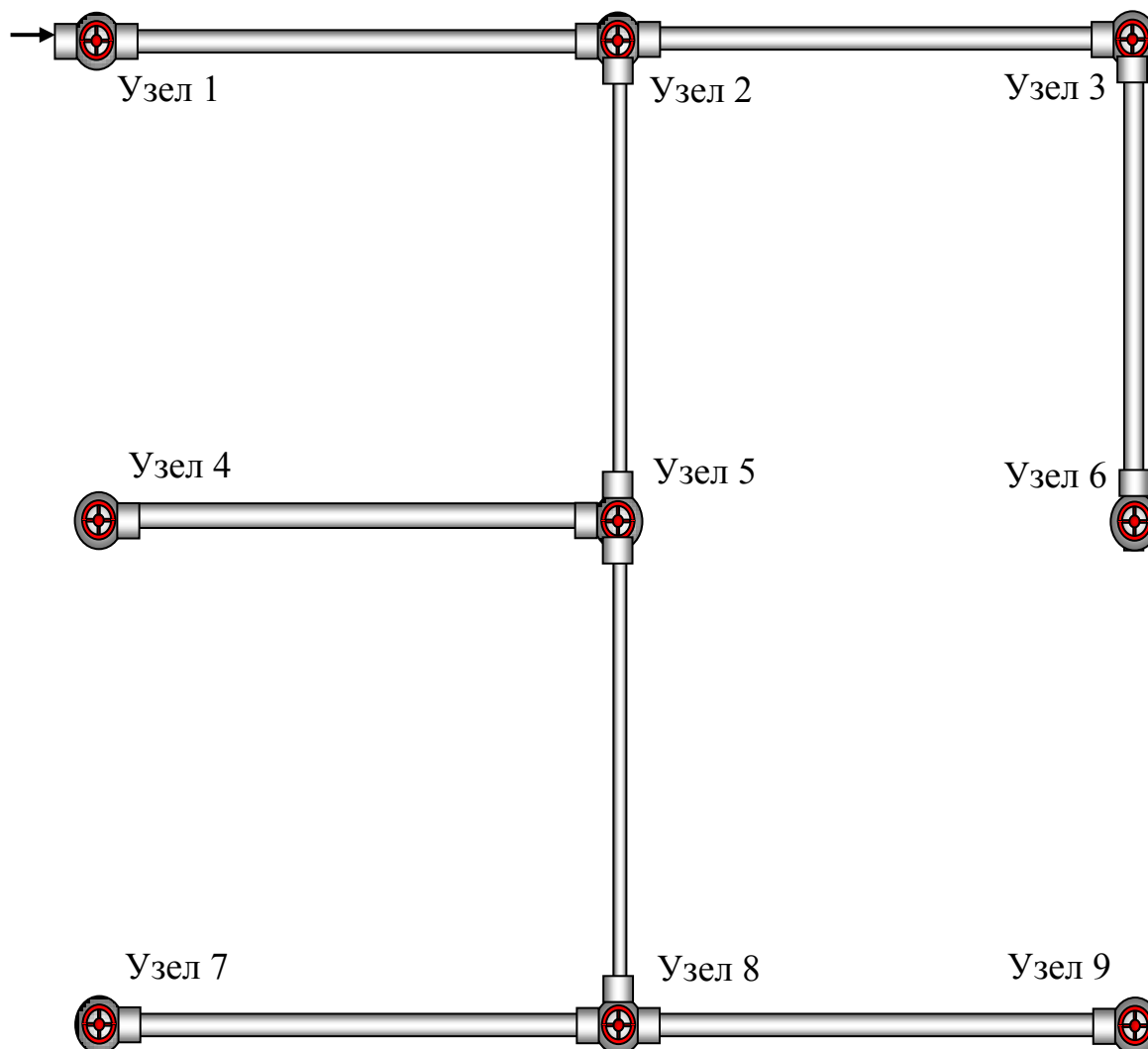


Рис. 7. Схема тупиковой водопроводной сети 2

2.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы с 1 по 9, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 2.1. В каждом узле определяется свободный напор по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i . \quad (2.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (2.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 2.1 (графы 4 и 7).

Таблица 2.1

Параметры тупиковой водопроводной сети 2 по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

Потери напора на отдельных участках сети вычисляются на основе показаний пьезометров (см. табл. 2.1) по формуле

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (2.3)$$

то есть

$$\begin{aligned} h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{25} = H_2 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{54} = H_5 - H_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \\ h_{23} = H_2 - H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{36} = H_3 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{58} = H_5 - H_8 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \\ h_{87} = H_8 - H_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{89} = H_8 - H_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}. \end{aligned}$$

Результаты вычислений опытных потерь напора заносятся в табл. 2.2 (графа 9).

Расходы на участках сети (линейные расходы) вычисляются после последовательного определения узловых расходов (табл. 2.1) от конечных узлов 9, 7, 4, 6 к узлу 1:

$$\begin{aligned} q_{89} = Q_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{87} = Q_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{58} = Q_8 + q_{87} + q_{89} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \\ q_{36} = Q_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{23} = Q_3 + q_{36} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{54} = Q_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \\ q_{25} = Q_5 + q_{58} + q_{54} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{12} = Q_2 + q_{25} + q_{23} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}. \end{aligned}$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 2.2 (графа 3).

Опытные значения потерь на участках (табл. 2.2) сравниваются с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или принимаемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяются величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняются графы 10 и 11 табл. 2.2. Условный диаметр (графа 4 табл. 2.2) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5) рекомендуется принимать также по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Средняя скорость на участке определяется по формуле

$$v_{ij} = \frac{4q_{ij}}{\pi d_{расч.ij}^2}. \quad (2.4)$$

Таблица 2.2

Параметры тупиковой водопроводной сети 2 по участкам

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход воды на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке, h_{ij} , м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100, \%$
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12										
25										
36										
45										
56										
58										
78										
89										

Примечание: i – гидравлический уклон участка сети (численные значения определяются по таблицам Шевелевых в зависимости от материала, диаметра труб и расхода воды на участке).

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» тупиковой водопроводной сети 2 (см. прил. Б2), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Какова основная цель лабораторной работы?

2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.

3. Назовите требования к водопроводным сетям. Каковы основные схемы сетей?

4. Как производится гидравлический расчет разветвленных сетей?

5. Укажите особенности работы и эксплуатации тупиковых водопроводных сетей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ТУПИКОВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 3

3.1. Общие сведения

Тупиковые водопроводные сети 3 широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий. Водопроводная сеть должна удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать подачу воды к местам потребления с заданным напором;

обладать надежностью и обеспечивать бесперебойное водоснабжение.

3.2. Цель работы

Исследовать работу тупиковой водопроводной сети 3, в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

определить потери напора на участках;

определить расходы на участках сети и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

3.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели тупиковой водопроводной сети 3, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). Для изменения расходов воды по линиям сети в узлах с 1 по 9 установлены регулировочные краны. Пьезометрические напоры в каждом узле измеряются пьезометрами, установленными на пьезометрическом стенде. Подача воды осуществляется в сеть с узла 1. В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;
геодезические отметки узлов Z_i ;
расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);
скорости движения воды на участках v_{ij} ;
потери напора на участках h_{ij} ;
длины участков l_{ij} ;
условные диаметры участков $d_{\text{усл.}ij}$.

На рис. 8 изображена схема тупиковой водопроводной сети 3 в плане.

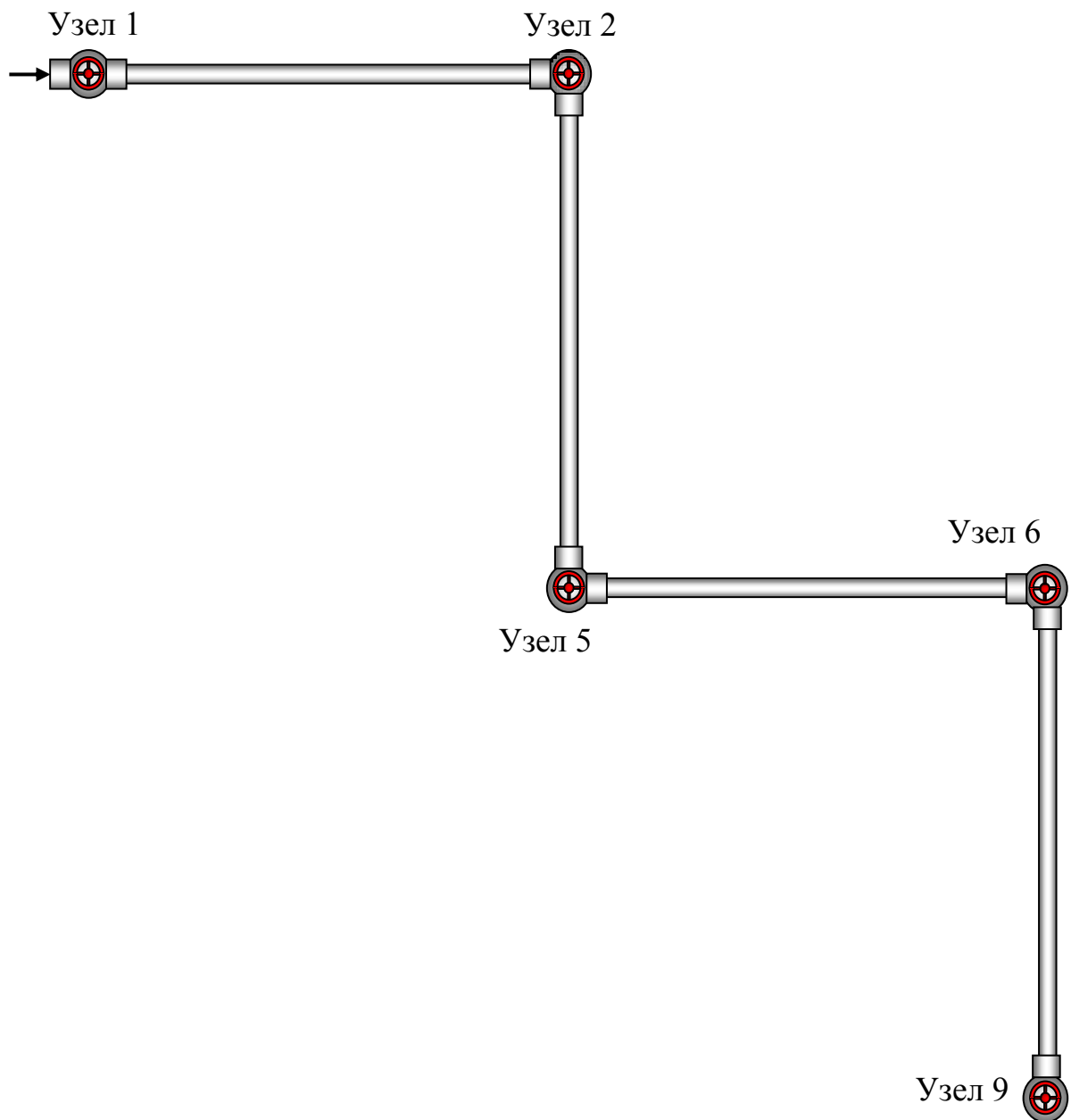


Рис. 8. Схема тупиковой водопроводной сети 3

3.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы 1, 2, 5, 6, 9, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 3.1. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (3.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (3.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 3.1 (графы 4 и 7).

Таблица 3.1

Параметры тупиковой водопроводной сети 3 по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
5						
6						
9						

На основе показаний пьезометров (см. табл. 3.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (3.3)$$

то есть

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{25} = H_2 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{56} = H_5 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{69} = H_6 - H_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}.$$

Результаты вычислений опытных потерь напора заносятся в табл. 3.2 (графа 9).

Расходы на участках сети (линейные расходы) вычисляются после последовательного определения узловых расходов (табл. 3.1) от конечного узла 9 к узлу 1:

$$q_{69} = Q_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{56} = Q_6 + q_{69} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{25} = Q_5 + q_{56} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с};$$

$$q_{12} = Q_{12} + q_{25} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 3.2 (графа 3).

Опытные значения потерь на участках (табл. 3.2) сравниваются с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или принимаемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяются величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняются графы 10 и 11 табл. 3.2. Условный диаметр (графа 4 табл. 3.2) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5) также рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Средняя скорость на участке определяется по формуле

$$v_{ij} = \frac{4q_{ij}}{\pi d_{расч.ij}^2}. \quad (3.4)$$

Таблица 3.2

Параметры тупиковой водопроводной сети 3 по участкам

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход воды на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке h_{ij} , м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100$, %
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12										
25										
56										
69										

Примечание: i – гидравлический уклон участка сети (численные значения определяются по таблицам Шевелевых в зависимости от материала, диаметра труб и расхода воды на участке).

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» тупиковой водопроводной сети 3 (см. прил. Б3), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основную цель лабораторной работы и поясните, как достигается поставленная цель.

2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.

3. Перечислите категории потребителей и их основные требования к количеству и качеству используемой воды.

4. Назовите системы, осуществляющие подачу воды от источника водоснабжения до объекта.

5. Дайте определение путевого и транзитного расхода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ТУПИКОВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 4

4.1. Общие сведения

Тупиковые водопроводные сети 4 широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий. Водопроводная сеть должна удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать подачу воды к местам потребления с заданным напором;

обладать надежностью и обеспечивать бесперебойное водоснабжение.

4.2. Цель работы

Исследовать работу тупиковой водопроводной сети 4, в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

определить потери напора на участках;

определить расходы на участках сети и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

4.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели тупиковой водопроводной сети 4, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). Для изменения расходов воды по линиям сети в узлах с 1 по 6 установлены регулировочные краны. Пьезометрический напор в каждом узле измеряется пьезометрами, установленными на пьезометрическом стенде. Подача воды осуществляется в сеть с узла 1. В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;
 геодезические отметки узлов Z_i ;
 расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);
 скорости движения воды на участках v_{ij} ;
 потери напора на участках h_{ij} ;
 длины участков l_{ij} ;
 условные диаметры участков $d_{\text{усл.}ij}$.

На рис. 9 изображена схема тупиковой водопроводной сети 4 в плане.

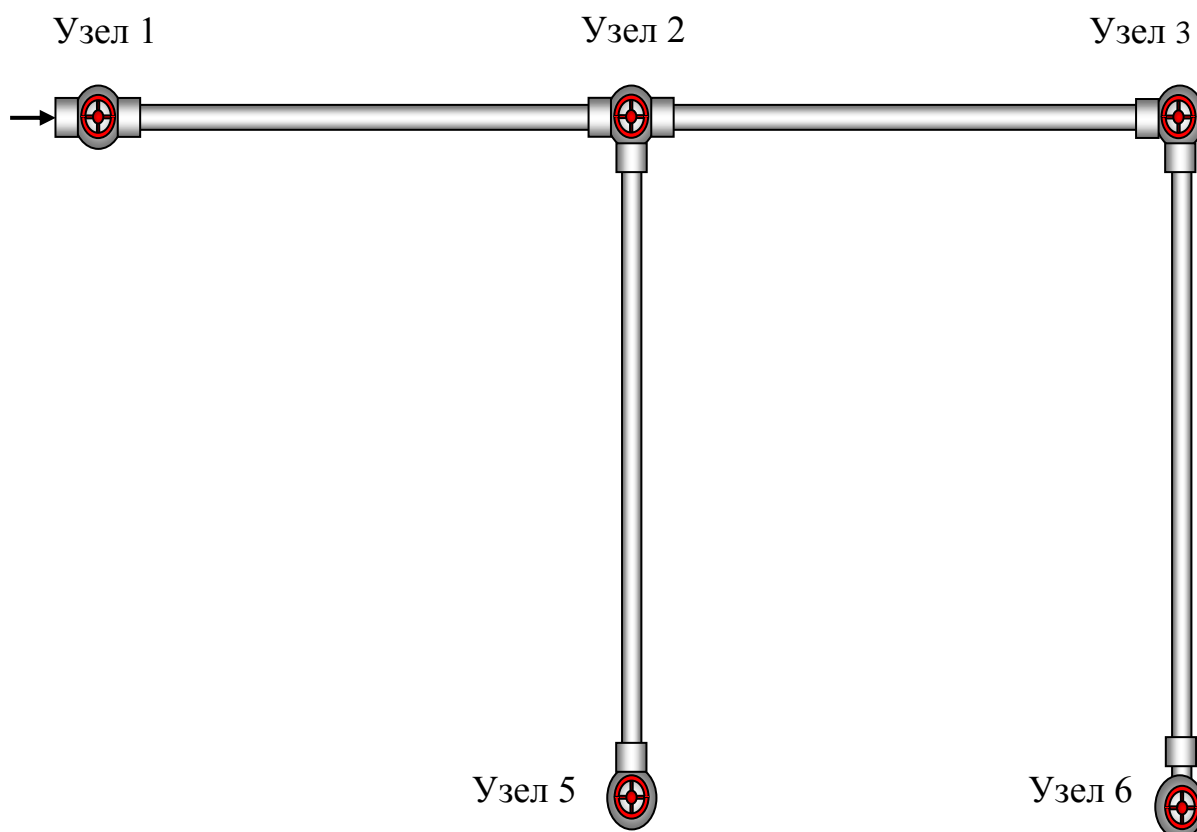


Рис. 9. Схема тупиковой водопроводной сети 4

4.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы 1, 2, 5, 3, 6, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 4.1. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (4.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (4.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 4.1 (графы 4 и 7).

Таблица 4.1

Параметры тупиковой водопроводной сети 4 по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
5						
3						
6						

На основе показаний пьезометров (см. табл. 4.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (4.3)$$

то есть

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{25} = H_2 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{23} = H_2 - H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{36} = H_3 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

Результаты вычислений опытных потерь напора заносятся в табл. 4.2 (графа 9).

Расходы на участках сети (линейные расходы) вычисляются после последовательного определения узловых расходов (табл. 4.1) от конечных узлов 6, 5 к узлу 1:

$$q_{36} = Q_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{23} = Q_3 + q_{36} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{25} = Q_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с};$$

$$q_{12} = Q_2 + q_{25} + q_{23} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}.$$

Результаты вычислений расходов на участках заносятся в табл. 4.2 (графа 3).

Опытные значения потерь на участках (табл. 4.2) сравниваются с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или принимаемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяются величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняются графы 10 и 11 табл. 4.2. Условный диаметр (графа 4 табл. 4.2) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5 табл. 4.2) также рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Средняя скорость на участке определяется по формуле

$$v_{ij} = \frac{4q_{ij}}{\pi d_{расч.ij}^2}. \quad (4.4)$$

Таблица 4.2

Параметры тупиковой водопроводной сети 4 по участкам

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход воды на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке h_{ij} , м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100, \%$
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12										
25										
23										
36										

Примечание: i – гидравлический уклон участка сети (численные значения определяются по таблицам Шевелевых в зависимости от расхода воды на участке).

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» тупиковой водопроводной сети 4 (см. прил. Б4), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основную цель лабораторной работы и поясните, как достигается поставленная цель.
2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.
3. Дайте определение диаметров водопроводных сетей. Каковы оптимальные диаметры водопроводных сетей?
4. Назовите основные принципы назначения расчетной схемы водопотребления в городских водопроводных сетях.
5. Что такое напорные и безнапорные водоводы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ТУПИКОВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 5

5.1. Общие сведения

Тупиковые водопроводные сети 5 широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий. Водопроводная сеть должна удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать подачу воды к местам потребления с заданным напором;

обладать надежностью и обеспечивать бесперебойное водоснабжение.

5.2. Цель работы

Исследовать работу тупиковой водопроводной сети 5, в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

определить потери напора на участках;

определить расходы на участках сети и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

5.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели тупиковой водопроводной сети 5, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). Для изменения расходов воды по линиям сети в узлах с 1 по 9 установлены регулировочные краны. Пьезометрические напоры в каждом узле измеряются пьезометрами, установленными на пьезометрическом стенде. Подача воды осуществляется в сеть с узла 1. В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;

геодезические отметки узлов Z_i ;

расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);

скорости движения воды на участках v_{ij} ;

потери напора на участках h_{ij} ;

длины участков l_{ij} ;

условные диаметры участков $d_{\text{усл.}ij}$.

На рис. 10 изображена схема тупиковой водопроводной сети 5 в плане.

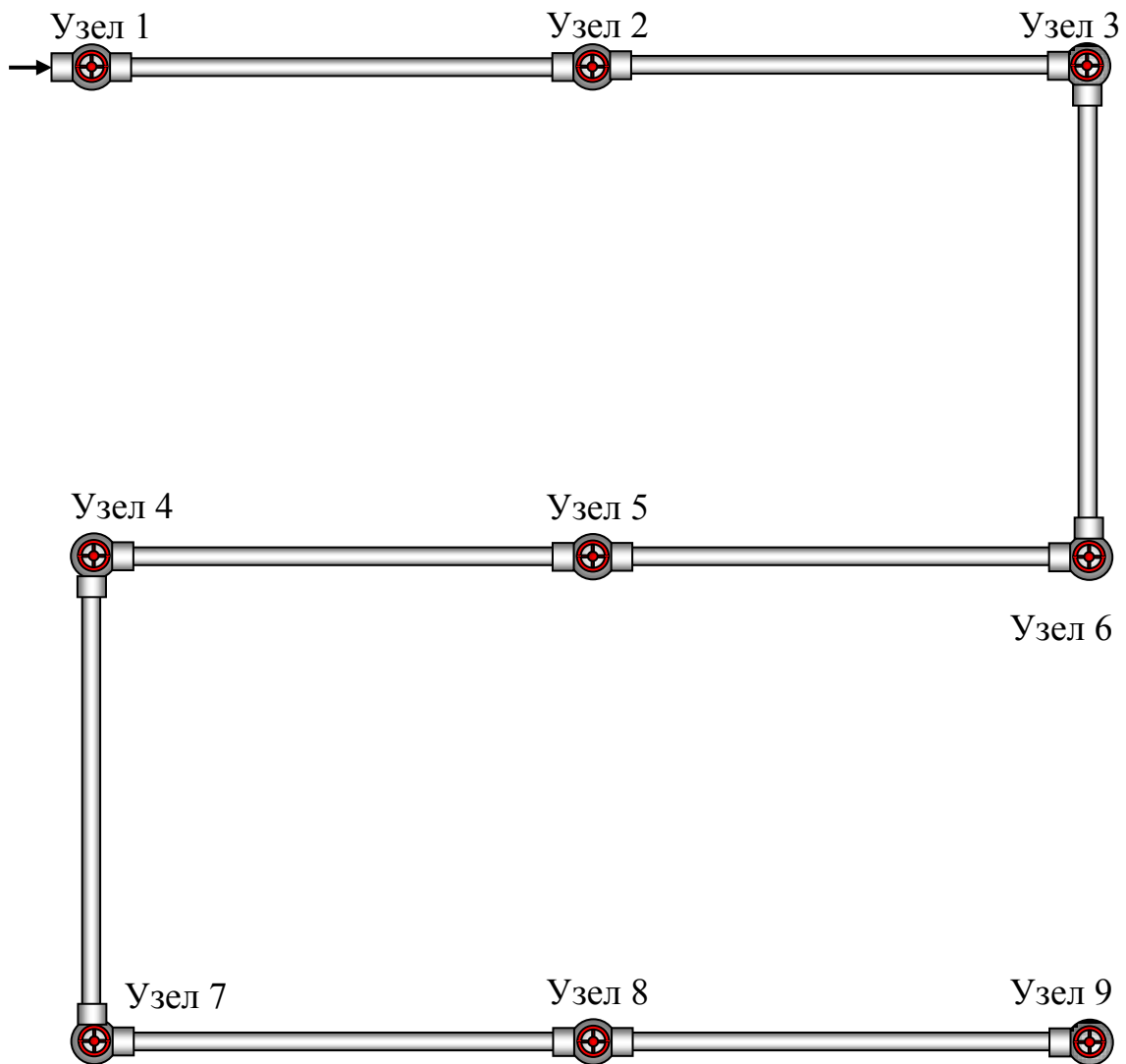


Рис. 10. Схема тупиковой водопроводной сети 5

5.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 5.1. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (5.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (5.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 5.1 (графы 4 и 7).

Таблица 5.1

Параметры тупиковой водопроводной сети 5 по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

На основе показаний пьезометров (табл. 5.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (5.3)$$

то есть

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{23} = H_2 - H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{36} = H_3 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{65} = H_6 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{54} = H_5 - H_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{47} = H_4 - H_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{78} = H_7 - H_8 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{89} = H_8 - H_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}.$$

Результаты вычислений опытных потерь напора заносятся в табл. 5.2 (графа 9).

Расходы на участках сети (линейные расходы) вычисляются после последовательного определения узловых расходов (табл. 5.1) от конечного узла 9 к узлу 1:

$$q_{69} = Q_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{56} = Q_6 + q_{69} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{25} = Q_5 + q_{56} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с};$$

$$q_{12} = Q_2 + q_{25} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 5.2 (графа 3).

Опытные значения потерь на участках (см. табл. 5.2) сравниваются с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или принимаемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяются величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняются графы 10 и 11 табл. 5.2. Условный диаметр (графа 4 табл. 5.2) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5) также рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Средняя скорость на участке определяется по формуле

$$v_{ij} = \frac{4q_{ij}}{\pi d_{расч.ij}^2}. \quad (5.4)$$

Таблица 5.2

Параметры тупиковой водопроводной сети 5 по участкам

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход воды на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке, h_{ij} м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100, \%$
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12										
23										
36										
65										
54										
47										
78										
89										

Примечание: i – гидравлический уклон участка сети (численные значения определяются по таблицам Шевелевых в зависимости от материала, диаметра труб и расхода воды на участке).

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» тупиковой водопроводной сети 5 (см. прил. Б5), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Какова основная цель лабораторной работы и как она достигается?
2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.
3. Перечислите основные природные источники водоснабжения.
4. Объясните, как определять удельные расходы воды.
5. Сформулируйте принципы выбора диаметров труб водопроводных сетей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 КОЛЬЦЕВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 1 (4 КОЛЬЦА)

6.1. Общие сведения

Кольцевые водопроводные сети 1 (4 кольца) широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, где необходимо обеспечить бесперебойную подачу воды потребителям. Для любой кольцевой водопроводной сети справедливы следующие равенства:

расход воды в каждом узле $\Sigma q_+ = \Sigma q_-$;

потери напора в каждом кольце $\Sigma h_+ = \Sigma h_-$,

где Σq_+ – расходы воды, подходящие к узлу; Σq_- – расходы воды, отходящие от узла; Σh_+ – потери напора в участках кольца с движением воды по часовой стрелке; Σh_- – потери напора в участках кольца с движением воды против часовой стрелки.

6.2. Цель работы

Исследовать работу кольцевой водопроводной сети 1 (4 кольца), в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

определить потери напора на участках;

определить линейные расходы воды на участках и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

6.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели кольцевой водопроводной сети 1 (4 кольца), выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;

геодезические отметки узлов Z_i ;

расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);

скорости движения воды на участках v_{ij} ;

потери напора на участках h_{ij} ;

длины участков l_{ij} ;

условные диаметры участков $d_{\text{усл.}ij}$.

На рис. 11 изображена схема кольцевой водопроводной сети (4 кольца) в плане.

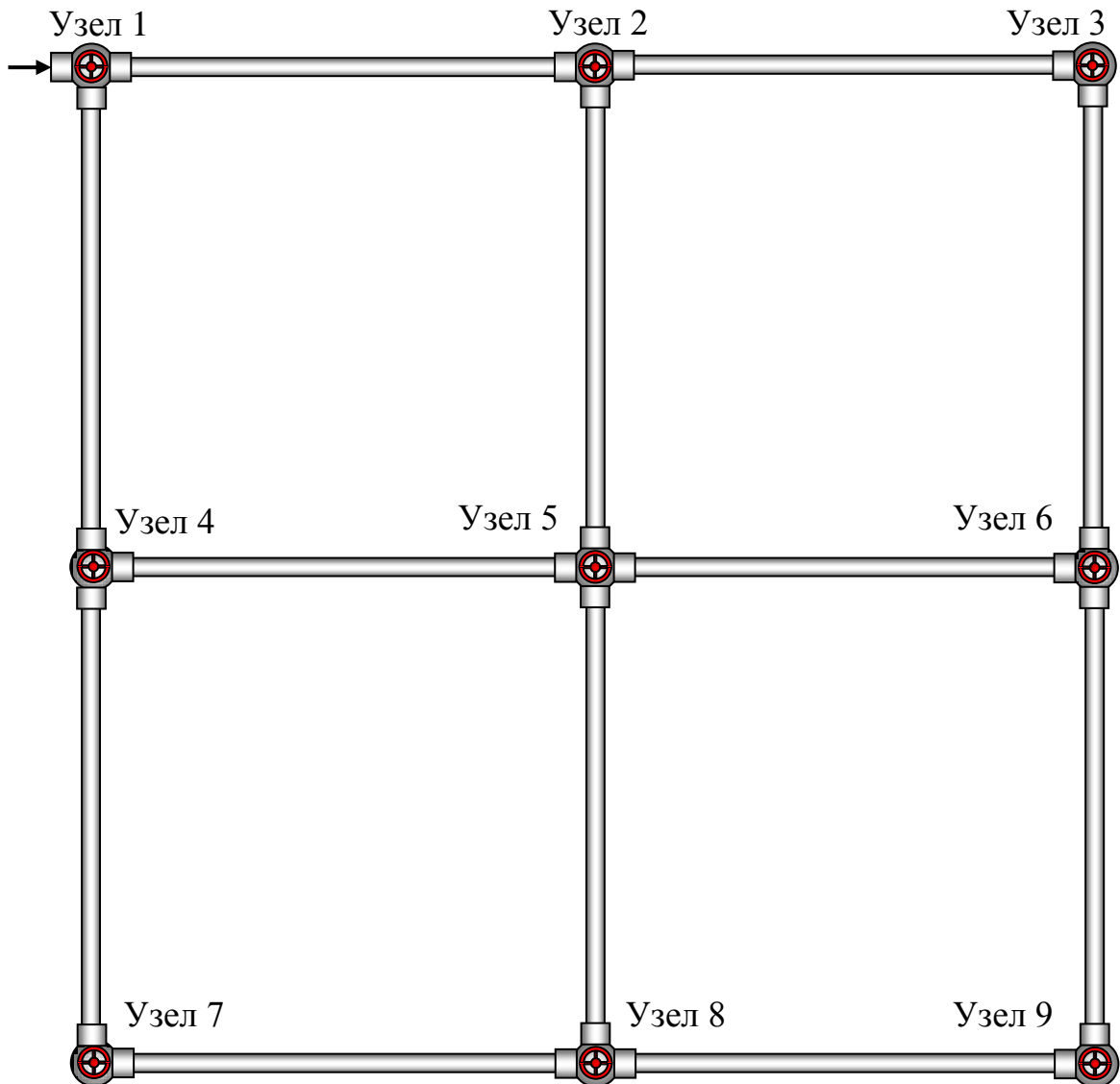


Рис. 11. Схема кольцевой водопроводной сети (4 кольца)

6.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы с 1 по 9, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 6.1. Направление движения потоков воды в линиях сети определяется по разности показаний пьезометров. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (6.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (6.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 6.1 (графы 4 и 7).

Таблица 6.1

Параметры кольцевой водопроводной сети I (4 кольца) по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

На основе показаний пьезометров (см. табл. 6.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (6.3)$$

то есть

$$\begin{aligned} h_{12} = H_1 - H_2 = ____ \text{ м}; \quad h_{23} = H_2 - H_3 = ____ \text{ м}; \quad h_{14} = H_1 - H_4 = ____ \text{ м}; \\ h_{25} = H_2 - H_5 = ____ \text{ м}; \quad h_{36} = H_3 - H_6 = ____ \text{ м}; \quad h_{45} = H_4 - H_5 = ____ \text{ м}; \\ h_{56} = H_5 - H_6 = ____ \text{ м}; \quad h_{47} = H_4 - H_7 = ____ \text{ м}; \quad h_{58} = H_5 - H_8 = ____ \text{ м}; \\ h_{69} = H_6 - H_9 = ____ \text{ м}; \quad h_{78} = H_7 - H_8 = ____ \text{ м}; \quad h_{89} = H_8 - H_9 = ____ \text{ м}. \end{aligned}$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 6.2 (графа 3).

Для определения расходов на участках сети (линейных расходов) для каждого участка вычисляется гидравлический уклон:

$$i_{ij} = \frac{h_{ij}}{l_{ij}}. \quad (6.4)$$

По величине $1000i_{ij}$ для каждого участка из таблиц Шевелевых (см. прил. А) находятся расход q_{ij} и средняя скорость v_{ij} на участке и записываются в графы 7 и 8 табл. 6.2.

Таблица 6.2

Параметры кольцевой водопроводной сети I (4 кольца) по участкам

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл,ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч,ij}$, мм	Гидравлический уклон 1 000i	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
12							
23							
14							
25							
36							
45							
56							
47							
58							
69							
78							
89							

После заполнения табл. 6.2 производится проверка распределения расходов воды в сети на соответствие первому закону Кирхгофа:

$$\sum q_+ = \sum q_-, \quad (6.5)$$

где $\sum q_+$ – расходы воды, подходящие к узлу; $\sum q_-$ – расходы воды, отходящие от узла.

Для каждого узла кольца производятся вычисления подходящих и отходящих расходов, а также относительного отклонения между ними Δ_{qi} .

Узел 1:

$$\sum q_{1+} = \sum Q_i = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{1-} = q_{14} + q_{12} + Q_1 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q1} = \frac{|\sum q_{1+} - \sum q_{1-}|}{\sum q_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 2:

$$\sum q_{2+} = q_{12} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{2-} = q_{25} + q_{23} + Q_2 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q2} = \frac{|\sum q_{2+} - \sum q_{2-}|}{\sum q_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 3:

$$\sum q_{3+} = q_{23} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{3-} = q_{36} + Q_3 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов:

$$\Delta_{q3} = \frac{|\sum q_{3+} - \sum q_{3-}|}{\sum q_{3+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 4:

$$\sum q_{4+} = q_{14} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{4-} = q_{47} + q_{45} + Q_4 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q4} = \frac{|\sum q_{4+} - \sum q_{4-}|}{\sum q_{4+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 5:

$$\sum q_{5+} = q_{25} + q_{45} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{5-} = q_{58} + q_{56} + Q_5 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q5} = \frac{|\sum q_{5+} - \sum q_{5-}|}{\sum q_{5+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 6:

$$\sum q_{6+} = q_{36} + q_{56} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{6-} = q_{69} + Q_6 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q6} = \frac{|\sum q_{6+} - \sum q_{6-}|}{\sum q_{6+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 7:

$$\sum q_{7+} = q_{47} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{7-} = q_{78} + Q_7 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q7} = \frac{|\sum q_{7+} - \sum q_{7-}|}{\sum q_{7+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 8:

$$\sum q_{8+} = q_{78} + q_{58} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{8-} = q_{89} + Q_8 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q8} = \frac{|\sum q_{8+} - \sum q_{8-}|}{\sum q_{8+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 9:

$$\sum q_{9+} = q_{89} + q_{69} = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с};$$

$$\sum q_{9-} = Q_9 = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с}.$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q9} = \frac{|\sum q_{9+} - \sum q_{9-}|}{\sum q_{9+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%.$$

Оценка относительных отклонений расхода Δ_{qi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{qi} = 0 \div 0,99 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{qi} = 1 \div 5 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{qi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

После оценки относительных отклонений расхода Δ_{qi} , производится проверка распределения потерь напора по кольцу h_{ik} на соответствие второму закону Кирхгофа:

$$\sum h_{ik} = 0 \quad (6.6)$$

или

$$\sum h_{+} = \sum h_{-}, \quad (6.7)$$

где $\sum h_{+}$ и $\sum h_{-}$ – потери напора в участках кольца с движением воды соответственно по часовой стрелке и против нее.

Для каждого кольца производятся вычисления подходящих и отходящих потерь напора, а также относительного отклонения между ними Δ_{hi} .

Кольцо 1 (12541):

$$\sum h_{1+} = h_{12} + h_{25} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м};$$

$$\sum h_{1-} = h_{14} + h_{45} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h1} = \frac{|\sum h_{1+} - \sum h_{1-}|}{\sum h_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%.$$

Кольцо 2 (23652):

$$\sum h_{2+} = h_{23} + h_{36} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м};$$

$$\sum h_{2-} = h_{25} + h_{56} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h2} = \frac{|\sum h_{2+} - \sum h_{2-}|}{\sum h_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%.$$

Кольцо 3 (45874):

$$\sum h_{3+} = h_{45} + h_{58} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м};$$

$$\sum h_{3-} = h_{47} + h_{78} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h3} = \frac{|\sum h_{3+} - \sum h_{3-}|}{\sum h_{3+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%.$$

Кольцо 4 (56985):

$$\sum h_{4+} = h_{56} + h_{69} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м};$$

$$\sum h_{4-} = h_{58} + h_{89} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h4} = \frac{|\sum h_{4+} - \sum h_{4-}|}{\sum h_{4+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Оценка относительных отклонений потерь напора Δ_{hi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{hi} = 0 \div 0,99 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{hi} = 1 \div 5 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{hi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» кольцевой водопроводной сети 1 (4 кольца) (см. прил. Б6), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Какова основная цель лабораторной работы и как она достигается?
2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.
3. Перечислите основных потребителей хозяйственно-питьевой воды и приведите нормы водопотребления.
4. Каковы особенности устройства кольцевых водопроводных сетей?
5. Сформулируйте порядок гидравлического расчета кольцевых водопроводных сетей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 КОЛЬЦЕВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 2 (2 КОЛЬЦА)

7.1. Общие сведения

Кольцевые водопроводные сети 2 (2 кольца) широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, где необходимо обеспечить бесперебойную подачу воды по-

требителям. Для любой кольцевой водопроводной сети справедливы следующие равенства:

расход воды в каждом узле $\Sigma q_+ = \Sigma q_-$;

потери напора в каждом кольце $\Sigma h_+ = \Sigma h_-$,

где Σq_+ – расходы воды, подходящие к узлу; Σq_- – расходы воды, отходящие от узла; Σh_+ – потери напора в участках кольца с движением воды по часовой стрелке; Σh_- – потери напора в участках кольца с движением воды против часовой стрелки.

7.2. Цель работы

Исследовать работу кольцевой водопроводной сети 2 (2 кольца), в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

рассчитать потери напора на участках;

найти линейные расходы воды на участках и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

7.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели кольцевой водопроводной сети 2 (2 кольца), выполненной из металлических труб диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;

геодезические отметки узлов Z_i ;

расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);

скорости движения воды на участках v_{ij} ;

потери напора на участках h_{ij} ;

длины участков l_{ij} ;

условные диаметры участков $d_{\text{усл.}ij}$.

На рис. 12 изображена схема кольцевой водопроводной сети 2 (2 кольца) в плане.

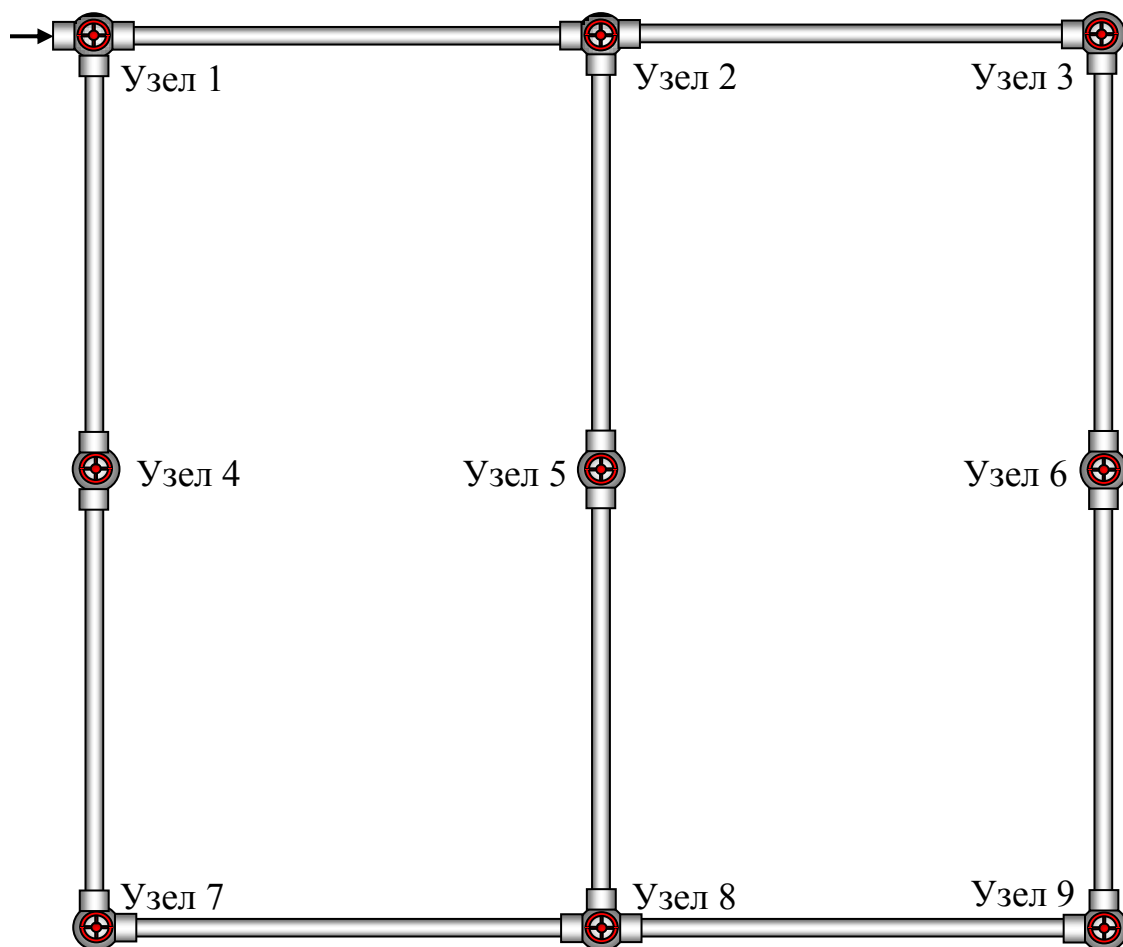


Рис. 12. Схема кольцевой водопроводной сети 2 (2 кольца)

7.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы с 1-го по 9-й, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 7.1. Направление движения потоков воды в линиях сети определяется по разности показаний пьезометров. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (7.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (7.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 7.1 (графы 4 и 7).

Таблица 7.1

Параметры кольцевой водопроводной сети 2 (2 кольца) по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

На основе показаний пьезометров (см. табл. 7.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (7.3)$$

то есть

$$\begin{aligned} h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{23} = H_2 - H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{14} = H_1 - H_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \\ h_{25} = H_2 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{36} = H_3 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{47} = H_4 - H_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \\ h_{58} = H_5 - H_8 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{69} = H_6 - H_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{78} = H_7 - H_8 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \\ h_{89} = H_8 - H_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}. \end{aligned}$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 7.2 (графа 3).

Для определения расходов на участках сети (линейных расходов) для каждого участка вычисляется гидравлический уклон:

$$i_{ij} = \frac{h_{ij}}{l_{ij}}. \quad (7.4)$$

По величине $1000i_{ij}$ для каждого участка из таблиц Шевелевых (см. прил. А) находят расход q_{ij} и среднюю скорость v_{ij} на участке и записывают в табл. 7.2 (графы 7 и 8).

Таблица 7.2

Параметры кольцевой водопроводной сети 2 (2 кольца) по участкам

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл,ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч,ij}$, мм	Гидравлический уклон 1 000i	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
12							
23							
14							
25							
36							
47							
58							
69							
78							
89							

После заполнения табл. 7.2 производится проверка распределения расходов воды в сети на соответствие первому закону Кирхгофа:

$$\sum q_+ = \sum q_-, \quad (7.5)$$

где $\sum q_+$ – расходы воды, подходящие к узлу; $\sum q_-$ – расходы воды, отходящие от узла.

Для каждого узла кольца производятся вычисления подходящих и отходящих расходов, а также относительного отклонения между ними Δ_{qi} .

Узел 1:

$$\sum q_{1+} = \sum Q_i = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{1-} = q_{14} + q_{12} + Q_1 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q1} = \frac{|\sum q_{1+} - \sum q_{1-}|}{\sum q_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 2:

$$\sum q_{2+} = q_{12} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{2-} = q_{25} + q_{23} + Q_2 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q2} = \frac{|\sum q_{2+} - \sum q_{2-}|}{\sum q_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 3:

$$\sum q_{3+} = q_{23} = \text{_____ л/с;}$$

$$\sum q_{3-} = q_{36} + Q_3 = \text{_____ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q3} = \frac{|\sum q_{3+} - \sum q_{3-}|}{\sum q_{3+}} \cdot 100 \% = \text{_____ \%}.$$

Узел 4:

$$\sum q_{4+} = q_{14} = \text{_____ л/с;}$$

$$\sum q_{4-} = q_{47} + Q_4 = \text{_____ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q4} = \frac{|\sum q_{4+} - \sum q_{4-}|}{\sum q_{4+}} \cdot 100 \% = \text{_____ \%}.$$

Узел 5:

$$\sum q_{5+} = q_{25} = \text{_____ л/с;}$$

$$\sum q_{5-} = q_{58} + Q_5 = \text{_____ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q5} = \frac{|\sum q_{5+} - \sum q_{5-}|}{\sum q_{5+}} \cdot 100 \% = \text{_____ \%}.$$

Узел 6:

$$\sum q_{6+} = q_{36} = \text{_____ л/с;}$$

$$\sum q_{6-} = q_{69} + Q_6 = \text{_____ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q6} = \frac{|\sum q_{6+} - \sum q_{6-}|}{\sum q_{6+}} \cdot 100 \% = \text{_____ \%}.$$

Узел 7:

$$\sum q_{7+} = q_{47} = \text{_____ л/с;}$$

$$\sum q_{7-} = q_{78} + Q_7 = \text{_____ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q7} = \frac{|\sum q_{7+} - \sum q_{7-}|}{\sum q_{7+}} \cdot 100 \% = \text{_____ \%}.$$

Узел 8:

$$\sum q_{8+} = q_{78} + q_{58} = \text{_____ л/с;}$$

$$\sum q_{8-} = q_{89} + Q_8 = \text{_____ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q8} = \frac{|\sum q_{8+} - \sum q_{8-}|}{\sum q_{8+}} \cdot 100 \% = \text{_____ \%}.$$

Узел 9:

$$\sum q_{9+} = q_{89} + q_{69} = \text{_____ л/с;}$$

$$\sum q_{9-} = Q_9 = \text{_____ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q9} = \frac{|\sum q_{9+} - \sum q_{9-}|}{\sum q_{9+}} \cdot 100 \% = \text{_____ \%}.$$

Оценка относительных отклонений расхода Δ_{qi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{qi} = 0 \div 0,99 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{qi} = 1 \div 5 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{qi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

После оценки относительных отклонений расхода Δ_{qi} , производится проверка распределения потерь напора по кольцу h_{ik} на соответствие второму закону Кирхгофа:

$$\sum h_{ik} = 0, \quad (7.6)$$

или

$$\sum h_+ = \sum h_-, \quad (7.7)$$

где $\sum h_+$ и $\sum h_-$ – потери напора в участках кольца с движением воды, соответственно, по часовой и против часовой стрелки.

Для каждого кольца производятся вычисления подходящих и отходящих потерь напора, а также относительного отклонения между ними Δ_{hi} .

Кольцо 1 (1258741):

$$\sum h_{1+} = h_{12} + h_{25} + h_{58} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м};$$

$$\sum h_{1-} = h_{14} + h_{47} + h_{78} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h1} = \frac{|\sum h_{1+} - \sum h_{1-}|}{\sum h_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%$$

Кольцо 2 (2369852):

$$\sum h_{2+} = h_{23} + h_{36} + h_{69} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м};$$

$$\sum h_{2-} = h_{25} + h_{58} + h_{89} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h2} = \frac{|\sum h_{2+} - \sum h_{2-}|}{\sum h_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%$$

Оценка относительных отклонений потерь напора Δ_{hi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{hi} = 0 \div 0,99 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{hi} = 1 \div 5 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{hi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» кольцевой водопроводной сети 2 (2 кольца) (см. прил. Б7), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основную цель лабораторной работы и поясните, как она достигается.
2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.
3. Как используется первый закон Кирхгофа при расчете кольцевых водопроводных сетей?
4. Что означает эквивалентный расчетный расход и как он определяется?
5. В чем заключается суть метода внешней увязки систем подачи и распределения воды?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 КОЛЬЦЕВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 3 (3 КОЛЬЦА)

8.1. Общие сведения

Кольцевые водопроводные сети 3 (3 кольца) широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, где необходимо обеспечить бесперебойную подачу воды потребителям. Для любой кольцевой водопроводной сети справедливы следующие равенства:

расход воды в каждом узле $\Sigma q_+ = \Sigma q_-$;

потери напора в каждом кольце $\Sigma h_+ = \Sigma h_-$,

где Σq_+ – расходы воды, подходящие к узлу; Σq_- – расходы воды, отходящие от узла; Σh_+ – потери напора в участках кольца с движением воды по часовой стрелке; Σh_- – потери напора в участках кольца с движением воды против часовой стрелки.

8.2. Цель работы

Исследовать работу кольцевой водопроводной сети 3 (3 кольца), в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

рассчитать потери напора на участках;

найти линейные расходы воды на участках и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

8.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели кольцевой водопроводной сети 3 (3 кольца), выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

- узловые расходы Q_i (i – номер узла);
- гидростатические напоры в узлах H_i ;
- геодезические отметки узлов Z_i ;
- расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);
- скорости движения воды на участках v_{ij} ;
- потери напора на участках h_{ij} ;
- длины участков l_{ij} ;
- условные диаметры участков $d_{усл.ij}$.

На рис. 13 изображена схема кольцевой водопроводной сети 3 (3 кольца) в плане.

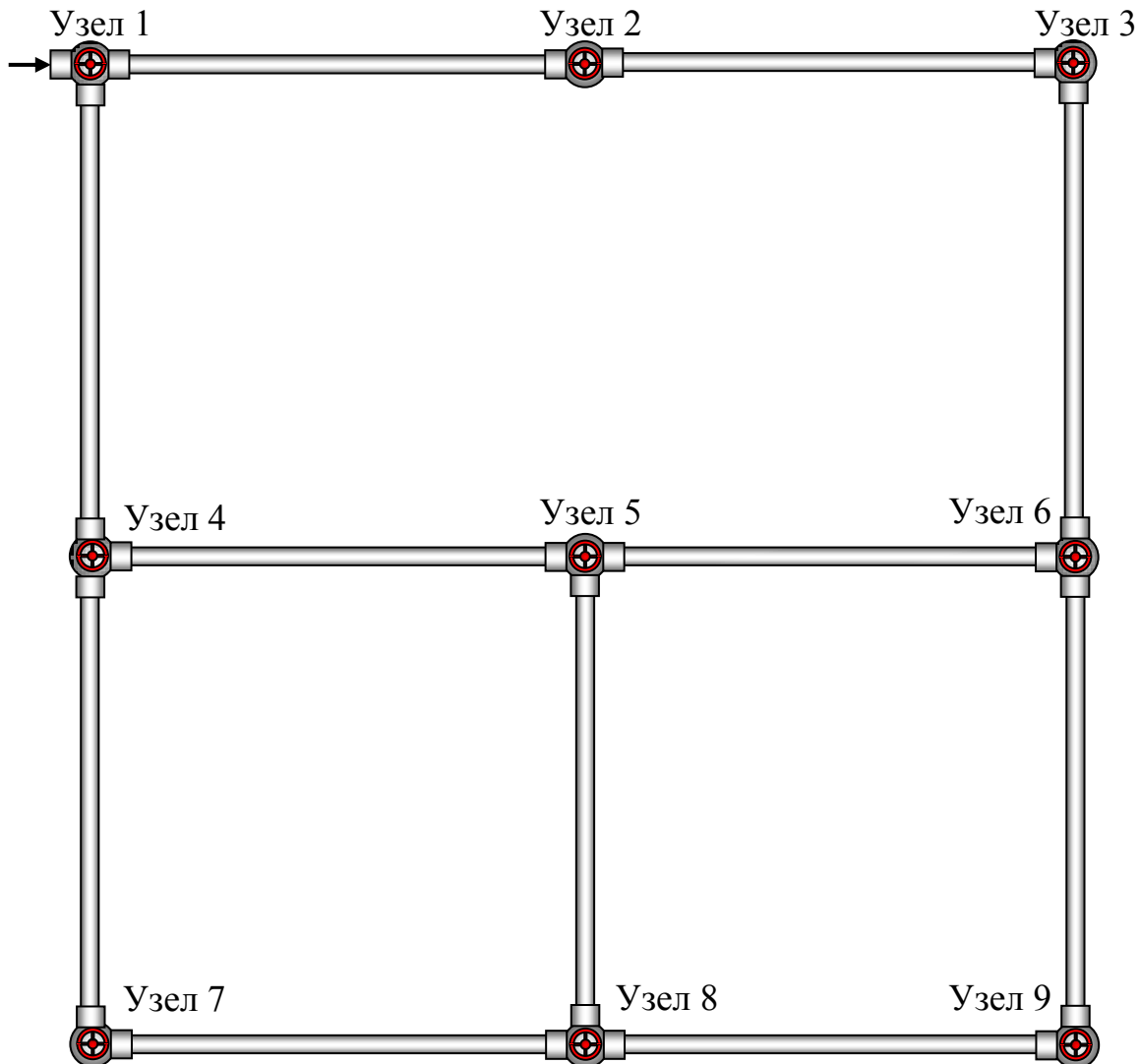


Рис. 13. Схема кольцевой водопроводной сети 3 (3 кольца)

8.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы с 1-го по 9-й, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 8.1. Направление движения потоков воды в линиях сети определяется по разности показаний пьезометров. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (8.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (8.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 8.1 (графы 4 и 7).

Таблица 8.1

Параметры кольцевой водопроводной сети 3 (3 кольца) по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

На основе показаний пьезометров (см. табл. 8.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (8.3)$$

то есть

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{23} = H_2 - H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{14} = H_1 - H_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{36} = H_3 - H_6 = \text{---} \text{ м}; h_{45} = H_4 - H_5 = \text{---} \text{ м}; h_{56} = H_5 - H_6 = \text{---} \text{ м};$$

$$h_{47} = H_4 - H_7 = \text{---} \text{ м}; h_{58} = H_5 - H_8 = \text{---} \text{ м}; h_{69} = H_6 - H_9 = \text{---} \text{ м};$$

$$h_{78} = H_7 - H_8 = \text{---} \text{ м}; h_{89} = H_8 - H_9 = \text{---} \text{ м}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 8.2 (графа 3).

Для определения расходов на участках сети (линейных расходов) для каждого участка вычисляется гидравлический уклон:

$$i_{ij} = \frac{h_{ij}}{l_{ij}}. \quad (8.4)$$

По величине $1000i_{ij}$ для каждого участка из таблиц Шевелевых (см. прил. А) находят расход q_{ij} и среднюю скорость v_{ij} на участке и записывают в табл. 8.2 (графы 7 и 8).

Таблица 8.2

Параметры кольцевой водопроводной сети 3 (3 кольца) по участкам

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Гидравлический уклон $1000i$	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
12							
23							
14							
36							
45							
56							
47							
58							
69							
78							
89							

После заполнения табл. 8.2 производится проверка распределения расходов воды в сети на соответствие первому закону Кирхгофа:

$$\sum q_+ = \sum q_-, \quad (8.5)$$

где $\sum q_+$ – расходы воды, подходящие к узлу; $\sum q_-$ – расходы воды, отходящие от узла.

Для каждого узла кольца производятся вычисления подходящих и отходящих расходов, а также относительного отклонения между ними Δ_{qi} .

Узел 1:

$$\sum q_{1+} = \sum Q_i = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{1-} = q_{14} + q_{12} + Q_1 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q1} = \frac{|\sum q_{1+} - \sum q_{1-}|}{\sum q_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%.$$

Узел 2:

$$\sum q_{2+} = q_{12} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{2-} = q_{23} + Q_2 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q2} = \frac{|\sum q_{2+} - \sum q_{2-}|}{\sum q_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%.$$

Узел 3:

$$\sum q_{3+} = q_{23} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{3-} = q_{36} + Q_3 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q3} = \frac{|\sum q_{3+} - \sum q_{3-}|}{\sum q_{3+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%.$$

Узел 4:

$$\sum q_{4+} = q_{14} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{4-} = q_{47} + q_{45} + Q_4 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q4} = \frac{|\sum q_{4+} - \sum q_{4-}|}{\sum q_{4+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%.$$

Узел 5:

$$\sum q_{5+} = q_{45} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{5-} = q_{58} + q_{56} + Q_5 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q5} = \frac{|\sum q_{5+} - \sum q_{5-}|}{\sum q_{5+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%.$$

Узел 6:

$$\sum q_{6+} = q_{36} + q_{56} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{6-} = q_{69} + Q_6 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q6} = \frac{|\sum q_{6+} - \sum q_{6-}|}{\sum q_{6+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%.$$

Узел 7:

$$\sum q_{7+} = q_{47} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{7-} = q_{78} + Q_7 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q7} = \frac{|\sum q_{7+} - \sum q_{7-}|}{\sum q_{7+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%.$$

Узел 8:

$$\sum q_{8+} = q_{78} + q_{58} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{8-} = q_{89} + Q_8 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q8} = \frac{|\sum q_{8+} - \sum q_{8-}|}{\sum q_{8+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 9:

$$\sum q_{9+} = q_{89} + q_{69} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с};$$

$$\sum q_{9-} = Q_9 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с}.$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q9} = \frac{|\sum q_{9+} - \sum q_{9-}|}{\sum q_{9+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Оценка относительных отклонений расхода Δ_{qi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{qi} = 0 \div 0,99 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{qi} = 1 \div 5 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{qi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

После оценки относительных отклонений расхода Δ_{qi} производится проверка распределения потерь напора по кольцу h_{ik} на соответствие второму закону Кирхгофа:

$$\sum h_{ik} = 0, \quad (8.6)$$

или

$$\sum h_+ = \sum h_-, \quad (8.7)$$

где $\sum h_+$ и $\sum h_-$ – потери напора в участках кольца с движением воды соответственно по часовой стрелке и против нее.

Для каждого кольца производятся вычисления подходящих и отходящих потерь напора, а также относительного отклонения между ними Δ_{hi} .

Кольцо 1 (1236541):

$$\sum h_{1+} = h_{12} + h_{23} + h_{36} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м};$$

$$\sum h_{1-} = h_{14} + h_{45} + h_{46} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h1} = \frac{|\sum h_{1+} - \sum h_{1-}|}{\sum h_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Кольцо 2 (45874):

$$\sum h_{2+} = h_{45} + h_{58} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м};$$

$$\sum h_{2-} = h_{47} + h_{78} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h2} = \frac{|\sum h_{2+} - \sum h_{2-}|}{\sum h_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Кольцо 3 (56985):

$$\sum h_{1+} = h_{56} + h_{69} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м};$$

$$\sum h_{1-} = h_{58} + h_{89} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h1} = \frac{|\sum h_{1+} - \sum h_{1-}|}{\sum h_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%$$

Оценка относительных отклонений потерь напора Δ_{hi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{hi} = 0 \div 0,99 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{hi} = 1 \div 5 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{hi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» кольцевой водопроводной сети 3 (3 кольца) (см. прил. Б8), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основную цель лабораторной работы и поясните, как она достигается.
2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.
3. Дайте определение свободного напора в водопроводной сети.
4. В чем заключается второй закон Кирхгофа?
5. Как вычисляется эквивалентный расчетный расход?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 КОМБИНИРОВАННАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 1

9.1. Общие сведения

Комбинированная водопроводная сеть 1 состоит из участков, одни из которых определяются как тупиковые, а другие – как кольцевые водопроводные сети.

Практика показывает, что кольцевые водопроводные сети надежнее в эксплуатации при обеспечении подачи воды к местам потребления с заданным напором. Однако финансовые затраты на проектирование, строительство и эксплуатацию кольцевых сетей больше по сравнению с тупиковыми. Поэтому после технико-экономического обоснования в

практику водоснабжения, как правило, внедряют комбинированные водопроводные сети.

Комбинированные водопроводные сети 1 широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, где необходимо обеспечить бесперебойную подачу воды потребителям. Данные сети должны удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать подачу воды к местам потребления с заданным напором;

обладать надежностью и обеспечивать бесперебойное водоснабжение.

Для любой комбинированной водопроводной сети справедливы следующие равенства:

расход воды в каждом узле $\Sigma q_+ = \Sigma q_-$;

потери напора в каждом кольце $\Sigma h_+ = \Sigma h_-$,

где Σq_+ – расходы воды, подходящие к узлу; Σq_- – расходы воды, отходящие от узла; Σh_+ – потери напора в участках кольца с движением воды по часовой стрелке; Σh_- – потери напора в участках кольца с движением воды против часовой стрелки.

9.2. Цель работы

Исследовать работу комбинированной водопроводной сети 1, в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

рассчитать потери напора на участках;

найти линейные расходы воды на участках и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

9.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели комбинированной водопроводной сети 1, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;

геодезические отметки узлов Z_i ;

расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);

скорости движения воды на участках v_{ij} ;

потери напора на участках h_{ij} ;

длины участков l_{ij} ;

условные диаметры участков $d_{\text{усл.}ij}$.

На рис. 14 изображена схема комбинированной водопроводной сети 1 в плане.

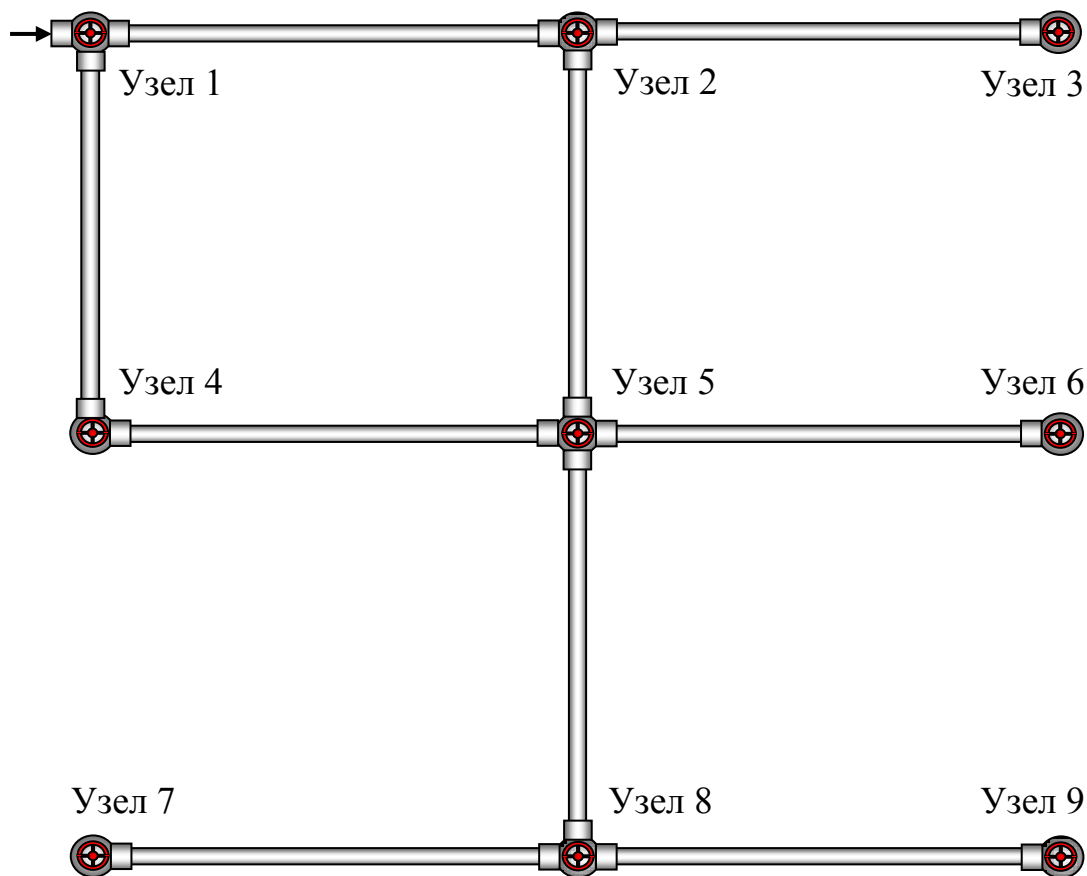


Рис. 14. Схема комбинированной водопроводной сети 1

9.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы с 1-го по 9-й, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 9.1. Направление движения потоков воды в линиях сети определяется по разности показаний пьезометров. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (9.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (9.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 9.1 (графы 4 и 7).

Таблица 9.1

Параметры комбинированной водопроводной сети 1 по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

На основе показаний пьезометров (см. табл. 9.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (9.3)$$

то есть

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{23} = H_2 - H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{14} = H_1 - H_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{25} = H_2 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{45} = H_4 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{56} = H_5 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{58} = H_5 - H_8 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{87} = H_8 - H_7 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; \quad h_{89} = H_8 - H_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 9.2 (графа 3), табл. 9.3 (графа 3) и табл. 9.4 (графа 9).

Расходы на тупиковых участках комбинированной сети 1 (линейные расходы) вычисляются после последовательного определения узловых расходов (табл. 9.1) от конечных узлов 9, 7, 6, 3 к узлам 5 и 2:

$$q_{89} = Q_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{87} = Q_8 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{58} = Q_8 + q_{87} + q_{89} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с};$$

$$q_{56} = Q_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; \quad q_{23} = Q_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 9.2 (графа 6). Условный диаметр (графа 4) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр и скорость на участке (графы 5 и 7) рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Таблица 9.2

*Параметры комбинированной водопроводной сети I
по тупиковым участкам*

№ участка	Длина, l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7
23						
56						
58						
87						
89						

Для определения расходов на кольцевых участках сети 1–2, 1–4, 2–5, 4–5 (1 кольцо) для каждого участка в табл. 9.3 (графа б) вычисляется гидравлический уклон:

$$i_{ij} = \frac{h_{ij}}{l_{ij}}. \quad (9.4)$$

Таблица 9.3

Параметры комбинированной водопроводной сети I по кольцу 12541

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Гидравлический уклон $1\ 000i$	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
12							
14							
25							
45							

По величине $1\ 000i_{ij}$ для каждого участка из таблиц Шевелевых (см. прил. А) находят расход q_{ij} и среднюю скорость v_{ij} на участке и записывают в табл. 9.3 (графы 7 и 8).

Опытные значения потерь на участках (табл. 9.4) сравниваются с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или принимаемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяются величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняются графы 10 и 11 табл. 9.4. Условный диаметр (графа 4 табл. 9.4) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5 табл. 9.4) также рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Таблица 9.4

Параметры комбинированной водопроводной сети 1

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке, h_{ij} м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100, \%$
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12										
14										
25										
45										
23										
56										
58										
87										
89										

После заполнения табл. 9.3 и 9.4 производится проверка распределения расходов воды в сети на соответствие первому закону Кирхгофа:

$$\sum q_+ = \sum q_-, \quad (9.5)$$

где $\sum q_+$ – расходы воды, подходящие к узлу; $\sum q_-$ – расходы воды, отходящие от узла.

Для каждого узла кольца производятся вычисления подходящих и отходящих расходов, а также относительного отклонения между ними Δ_{qi} .

Узел 1:

$$\sum q_{1+} = \sum Q_i = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{1-} = q_{14} + q_{12} + Q_1 = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q1} = \frac{|\sum q_{1+} - \sum q_{1-}|}{\sum q_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%.$$

Узел 2:

$$\sum q_{2+} = q_{12} = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{2-} = q_{25} + q_{23} + Q_2 = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с;}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q2} = \frac{|\sum q_{2+} - \sum q_{2-}|}{\sum q_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%.$$

Узел 4:

$$\sum q_{4+} = q_{14} = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{4-} = q_{45} + Q_4 = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q4} = \frac{|\sum q_{4+} - \sum q_{4-}|}{\sum q_{4+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%.$$

Узел 5:

$$\sum q_{5+} = q_{25} + q_{45} = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{5-} = q_{58} + q_{56} + Q_5 = \underline{\hspace{10em}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q5} = \frac{|\sum q_{5+} - \sum q_{5-}|}{\sum q_{5+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%.$$

Оценка относительных отклонений расхода Δ_{qi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{qi} = 0 \div 0,99 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{qi} = 1 \div 5 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{qi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

После оценки относительных отклонений расхода Δ_{qi} производится проверка распределения потерь напора по кольцу h_{ik} на соответствие второму закону Кирхгофа:

$$\sum h_{ik} = 0, \quad (9.6)$$

или

$$\sum h_+ = \sum h_-, \quad (9.7)$$

где $\sum h_+$ и $\sum h_-$ – потери напора в участках кольца с движением воды соответственно по часовой стрелке и против нее.

Для кольца производятся вычисления подходящих и отходящих потерь напора, а также относительного отклонения между ними Δ_{hi} .

Кольцо 1 (12541):

$$\sum h_{1+} = h_{12} + h_{25} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м};$$

$$\sum h_{1-} = h_{14} + h_{45} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h1} = \frac{|\sum h_{1+} - \sum h_{1-}|}{\sum h_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Оценка относительных отклонений потерь напора Δ_{hi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{hi} = 0 \div 0,99 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{hi} = 1 \div 5 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{hi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» комбинированной водопроводной сети 1 (см. прил. Б9), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основную цель лабораторной работы и поясните, как она достигается.
2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.
3. Что такое магистральные и внутриквартальные сети?
4. Укажите области применения водопроводных труб из различных материалов.
5. Каковы особенности устройства и эксплуатации комбинированных водопроводных сетей?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10
КОМБИНИРОВАННАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 2**

10.1. Общие сведения

Комбинированная водопроводная сеть 2 состоит из участков, одни из которых определяются как тупиковые, а другие – как кольцевые водопроводные сети.

Практика показывает, что кольцевые водопроводные сети надежнее в эксплуатации при обеспечении подачи воды к местам потребления с

заданным напором. Однако финансовые затраты на проектирование, строительство и эксплуатацию кольцевых сетей больше по сравнению с тупиковыми. Поэтому после технико-экономического обоснования в практику водоснабжения, как правило, внедряют комбинированные водопроводные сети.

Комбинированные водопроводные сети 2 широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, где необходимо обеспечить бесперебойную подачу воды потребителям. Данные сети должны удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать подачу воды к местам потребления с заданным напором;

обладать надежностью и обеспечивать бесперебойное водоснабжение.

Для любой комбинированной водопроводной сети справедливы следующие равенства:

расход воды в каждом узле кольца $\Sigma q_+ = \Sigma q_-$,

потери напора в каждом кольце $\Sigma h_+ = \Sigma h_-$,

где Σq_+ – расходы воды, подходящие к узлу; Σq_- – расходы воды, отходящие от узла; Σh_+ – потери напора в участках кольца с движением воды по часовой стрелке; Σh_- – потери напора в участках кольца с движением воды против часовой стрелки.

10.2. Цель работы

Исследовать работу комбинированной водопроводной сети 2, в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

рассчитать потери напора на участках;

найти линейные расходы воды на участках и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

10.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели комбинированной водопроводной сети 1, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;

геодезические отметки узлов Z_i ;

расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);

скорости движения воды на участках v_{ij} ;

потери напора на участках h_{ij} ;

длины участков l_{ij} ;

условные диаметры участков $d_{\text{усл.}ij}$.

На рис. 15 изображена схема комбинированной водопроводной сети 2 в плане.

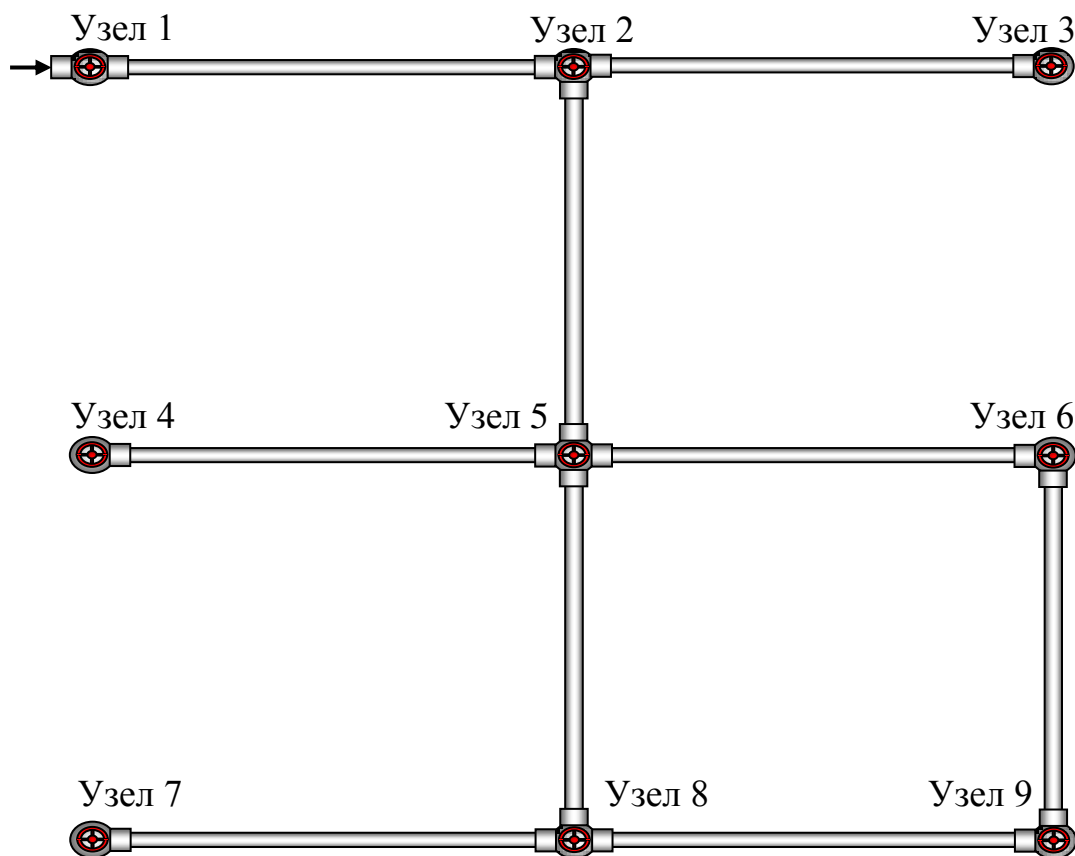


Рис. 15. Схема комбинированной водопроводной сети 2

10.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы с 1-го по 9-й, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 10.1. Направление движения потоков воды в линиях сети определяется по разности показаний пьезометров. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (10.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (10.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и расходов заносятся в табл. 10.1 (графы 4 и 7).

Таблица 10.1

Параметры комбинированной водопроводной сети 2 по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

На основе показаний пьезометров (см. табл. 10.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (10.3)$$

то есть

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \text{___ м}; h_{23} = H_2 - H_3 = \text{___ м}; h_{25} = H_2 - H_5 = \text{___ м};$$

$$h_{54} = H_5 - H_4 = \text{___ м}; h_{56} = H_5 - H_6 = \text{___ м}; h_{58} = H_5 - H_8 = \text{___ м};$$

$$h_{69} = H_6 - H_9 = \text{___ м}; h_{87} = H_8 - H_7 = \text{___ м}; h_{89} = H_8 - H_9 = \text{___ м}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 10.2 (графа 3), табл. 10.3 (графа 3) и табл. 10.4 (графа 9).

Расходы на тупиковых участках комбинированной сети 2 (линейные расходы) вычисляются после последовательного определения узловых расходов (табл. 10.1) от конечных узлов 7, 5, 3 к узлу 2:

$$q_{87} = Q_7 = \text{___ л/с}; q_{54} = Q_4 = \text{___ л/с}; q_{12} = Q_2 + q_{23} + q_{25} = \text{___ л/с}.$$

$$q_{23} = Q_3 = \text{___ л/с}; q_{25} = Q_9 + Q_8 + Q_6 + Q_5 + q_{87} + q_{54} = \text{___ л/с}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 10.2 (графа 6). Условный диаметр (графа 4) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр и скорость на участке (графы 5 и 7) рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Таблица 10.2

*Параметры комбинированной водопроводной сети 2
по тупиковым участкам*

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7
12						
23						
25						
54						
87						

Для определения расходов на кольцевых участках сети 5–6, 6–9, 5–8, 8–9 (1 кольцо) для каждого участка в табл. 10.3 (графа б) вычисляется гидравлический уклон:

$$i_{ij} = \frac{h_{ij}}{l_{ij}}. \quad (10.4)$$

Таблица 10.3

Параметры комбинированной водопроводной сети 2 по кольцу 56985

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Гидравлический уклон $1\ 000i$	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
56							
69							
58							
89							

По величине $1\ 000i_{ij}$ для каждого участка из таблиц Шевелевых (см. прил. А) находят расход q_{ij} и среднюю скорость v_{ij} на участке и записывают в табл. 10.3 (графы 7 и 8).

Опытные значения потерь на участках (табл. 10.4) сравнивают с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или принимаемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяют величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняют графы 10 и 11 табл. 10.4. Условный диаметр (графа 4 табл. 10.4) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5 табл. 10.4) также рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Таблица 10.4

Параметры комбинированной водопроводной сети 2

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке, h_{ij} м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100, \%$
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12										
23										
25										
54										
56										
69										
58										
89										
87										

После заполнения табл. 10.3 и 10.4 производится проверка распределения расходов воды в сети на соответствие первому закону Кирхгофа:

$$\sum q_+ = \sum q_-, \quad (10.5)$$

где $\sum q_+$ – расходы воды, подходящие к узлу; $\sum q_-$ – расходы воды, отходящие от узла.

Для каждого узла кольца производятся вычисления подходящих и отходящих расходов, а также относительного отклонения между ними Δ_{qi} .

Узел 5:

$$\sum q_{5+} = q_{25} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{5-} = q_{54} + q_{56} + q_{58} + Q_5 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q5} = \frac{|\sum q_{5+} - \sum q_{5-}|}{\sum q_{5+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 6:

$$\sum q_{6+} = q_{56} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{6-} = q_{69} + Q_6 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q6} = \frac{|\sum q_{6+} - \sum q_{6-}|}{\sum q_{6+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 8:

$$\sum q_{8+} = q_{58} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{8-} = q_{89} + q_{87} + Q_8 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q8} = \frac{|\sum q_{8+} - \sum q_{8-}|}{\sum q_{8+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 9:

$$\sum q_{9+} = q_{69} + q_{89} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{9-} = Q_9 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q9} = \frac{|\sum q_{9+} - \sum q_{9-}|}{\sum q_{9+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Оценка относительных отклонений расхода Δ_{qi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{qi} = 0 \div 0,99 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{qi} = 1 \div 5 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{qi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

После оценки относительных отклонений расхода Δ_{qi} производится проверка распределения потерь напора по кольцу h_{ik} на соответствие второму закону Кирхгофа:

$$\sum h_{ik} = 0, \quad (10.6)$$

или

$$\sum h_+ = \sum h_-, \quad (10.7)$$

где $\sum h_+$ и $\sum h_-$ – потери напора в участках кольца с движением воды, соответственно по часовой стрелке и против нее.

Для кольца производятся вычисления подходящих и отходящих потерь напора, а также относительного отклонения между ними Δ_{hi} .

Кольцо 4 (56985):

$$\sum h_{4+} = h_{56} + h_{69} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м};$$

$$\sum h_{4-} = h_{58} + h_{89} = \underline{\hspace{10em}} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров:

$$\Delta_{h4} = \frac{|\sum h_{4+} - \sum h_{4-}|}{\sum h_{4+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10em}} \%$$

Оценка относительных отклонений потерь напора Δ_{hi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{hi} = 0 \div 0,99 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{hi} = 1 \div 5 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{hi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» комбинированной водопроводной сети 2 (см. прил. Б10), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основную цель лабораторной работы и поясните, как она достигается.
2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.
3. Что означают экономически наивыгоднейший диаметр труб и экономически наивыгоднейшая скорость движения воды в трубопроводах водопроводных сетей?
4. Как определяются потери напора в трубах при расчете водопроводных сетей?
5. Как называется расход, отдаваемый каждым участком сети, и как он определяется?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11
КОМБИНИРОВАННАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 3**

11.1. Общие сведения

Комбинированная водопроводная сеть 3 состоит из участков, одни из которых определяются как тупиковые, а другие – как кольцевые водопроводные сети.

Практика показывает, что кольцевые водопроводные сети надежнее в эксплуатации при обеспечении подачи воды к местам потребления с заданным напором по сравнению с тупиковыми водопроводными сетями. Однако финансовые затраты на проектирование, строительство и эксплуатацию кольцевых сетей больше, чем для тупиковых. Поэтому после технико-экономического обоснования в практику водоснабжения, как правило, внедряют комбинированные водопроводные сети.

Комбинированные водопроводные сети 3 широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, где необходимо обеспечить бесперебойную подачу воды потребителям. Данные сети должны удовлетворять следующим основным требованиям:

обеспечивать подачу воды к местам потребления с заданным напором;

обладать надежностью и обеспечивать бесперебойное водоснабжение.

Для любой комбинированной водопроводной сети справедливы следующие равенства:

расход воды в каждом узле кольца $\Sigma q_+ = \Sigma q_-$,

потери напора в каждом кольце $\Sigma h_+ = \Sigma h_-$,

где Σq_+ – расходы воды, подходящие к узлу; Σq_- – расходы воды, отходящие от узла; Σh_+ – потери напора в участках кольца с движением воды по часовой стрелке; Σh_- – потери напора в участках кольца с движением воды против часовой стрелки.

11.2. Цель работы

Исследовать работу комбинированной водопроводной сети 3, в результате чего:

построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;

рассчитать потери напора на участках;

найти линейные расходы воды на участках и проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

11.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели комбинированной водопроводной сети 3, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм (в зависимости от варианта). В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить следующие параметры установки:

узловые расходы Q_i (i – номер узла);

гидростатические напоры в узлах H_i ;
 геодезические отметки узлов Z_i ;
 расходы участков сети q_{ij} (ij – номер участка);
 скорости движения воды на участках v_{ij} ;
 потери напора на участках h_{ij} ;
 длины участков l_{ij} ;
 условные диаметры участков $d_{\text{усл.}ij}$.

На рис. 16 изображена схема комбинированной водопроводной сети 3 в плане.

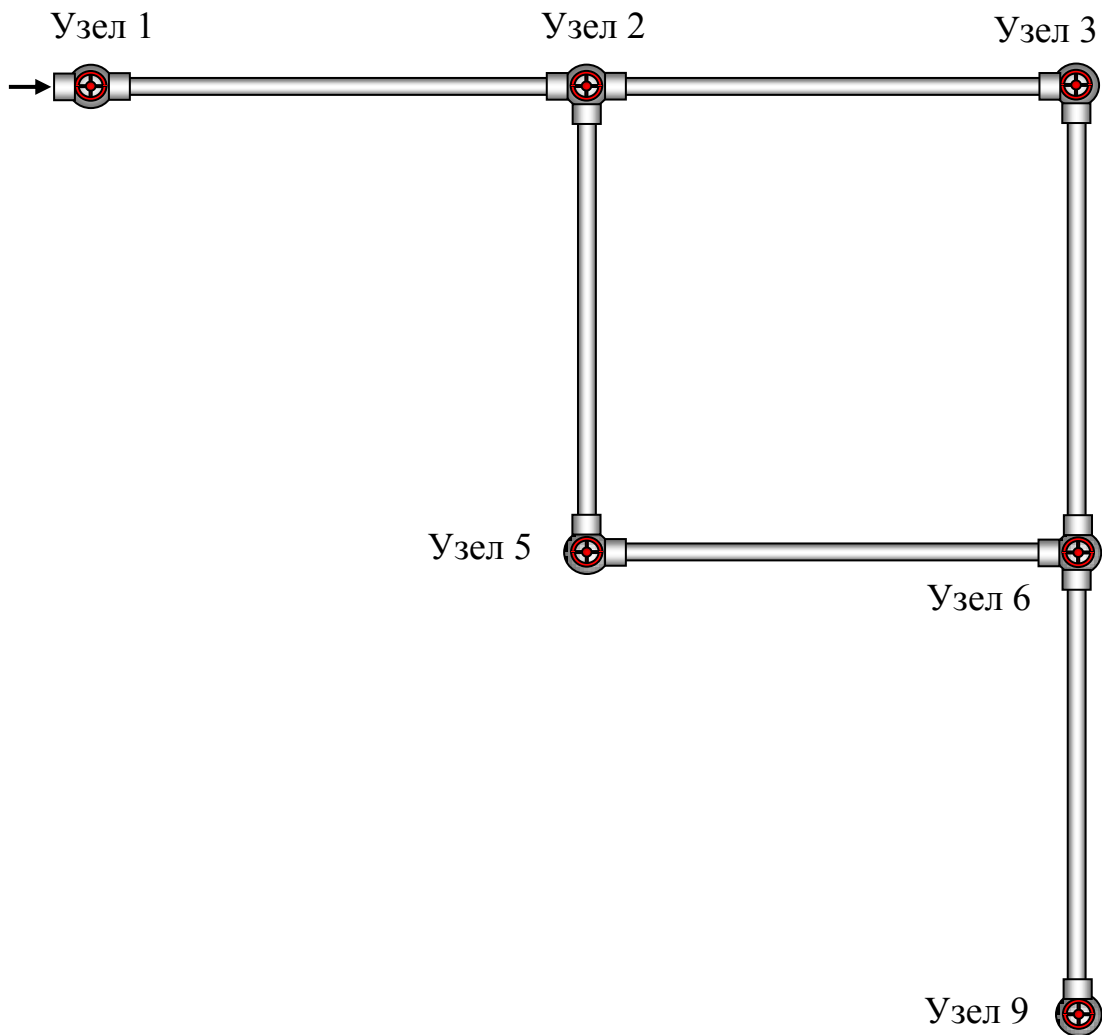


Рис. 16. Схема комбинированной водопроводной сети 3

11.4. Порядок выполнения работы

Включить установку для заданного варианта, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»).

Время и объем отбора воды через узлы с 1 по 9, отметки узлов Z_i и показания пьезометров записываются в табл. 11.1. Направление движения

потоков воды в линиях сети определяется по разности показаний пьезометров. Свободный напор в каждом узле определяется по формуле

$$H_{0i} = H_i - Z_i. \quad (11.1)$$

Узловые расходы воды рассчитываются по формуле

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}. \quad (11.2)$$

Результаты вычислений свободных напоров и узловых расходов заносятся в табл. 11.1 (графы 4 и 7).

Таблица 11.1

Параметры комбинированной водопроводной сети 2 по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
5						
6						
9						

На основе показаний пьезометров (табл. 11.1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети:

$$h_{ij} = H_i - H_j, \quad (11.3)$$

то есть

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; h_{23} = H_2 - H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; h_{25} = H_2 - H_5 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м};$$

$$h_{56} = H_5 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; h_{36} = H_3 - H_6 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; h_{69} = H_6 - H_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 11.2 (графа 3), табл. 11.3 (графа 3) и табл. 11.4 (графа 9).

Расходы на тупиковых участках 1–2 и 6–9 комбинированной сети 3 (линейные расходы) вычисляются после определения узловых расходов (табл. 11.1):

$$q_{69} = Q_9 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}; q_{12} = Q_9 + Q_6 + Q_3 + Q_5 + Q_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л/с}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 11.2 (графа 6). Условный диаметр (графа 4 табл. 11.2) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр и скорость на участке (графы 5 и 7 табл. 11.2) рекомендуется принимать по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Таблица 11.2

*Параметры комбинированной водопроводной сети 3
по тупиковым участкам*

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7
12						
69						

Для определения расходов на кольцевых участках сети 2–3, 3–6, 2–5, 5–6 (1 кольцо) для каждого участка в табл. 11.3 (графа 6) вычисляется гидравлический уклон:

$$i_{ij} = \frac{h_{ij}}{l_{ij}}. \quad (11.4)$$

Таблица 11.3

Параметры комбинированной водопроводной сети 2 по кольцу 23652

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Гидравлический уклон $1\ 000i$	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
23							
36							
25							
56							

По величине $1\ 000i_{ij}$ для каждого участка из таблиц Шевелевых (см. прил. А) находят расход q_{ij} и среднюю скорость v_{ij} на участке и записывают в графы 7 и 8 табл. 11.3.

Опытные значения потерь на участках (табл. 11.4) сравниваются с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или определяемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяются величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняются графы 10 и 11.

Условный диаметр (графа 4) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5) рекомендуется принимать также по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Таблица 11.4

Параметры комбинированной водопроводной сети 3

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке, h_{ij} , м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100, \%$
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12										
23										
36										
25										
56										
69										

После заполнения табл. 11.3 и 11.4 производится проверка распределения расходов воды в сети на соответствие первому закону Кирхгофа:

$$\sum q_+ = \sum q_-, \quad (11.5)$$

где $\sum q_+$ – расходы воды, подходящие к узлу; $\sum q_-$ – расходы воды, отходящие от узла.

Для каждого узла кольца производятся вычисления подходящих и отходящих расходов, а также относительного отклонения между ними Δ_{qi} .

Узел 2:

$$\sum q_{2+} = q_{12} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{2-} = q_{25} + q_{23} + Q_2 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q2} = \frac{|\sum q_{2+} - \sum q_{2-}|}{\sum q_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 3:

$$\sum q_{3+} = q_{23} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{3-} = q_{36} + Q_3 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q3} = \frac{|\sum q_{3+} - \sum q_{3-}|}{\sum q_{3+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 5:

$$\sum q_{5+} = q_{25} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{5-} = q_{56} + Q_5 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q5} = \frac{|\sum q_{5+} - \sum q_{5-}|}{\sum q_{5+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Узел 6:

$$\sum q_{6+} = q_{36} + q_{56} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{6-} = q_{69} + Q_6 = \underline{\hspace{10cm}} \text{ л/с.}$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q6} = \frac{|\sum q_{6+} - \sum q_{6-}|}{\sum q_{6+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Оценка относительных отклонений расхода Δ_{qi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{qi} = 0 \div 0,99 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{qi} = 1 \div 5 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{qi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

После оценки относительных отклонений расхода Δ_{qi} производится проверка распределения потерь напора по кольцу h_{ik} на соответствие второму закону Кирхгофа:

$$\sum h_{ik} = 0, \quad (11.6)$$

или

$$\sum h_+ = \sum h_-, \quad (11.7)$$

где $\sum h_+$ и $\sum h_-$ – потери напора в участках кольца с движением воды соответственно по часовой стрелке и против нее.

Для кольца производятся вычисления подходящих и отходящих потерь напора, а также относительного отклонения между ними Δ_{hi} .

Кольцо 2 (23652):

$$\sum h_{2+} = h_{23} + h_{36} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м;}$$

$$\sum h_{2-} = h_{25} + h_{56} = \underline{\hspace{10cm}} \text{ м.}$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h2} = \frac{|\sum h_{2+} - \sum h_{2-}|}{\sum h_{2+}} \cdot 100 \% = \underline{\hspace{10cm}} \%$$

Оценка относительных отклонений потерь напора Δ_{hi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{hi} = 0 \div 0,99 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{hi} = 1 \div 5 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{hi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

В конце работы студент должен заполнить бланк «оцифровки» комбинированной водопроводной сети 3 (см. прил. Б11), в который входят все параметры исследуемой сети.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основную цель лабораторной работы и поясните, как она достигается.

2. Назовите основные узлы экспериментальной установки и укажите их назначение.

3. Сформулируйте порядок определения удельных, путевых и узловых расходов воды.

4. Дайте определение «увязочным» расходам, используемым в гидравлических расчетах.

5. Каково основное назначение уравнений первого и второго законов Кирхгофа при расчете колец комбинированных водопроводных сетей?

**ПРИМЕР ЗАПОЛНЕНИЯ ПРОТОКОЛА
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ № 9
«КОМБИНИРОВАННАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ 1»**

Схема комбинированной водопроводной сети 1 представлена на рис. 17.

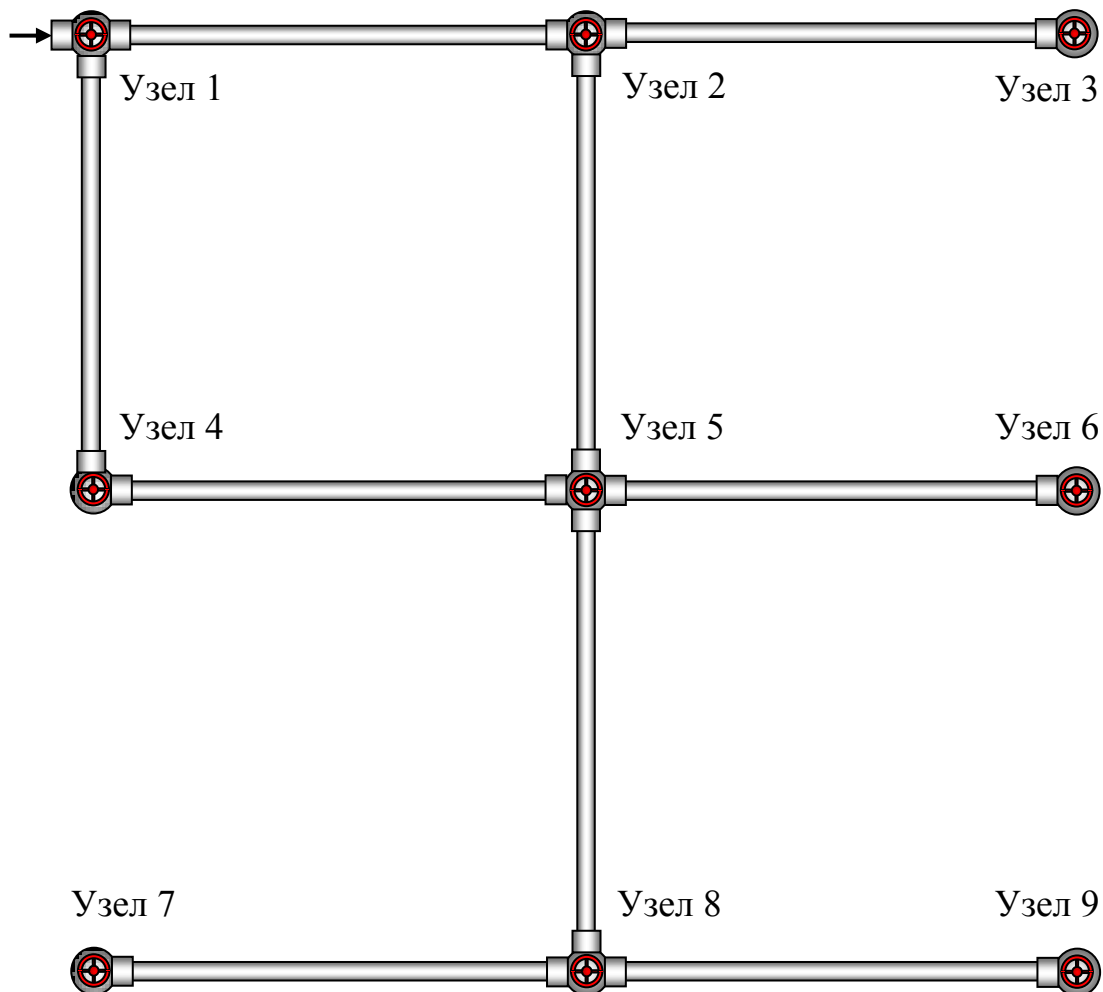


Рис. 17. Схема комбинированной водопроводной сети 1

После включения установки, как это описано выше (см. «Описание виртуальной лаборатории...»), для заданного варианта измеряются время и объем отбора воды через узлы с 1-го по 9-й (графы 5 и 6 в табл. 1). Показания пьезометров и отметки узлов определяются на установке и записываются в табл. 1 (графы 2 и 3). Далее заполняются графы 4 и 7 табл. 1: по формуле $H_{0i} = H_i - Z_i$ определяется свободный напор, а по формуле $Q_i = \frac{W_i}{t_i}$ — узловый расход. После этого табл. 1 считается окончательно заполненной.

Параметры комбинированной водопроводной сети 1 по узлам

№ узла	Отметка узла Z_i , м	Гидростатический напор (показание пьезометра) H_i , м	Свободный напор в узле, H_{0i} , м	К определению узлового расхода		
				Объем W_i , л	Время наполнения емкости t_i , с	Узловой расход Q_i , л/с
1	2	3	4	5	6	7
1	1	3,966	2,966	2	57,4	0,035
2	1	3,389	2,389	3	60	0,05
3	1	2,906	1,906	5	52,8	0,095
4	1	3,239	2,239	5	66,8	0,075
5	1	2,824	1,824	3	54,8	0,055
6	1	1,556	0,556	5	58,6	0,085
7	1	1,099	0,099	2	49,8	0,040
8	1	1,422	0,422	3	50,6	0,059
9	1	1,13	0,13	5	69,4	0,072

На основе показаний пьезометров (см. табл. 1) вычисляются потери напора на отдельных участках сети по формуле $h_{ij} = H_i - H_j$:

$$h_{12} = H_1 - H_2 = \underline{0,577} \text{ м}; h_{23} = H_2 - H_3 = \underline{0,483} \text{ м}; h_{14} = H_1 - H_4 = \underline{0,727} \text{ м};$$

$$h_{25} = H_2 - H_5 = \underline{0,565} \text{ м}; h_{45} = H_4 - H_5 = \underline{0,415} \text{ м}; h_{56} = H_5 - H_6 = \underline{1,268} \text{ м};$$

$$h_{58} = H_5 - H_8 = \underline{1,402} \text{ м}; h_{87} = H_8 - H_7 = \underline{0,323} \text{ м}; h_{89} = H_8 - H_9 = \underline{0,292} \text{ м}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 2 (графа 3), табл. 3 (графа 3) табл. 9.4 (графа 9).

Расходы на тупиковых участках комбинированной сети 1 (линейные расходы) вычисляются после последовательного определения узловых расходов (табл. 1) от конечных узлов 9, 7, 6, 3 к узлам 5 и 2:

$$q_{89} = Q_9 = \underline{0,072} \text{ л/с}; q_{87} = Q_8 = \underline{0,04} \text{ л/с}; q_{58} = Q_8 + q_{87} + q_{89} = \underline{0,17} \text{ л/с};$$

$$q_{56} = Q_6 = \underline{0,085} \text{ л/с}; q_{23} = Q_3 = \underline{0,095} \text{ л/с}.$$

Результаты вычислений заносятся в табл. 2 (графа 6). Условный диаметр (графа 4) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр и скорость на участке (графа 5 и 7) принимаются по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Таблица 2

*Параметры комбинированной водопроводной сети 1
по тупиковым участкам*

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7
23	5,25	0,483	15	14,7	0,095	0,55
56	5,25	1,268	10	11,6	0,085	0,804
58	5,25	1,402	15	14,7	0,17	1,0
87	5,25	0,323	10	11,6	0,04	0,38
89	5,25	0,292	15	14,7	0,072	0,42

Для определения расходов на кольцевых участках сети 1–2, 1–4, 2–5, 4–5 (1 кольцо) для каждого участка в табл. 3 (графа 6) вычисляется гидравлический уклон по формуле $i_{ij} = \frac{h_{ij}}{l_{ij}}$. По величине $1\,000i_{ij}$ для каждого участка из таблиц Шевелевых (см прил. А) находят расход q_{ij} и среднюю скорость v_{ij} на участке и записывают в графы 7 и 8 табл. 3.

Таблица 3

Параметры комбинированной водопроводной сети 1 по кольцу 12541

№ участка	Длина l_{ij} , м	Потери напора на участке h_{ij} , м	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Гидравлический уклон $1\,000i$	Расход на участке q_{ij} , л/с	Скорость на участке v_{ij} , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
12	5,25	0,577	20	20,2	109,9	0,249	0,78
14	5,25	0,727	20	20,2	138,4	0,282	0,88
25	5,25	0,565	15	14,7	107,6	0,103	0,615
45	5,25	0,415	20	20,2	78,9	0,208	0,65

Опытные значения потерь на участках (табл. 4) сравниваются с расчетными $h_{расч.ij}$, вычисляемыми по формулам (3)–(5) или принимаемыми по таблицам Шевелевых. При этом определяются величины Δh и Δ (относительные отклонения потерь напора) и заполняются графы 10 и 11 табл. 4. Ус-

ловный диаметр (графа 4) снимается с характеристики установки. Расчетный диаметр (графа 5) принимается также по таблицам Шевелевых (см. прил. А).

Таблица 4

Параметры комбинированной водопроводной сети 1

№ участка	Длина участка l_{ij} , м	Расход на участке q_{ij} , л/с	Условный диаметр $d_{усл.ij}$, мм	Расчетный диаметр $d_{расч.ij}$, мм	Средняя скорость на участке v_{ij} , м/с	Расчетные величины		Опытные потери напора на участке, h_{ij} , м	$\Delta h = h_{ij} - h_{расч.ij} $, м	$\Delta = \frac{\Delta h}{h_{ij}} \cdot 100, \%$
						1 000 i	Потери напора на участке $h_{расч.ij}$, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	5,25	0,249	20	20,2	0,78	109,9	0,576975	0,577	2,5E-05	0,004333
14	5,25	0,282	20	20,2	0,88	138,4	0,7266	0,727	0,0004	0,055021
25	5,25	0,103	15	14,7	0,615	107,6	0,5649	0,565	1E-04	0,017699
45	5,25	0,208	20	20,2	0,65	78,9	0,414225	0,415	0,000775	0,186747
23	5,25	0,095	15	14,7	0,55	92	0,483	0,483	0	0
56	5,25	0,085	10	11,6	0,804	241,5	1,267875	1,268	0,000125	0,009858
58	5,25	0,17	15	14,7	1,0	267	1,40175	1,402	0,00025	0,017832
87	5,25	0,04	10	11,6	0,38	61,5	0,322875	0,323	0,00012	0,0387
89	5,25	0,072	15	14,7	0,42	55,6	0,2919	0,292	1E-04	0,034247

После заполнения табл. 3 и 4 производится проверка распределения расходов воды в сети на соответствие первому закону Кирхгофа: $\sum q_+ = \sum q_-$, где $\sum q_+$ – расходы воды, подходящие к узлу; $\sum q_-$ – расходы воды, отходящие от узла.

Для каждого узла кольца производятся вычисления подходящих и отходящих расходов, а также относительного отклонения между ними Δ_{qi} .

Узел 1:

$$\sum q_{1+} = \sum Q_i = \underline{0,566} \text{ л/с};$$

$$\sum q_{1-} = q_{14} + q_{12} + Q_1 = \underline{0,249 + 0,282 + 0,035 = 0,566} \text{ л/с}.$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q1} = \frac{|\sum q_{1+} - \sum q_{1-}|}{\sum q_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{0} \%$$

Узел 2:

$$\sum q_{2+} = q_{12} = \underline{0,249} \text{ л/с};$$

$$\sum q_{2-} = q_{25} + q_{23} + Q_2 = \underline{0,103 + 0,095 + 0,05 = 0,248} \text{ л/с};$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q2} = \frac{|\sum q_{2+} - \sum q_{2-}|}{\sum q_{2+}} \cdot 100 \% = \frac{|0,249 - 0,248|}{0,249} \cdot 100 \% = \underline{0,402} \%$$

Узел 4:

$$\sum q_{4+} = q_{14} = \underline{0,282} \text{ л/с};$$

$$\sum q_{4-} = q_{45} + Q_4 = \underline{0,208 + 0,075 = 0,283} \text{ л/с}.$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q4} = \frac{|\sum q_{4+} - \sum q_{4-}|}{\sum q_{4+}} \cdot 100 \% = \frac{|0,282 - 0,283|}{0,282} \cdot 100 \% = \underline{0,355 \%}.$$

Узел 5:

$$\sum q_{5+} = q_{25} + q_{45} = \underline{0,105 + 0,208 = 0,313} \text{ л/с};$$

$$\sum q_{5-} = q_{58} + q_{56} + Q_5 = \underline{0,17 + 0,085 + 0,055 = 0,31} \text{ л/с}.$$

Относительное отклонение расходов

$$\Delta_{q5} = \frac{|\sum q_{5+} - \sum q_{5-}|}{\sum q_{5+}} \cdot 100 \% = \frac{|0,313 - 0,31|}{0,313} \cdot 100 \% = \underline{0,958 \%}.$$

Оценка относительных отклонений расхода Δ_{qi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{qi} = 0 \div 0,99 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{qi} = 1 \div 5 \%$ – первый закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{qi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

В данном случае первый закон Кирхгофа подтверждается с максимальным отклонением не более 0,958 %.

После оценки относительных отклонений расхода Δ_{qi} производится проверка распределения потерь напора по кольцу h_{ik} на соответствие второму закону Кирхгофа: $\sum h_{ik} = 0$, или $\sum h_+ = \sum h_-$, где $\sum h_+$ и $\sum h_-$ – потери напора в участках кольца с движением воды соответственно по часовой стрелке и против нее.

Для кольца производятся вычисления подходящих и отходящих потерь напора, а также относительного отклонения между ними Δ_{hi} .

Кольцо 1 (12541):

$$\sum h_{1+} = h_{12} + h_{25} = \underline{0,577 + 0,565 = 1,142} \text{ м};$$

$$\sum h_{1-} = h_{14} + h_{45} = \underline{0,727 + 0,415 = 1,142} \text{ м}.$$

Относительное отклонение потерь напоров

$$\Delta_{h1} = \frac{|\sum h_{1+} - \sum h_{1-}|}{\sum h_{1+}} \cdot 100 \% = \underline{0 \%}.$$

Оценка относительных отклонений потерь напора Δ_{hi} , полученных из эксперимента, производится исходя из следующих положений:

$\Delta_{hi} = 0 \div 0,99 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается полностью;

$\Delta_{hi} = 1 \div 5 \%$ – второй закон Кирхгофа подтверждается с отклонением (не более 5 %);

$\Delta_{hi} > 5 \%$ – либо Вами открыт новый закон, который требует продолжения опытов для его обоснования, либо необходимо искать ошибку в измерениях и расчетах.

В данном случае второй закон Кирхгофа подтверждается полностью.

В конце работы заполняется бланк «оцифровки» комбинированной водопроводной сети 1 (рис. 18), в который входят все параметры исследуемой сети.

Комбинированная сеть 1		Вариант 5,25-5-7		ФИО студента		Иванов И И		Группа	
$Z_1 = 1$ м	$Q_1 = 0,035$ л/с	$q_{12} = 0,2486$ л/с	$V_{12} = 0,7758$ м/с	$Z_2 = 1$ м	$q_{23} = 0,0950$ л/с	$V_{23} = 0,5598$ м/с	$Z_3 = 1$ м	$Q_3 = 0,095$ л/с	2
$H_1 = 3,966$ м		$h_{12} = 0,577$ м		2	$h_{23} = 0,483$ м		3	$H_3 = 2,906$ м	
		$l_{12} = 5,25$ м	$d_{12} = 20$ мм	$Q_2 = 0,050$ л/с	$l_{23} = 5,25$ м	$d_{23} = 15$ мм			
		$d_{14} = 20$ мм		$H_2 = 0,565$ м	$d_{25} = 15$ мм				
		$l_{14} = 5,25$ м		$V_{25} = 0,6106$ м/с					
		$h_{14} = 0,727$ м		$q_{25} = 0,1036$ л/с					
		$V_{14} = 0,8811$ м/с		$q_{45} = 0,2074$ л/с					
		$q_{14} = 0,2824$ л/с		$V_{45} = 0,6471$ м/с					
				$h_{45} = 0,415$ м					
$Z_4 = 1$ м	$Q_4 = 0,075$ л/с			5	$q_{56} = 0,0850$ л/с			$Z_6 = 1$ м	$Q_6 = 0,085$ л/с
$H_4 = 3,239$ м		$l_{45} = 5,25$ м	$d_{45} = 20$ мм	$Q_5 = 0,055$ л/с	$l_{56} = 5,25$ м	$d_{56} = 10$ мм		$H_6 = 1,556$ м	
				$H_5 = 1,402$ м	$d_{58} = 15$ мм				
				$V_{58} = 1,0076$ м/с	$l_{58} = 5,25$ м				
				$q_{58} = 0,1710$ л/с					
				$h_{58} = 1,402$ м					
				$Z_8 = 1$ м	$q_{89} = 0,0720$ л/с			$Z_9 = 1$ м	$Q_9 = 0,072$ л/с
$Z_7 = 1$ м	$Q_7 = 0,040$ л/с	$q_{78} = 0,0400$ л/с	$V_{78} = 0,3785$ м/с	8	$V_{89} = 0,4242$ м/с			$Q_9 = 0,072$ л/с	
$H_7 = 1,099$ м		$h_{78} = 0,323$ м		$Q_8 = 0,059$ л/с	$h_{89} = 0,292$ м			$H_9 = 1,130$ м	
		$l_{78} = 5,25$ м	$d_{78} = 10$ мм	$H_8 = 1,422$ м	$l_{89} = 5,25$ м	$d_{89} = 15$ мм			

Рис. 18. Пример бланка оцифровки комбинированной водопроводной сети 1

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблицы Шевелевых

Q, л/с	$d_{расч.} = 11,6$ мм		$d_{расч.} = 14,7$ мм		$d_{расч.} = 20,2$ мм	
	$d_{усл.} = 10$ мм		$d_{усл.} = 15$ мм		$d_{усл.} = 20$ мм	
	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>
1	2	3	4	5	6	7
0,010	0,094623	5,3739238	–	–	–	–
0,015	0,141934	10,861856	–	–	–	–
0,020	0,189245	17,958519	–	–	–	–
0,025	0,236556	26,590498	–	–	–	–
0,030	0,283868	36,711646	–	–	–	–
0,035	0,331179	48,290564	–	–	–	–
0,040	0,37849	61,304758	–	–	–	–
0,045	0,425801	75,737493	0,265148	23,910212	–	–
0,050	0,473113	91,575966	0,294609	28,821606	–	–
0,055	0,520424	108,81016	0,32407	34,146714	–	–
0,060	0,567735	127,43208	0,353531	39,881632	–	–
0,065	0,615046	147,43526	0,382992	46,023116	0,202825	9,86138091
0,070	0,662358	168,8144	0,412452	52,568441	0,218427	11,2340939
0,075	0,709669	191,56511	0,441913	59,515297	0,234029	12,6862995
0,080	0,75698	215,68369	0,471374	66,861703	0,249631	14,2172977
0,085	0,804291	241,16703	0,500835	74,605954	0,265232	15,8264708
0,090	0,851603	268,01248	0,530296	82,746566	0,280834	17,5132707
0,095	0,898914	296,21777	0,559757	91,282244	0,296436	19,2772081
0,100	0,946225	325,78091	0,589218	100,21185	0,312038	21,1178446
0,105	0,993536	356,70022	0,618679	109,53438	0,32764	23,0347849
0,110	1,040848	388,9742	0,64814	119,24894	0,343242	25,0276722
0,115	1,088159	422,60153	0,6776	129,35474	0,358844	27,0961825
0,120	1,13547	457,58107	0,707061	139,85107	0,374446	29,2400208
0,125	1,182781	493,91181	0,736522	150,73729	0,390048	31,4589179
0,130	1,230093	531,45208	0,765983	162,01282	0,40565	33,7526273
0,135	1,277404	573,11918	0,795444	173,67716	0,421252	36,1209227
0,140	1,324715	616,35862	0,824905	185,72982	0,436853	38,5635959
0,145	1,372027	661,17041	0,854366	198,17038	0,452455	41,0804548
0,150	1,419338	707,55454	0,883827	210,99845	0,468057	43,6713219
0,155	1,466649	755,51102	0,913288	224,21369	0,483659	46,3360328
0,160	1,51396	805,03984	0,942748	237,81575	0,499261	49,0744351
0,165	1,561272	856,141	0,972209	251,80436	0,514863	51,8863869
0,170	1,608583	908,8145	1,00167	266,17922	0,530465	54,7717564
0,175	1,655894	963,06035	1,031131	280,9401	0,546067	57,7304204
0,180	1,703205	1018,8785	1,060592	296,08675	0,561669	60,7622641
0,185	1,750517	1076,2691	1,090053	311,61897	0,577271	63,86718
0,190	1,797828	1135,232	1,119514	327,53656	0,592873	67,0450675
0,195	1,845139	1195,7672	1,148975	343,83933	0,608474	70,2958321

Продолжение прил. А

Q , л/с	$d_{расч.} = 11,6$ мм		$d_{расч.} = 14,7$ мм		$d_{расч.} = 20,2$ мм	
	$d_{учл.} = 10$ мм		$d_{учл.} = 15$ мм		$d_{учл.} = 20$ мм	
	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>
0,200	1,89245	1257,8747	1,178435	360,5271	0,624076	73,6193853
0,205	1,939762	1321,5547	1,207896	376,6436	0,639678	77,0156437
0,210	1,987073	1386,8069	1,237357	395,24052	0,65528	80,4845291
0,215	2,034384	1453,6315	1,266818	414,28556	0,670882	84,0259675
0,220	2,081695	1522,0284	1,296279	433,77871	0,686484	87,6398894
0,225	2,129007	1591,9977	1,32574	453,71999	0,702086	91,3262291
0,230	2,176318	1663,5393	1,355201	474,10938	0,717688	95,0849244
0,235	2,223629	1736,6533	1,384662	494,94689	0,73329	98,9159165
0,240	2,27094	1811,3396	1,414123	516,23252	0,748892	102,81915
0,245	2,318252	1887,5983	1,443583	537,96627	0,764494	106,794572
0,250	2,365563	1965,4293	1,473044	560,14813	0,780095	110,842133
0,255	2,412874	2044,8326	1,502505	582,77812	0,795697	114,961785
0,260	2,460186	2125,8083	1,531966	605,85622	0,811299	119,153483
0,265	2,507497	2208,3563	1,561427	629,38244	0,826901	123,417185
0,270	2,554808	2292,4767	1,590888	653,35678	0,842503	127,752849
0,275	2,602119	2378,1694	1,620349	677,77924	0,858105	132,160438
0,280	2,649431	2465,4345	1,64981	702,64982	0,873707	136,639913
0,285	2,696742	2554,2719	1,679271	727,96851	0,889309	141,191241
0,290	2,744053	2644,6816	1,708731	753,73533	0,904911	145,814387
0,295	–	–	1,738192	779,95026	0,920513	150,509319
0,300	–	–	1,767653	806,61331	0,936115	155,276008
0,305	–	–	1,797114	833,72448	0,951716	160,114423
0,310	–	–	1,826575	861,28377	0,967318	165,024537
0,315	–	–	1,856036	889,29117	0,98292	170,006323
0,320	–	–	1,885497	917,7467	0,998522	175,059755
0,325	–	–	1,914958	946,65034	1,014124	180,18481
0,330	–	–	1,944419	976,0021	1,029726	185,381463
0,335	–	–	1,973879	1 005,802	1,045328	190,649693
0,340	–	–	2,00334	1 036,05	1,06093	195,989477
0,345	–	–	2,032801	1 066,7461	1,076532	201,400795
0,350	–	–	2,062262	1 097,8903	1,092134	206,883627
0,355	–	–	2,091723	1 129,4827	1,107736	212,437955
0,360	–	–	2,121184	1 161,5232	1,123337	218,063759
0,365	–	–	2,150645	1 194,0118	1,138939	223,761023
0,370	–	–	2,180106	1 226,9485	1,154541	229,529729
0,375	–	–	2,209567	1 260,3333	1,170143	235,369861
0,380	–	–	2,239027	1 294,1662	1,185745	241,281403
0,385	–	–	2,268488	1 328,4473	1,201347	246,469934
0,390	–	–	2,297949	1 363,1765	1,216949	252,913321
0,395	–	–	2,32741	1 398,3538	1,232551	259,439848
0,400	–	–	2,356871	1 433,9792	1,248153	266,049516
0,405	–	–	2,386332	1 470,0528	1,263755	272,742324

Продолжение прил. А

Q , л/с	$d_{расч.} = 11,6$ мм		$d_{расч.} = 14,7$ мм		$d_{расч.} = 20,2$ мм	
	$d_{усл.} = 10$ мм		$d_{усл.} = 15$ мм		$d_{усл.} = 20$ мм	
	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>
0,410	–	–	2,415793	1 506,5744	1,279357	279,518273
0,415	–	–	2,445254	1 543,5442	1,294958	286,377362
0,420	–	–	2,474715	1 580,9621	1,31056	293,319591
0,425	–	–	2,504175	1 618,8281	1,326162	300,344961
0,430	–	–	2,533636	1 657,1422	1,341764	307,453472
0,435	–	–	2,563097	1 695,9045	1,357366	314,645123
0,440	–	–	2,592558	1 735,1149	1,372968	321,919914
0,445	–	–	2,622019	1 774,7733	1,38857	329,277846
0,450	–	–	2,65148	1 814,8799	1,404172	336,718919
0,455	–	–	2,680941	1 855,4347	1,419774	344,243132
0,460	–	–	2,710402	1 896,4375	1,435376	351,850485
0,465	–	–	2,739863	1 937,8885	1,450978	359,540979
0,470	–	–	2,769323	1 979,7876	1,466579	367,314613
0,475	–	–	2,798784	2 022,1348	1,482181	375,171388
0,480	–	–	2,828245	2 064,9301	1,497783	383,111303
0,485	–	–	2,857706	2 108,1735	1,513385	391,134359
0,490	–	–	2,887167	2 151,8651	1,528987	399,240555
0,495	–	–	2,916628	2 196,0047	1,544589	407,429892
0,500	–	–	2,946089	2 240,5925	1,560191	415,702369
0,505	–	–	2,97555	2 285,6284	1,575793	424,057986
0,510	–	–	3,00501	2 331,1125	1,591395	432,496744
0,515	–	–	–	–	1,606997	441,018643
0,520	–	–	–	–	1,622599	449,623682
0,525	–	–	–	–	1,6382	458,311862
0,530	–	–	–	–	1,653802	467,083182
0,535	–	–	–	–	1,669404	475,937642
0,540	–	–	–	–	1,685006	484,875243
0,545	–	–	–	–	1,700608	493,895984
0,550	–	–	–	–	1,71621	502,999866
0,555	–	–	–	–	1,731812	512,186889
0,560	–	–	–	–	1,747414	521,457051
0,565	–	–	–	–	1,763016	530,810355
0,570	–	–	–	–	1,778618	540,246798
0,575	–	–	–	–	1,79422	549,766383
0,580	–	–	–	–	1,809821	559,369107
0,585	–	–	–	–	1,825423	569,054973
0,590	–	–	–	–	1,841025	578,823978
0,595	–	–	–	–	1,856627	588,676124
0,600	–	–	–	–	1,872229	598,611411
0,605	–	–	–	–	1,887831	608,629838
0,610	–	–	–	–	1,903433	618,731406
0,615	–	–	–	–	1,919035	628,916114

Продолжение прил. А

Q , л/с	$d_{расч.} = 11,6$ мм		$d_{расч.} = 14,7$ мм		$d_{расч.} = 20,2$ мм	
	$d_{усл.} = 10$ мм		$d_{усл.} = 15$ мм		$d_{усл.} = 20$ мм	
	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>
0,620	–	–	–	–	1,934637	639,183962
0,625	–	–	–	–	1,950239	649,534951
0,630	–	–	–	–	1,965841	659,969081
0,635	–	–	–	–	1,981442	670,486351
0,640	–	–	–	–	1,997044	681,086761
0,645	–	–	–	–	2,012646	691,770312
0,650	–	–	–	–	2,028248	702,537003
0,655	–	–	–	–	2,04385	713,386835
0,660	–	–	–	–	2,059452	724,319807
0,665	–	–	–	–	2,075054	735,33592
0,670	–	–	–	–	2,090656	746,435173
0,675	–	–	–	–	2,106258	757,617567
0,680	–	–	–	–	2,12186	768,883101
0,685	–	–	–	–	2,137462	780,231776
0,690	–	–	–	–	2,153063	791,663591
0,695	–	–	–	–	2,168665	803,178547
0,700	–	–	–	–	2,184267	814,776643
0,705	–	–	–	–	2,199869	826,457879
0,710	–	–	–	–	2,215471	838,222256
0,715	–	–	–	–	2,231073	850,069774
0,720	–	–	–	–	2,246675	862,000432
0,725	–	–	–	–	2,262277	874,01423
0,730	–	–	–	–	2,277879	886,111169
0,735	–	–	–	–	2,293481	898,291249
0,740	–	–	–	–	2,309083	910,554469
0,745	–	–	–	–	2,324684	922,900829
0,750	–	–	–	–	2,340286	935,33033
0,760	–	–	–	–	2,37149	960,438753
0,765	–	–	–	–	2,387092	973,117675
0,770	–	–	–	–	2,402694	985,879738
0,775	–	–	–	–	2,418296	998,724941
0,780	–	–	–	–	2,433898	1011,65328
0,785	–	–	–	–	2,4495	1024,66477
0,790	–	–	–	–	2,465102	1037,75939
0,795	–	–	–	–	2,480704	1050,93716
0,800	–	–	–	–	2,496305	1064,19806
0,805	–	–	–	–	2,511907	1077,54211
0,810	–	–	–	–	2,527509	1090,9693
0,815	–	–	–	–	2,543111	1104,47962
0,820	–	–	–	–	2,558713	1118,07309

Окончание прил. А

Q , л/с	$d_{расч.} = 11,6$ мм		$d_{расч.} = 14,7$ мм		$d_{расч.} = 20,2$ мм	
	$d_{усл.} = 10$ мм		$d_{усл.} = 15$ мм		$d_{усл.} = 20$ мм	
	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>	v , м/с	1 000 <i>i</i>
0,825	–	–	–	–	2,574315	1131,7497
0,830	–	–	–	–	2,589917	1145,50945
0,835	–	–	–	–	2,605519	1159,35234
0,840	–	–	–	–	2,621121	1173,27837
0,845	–	–	–	–	2,636723	1187,28754
0,850	–	–	–	–	2,652325	1201,37985
0,855	–	–	–	–	2,667927	1215,5553
0,860	–	–	–	–	2,683528	1229,81389
0,865	–	–	–	–	2,69913	1244,15562
0,870	–	–	–	–	2,714732	1258,58049
0,875	–	–	–	–	2,730334	1273,0885
0,880	–	–	–	–	2,745936	1287,67966
0,885	–	–	–	–	2,761538	1302,35395
0,890	–	–	–	–	2,77714	1317,11139
0,895	–	–	–	–	2,792742	1331,95196
0,900	–	–	–	–	2,808344	1346,87567
0,905	–	–	–	–	2,823946	1361,88253
0,910	–	–	–	–	2,839548	1376,97253
0,915	–	–	–	–	2,855149	1392,14566
0,920	–	–	–	–	2,870751	1407,40194
0,925	–	–	–	–	2,886353	1422,74136
0,930	–	–	–	–	2,901955	1438,16391
0,935	–	–	–	–	2,917557	1453,66961
0,940	–	–	–	–	2,933159	1469,25845
0,945	–	–	–	–	2,948761	1484,93043
0,950	–	–	–	–	2,964363	1500,68555
0,955	–	–	–	–	2,979965	1516,52381
0,960	–	–	–	–	2,995567	1532,44521
0,965	–	–	–	–	3,011169	1548,44975

Приложение Б11

Бланк оцифровки комбинированной водопроводной сети 3

Комбинированная сеть 3 Вариант _____			ФИО студента _____			Группа _____		
$Z_1 =$	л/с		$q_{23} =$	л/с		$Z_3 =$		м
$Q_1 =$	л/с	$Z_2 =$	$V_{23} =$	м/с		$Q_3 =$		л/с
$H_1 =$	м	$h_{12} =$	$h_{23} =$	м	3	$H_3 =$		м
		$l_{12} =$	$l_{23} =$	м				
		$d_{12} =$	$d_{23} =$	мм				
			$q_{25} =$	л/с				
			$h_{25} =$	м				
			$V_{25} =$	м/с				
			$Z_5 =$		5			
			$q_{56} =$	л/с				
			$V_{56} =$	м/с				
			$h_{56} =$	м	6			
			$l_{56} =$	л/с				
			$d_{56} =$	мм				
			$q_{69} =$	л/с				
			$h_{69} =$	м				
			$V_{69} =$	м/с				
			$Z_9 =$		9			
			$Q_9 =$					л/с
			$H_9 =$					м

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. / Н.Н. Абрамов. М.: Стройиздат, 1982. 440 с.
2. Коноплев, Е.Н. Виртуальный лабораторный практикум по напорной гидравлике и гидромашинам: учебное пособие / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов, А.Л. Яблонев. Тверь: ТвГТУ, 2020. 108 с.
3. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 20106615851 РФ. Виртуальная лабораторная работа «Гидравлические исследования кольцевых водопроводных сетей» / Коноплев Е.Н., Образцов И.В.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ТвГТУ (RU). Заявка № 2016613251; заявл. 6.04.2016; опубл. 1.06.2016. 1 с.
4. Большаков, В.А. Справочник по гидравлике / В.А. Большаков [и др.]. Киев: Вища школа, 1984. 343 с.
5. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов. В 2 кн. / Р.Р. Чугаев. Кн. 1. М.: Энергоатомиздат, 1991. 351 с., Кн. 2. М.: Энергоатомиздат, 1991. 367 с.
6. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справочное пособие. 9-е изд., исправл. / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. М.: ООО «БАСТЕТ», 2009. 352 с.
7. Кедров, В.С. Водоснабжение и канализация / В.С. Кедров, П.П. Пильгунов, М.А. Сомов. М: Стройиздат, 1984. 288 с.
8. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб / Ф.А. Шевелев. Изд. 5. М.: Стройиздат, 1973. 112 с.
9. Курганов, А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: справочник / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Стройиздат (Ленингр. отд.), 1986. 440 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Оформление отчетов к лабораторным работам	3
Технические характеристики виртуальной лаборатории и системные требования	4
Описание виртуальной лаборатории «Гидравлическое моделирование кольцевых, тупиковых и комбинированных водопроводных сетей»	5
Основные понятия к определению гидравлических характеристик водопроводных сетей	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	
Тупиковая водопроводная сеть 1	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
Тупиковая водопроводная сеть 2	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	
Тупиковая водопроводная сеть 3	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	
Тупиковая водопроводная сеть 4	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5	
Тупиковая водопроводная сеть 5	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6	
Кольцевая водопроводная сеть 1 (4 кольца)	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7	
Кольцевая водопроводная сеть 2 (2 кольца)	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8	
Кольцевая водопроводная сеть 3 (3 кольца)	44
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9	
Комбинированная водопроводная сеть 1	50
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10	
Комбинированная водопроводная сеть 2	57
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11	
Комбинированная водопроводная сеть 3	64
Пример заполнения протокола для лабораторной работы № 9	72

ПРИЛОЖЕНИЕ А	
Таблицы Шевелевых	78
ПРИЛОЖЕНИЕ Б1	
Бланк оцифровки тупиковой водопроводной сети 1	83
ПРИЛОЖЕНИЕ Б2	
Бланк оцифровки тупиковой водопроводной сети 2	84
ПРИЛОЖЕНИЕ Б3	
Бланк оцифровки тупиковой водопроводной сети 3	85
ПРИЛОЖЕНИЕ Б4	
Бланк оцифровки тупиковой водопроводной сети 4	86
ПРИЛОЖЕНИЕ Б5	
Бланк оцифровки тупиковой водопроводной сети 5	87
ПРИЛОЖЕНИЕ Б6	
Бланк оцифровки кольцевой водопроводной сети 1 (4 кольца).....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ Б7	
Бланк оцифровки кольцевой водопроводной сети 2 (2 кольца).....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ Б8	
Бланк оцифровки кольцевой водопроводной сети 3 (3 кольца).....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ Б9	
Бланк оцифровки комбинированной водопроводной сети 1	91
ПРИЛОЖЕНИЕ Б10	
Бланк оцифровки комбинированной водопроводной сети 2	92
ПРИЛОЖЕНИЕ Б11	
Бланк оцифровки комбинированной водопроводной сети 3	93
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	94