

Определение гидравлических характеристик водопроводных сетей

Методические указания к выполнению
имитационных лабораторных работ

Тверь 2019

УДК 532.542(076)

ББК38.761я7

Указания составлены в соответствии с учебными программами и предназначены для студентов высших учебных заведений, по направлению подготовки 270800 Строительство (квалификация (степень) «бакалавр»), по дисциплине «Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики».

Предназначены для выполнения лабораторных работ по указанным выше дисциплинам и закрепления теоретического материала, полученного на лекционных занятиях.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Оформление отчетов к лабораторным работам	4
Описание виртуальной лаборатории «Гидравлическое моделирование кольцевых, тупиковых и комбинированных водопроводных сетей»	5
1. Лабораторная работа №1. Тупиковая водопроводная сеть	9
1.1 Общие сведения	9
1.2 Цель работы.....	9
1.3 Описание установки	9
1.4 Порядок выполнения работы	10
1.5 Контрольные вопросы.....	13
2. Лабораторная работа №2. Кольцевая водопроводная сеть (4 кольца)	14
2.1 Общие сведения	14
2.2 Цель работы.....	14
2.3 Описание установки	14
2.4 Порядок выполнения работы	15
2.5 Контрольные вопросы.....	16
3. Лабораторная работа №3. Кольцевая водопроводная сеть (2 кольца)	17
3.1 Описание установки	17
3.2 Порядок выполнения работы	17
3.3 Контрольные вопросы.....	17
4. Лабораторная работа №4. Комбинированная водопроводная сеть	19
4.1 Описание установки	19
4.2 Порядок выполнения работы.....	19
4.3 Контрольные вопросы.....	20
5. Технические характеристики виртуальной лаборатории и системные требования	21
Приложение	22

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, выявляют дефектные участки сети, объемы потерь воды на них и другие показатели.

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

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

В указаниях приводится методика выполнения имитационных 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 её содержание и методику; подготовить конспект на листах формата А4, который должен включать:

- а) титульный лист (название работы, ФИО студента, группу) – отдельная страница;
- б) цель выполнения лабораторной работы;
- в) схема установки с её описанием; рисунки, поясняющие сущность протекающих процессов;
- г) таблицы для записи опытных данных и результатов вычислений
- д) схему для оцифровки водопроводной сети (см. приложение).

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

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

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

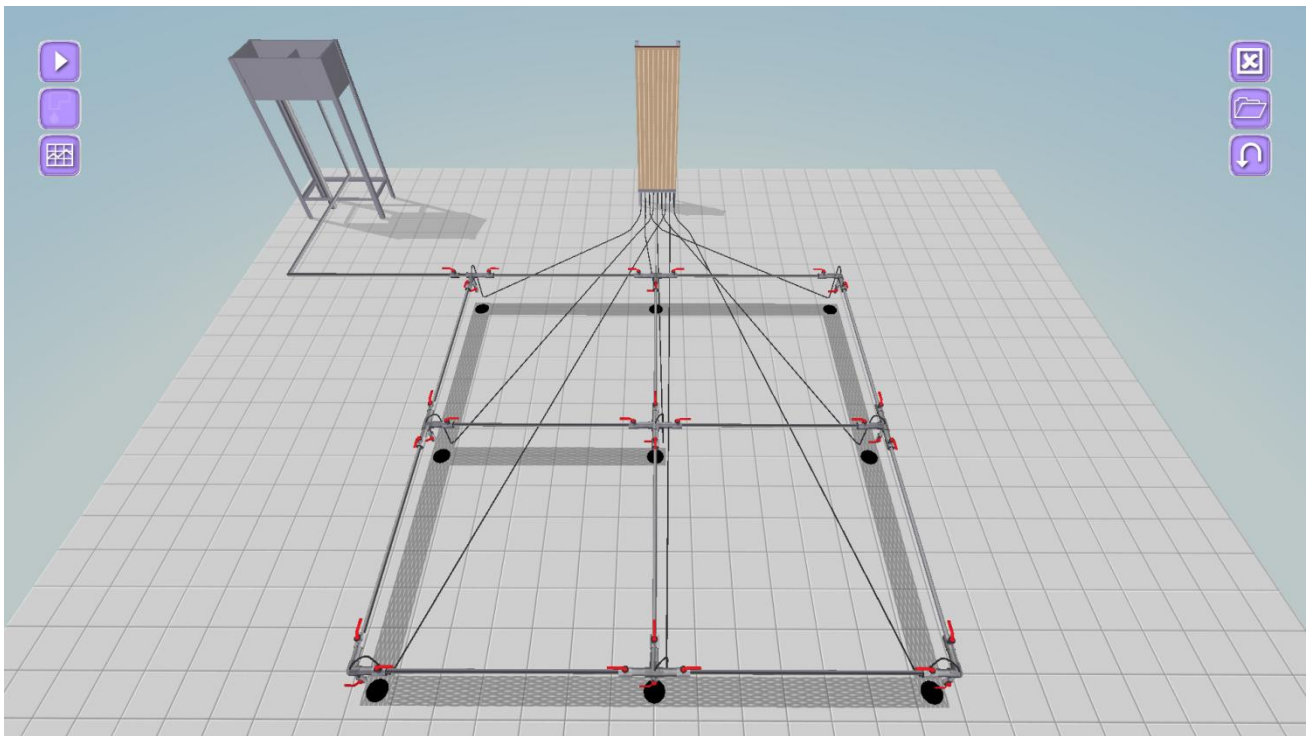


Рисунок 1 – Общий вид лабораторной работы

В правой верхней части экрана расположены кнопки (сверху вниз): «Выйти из программы», «Открыть вариант модели», «Сбросить параметры установки». В левой верхней части экрана расположены 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 заранее подготовленного файла параметров конфигурация трубопровода изменится в соответствии с загруженной параметрической моделью (например, рисунок 2).

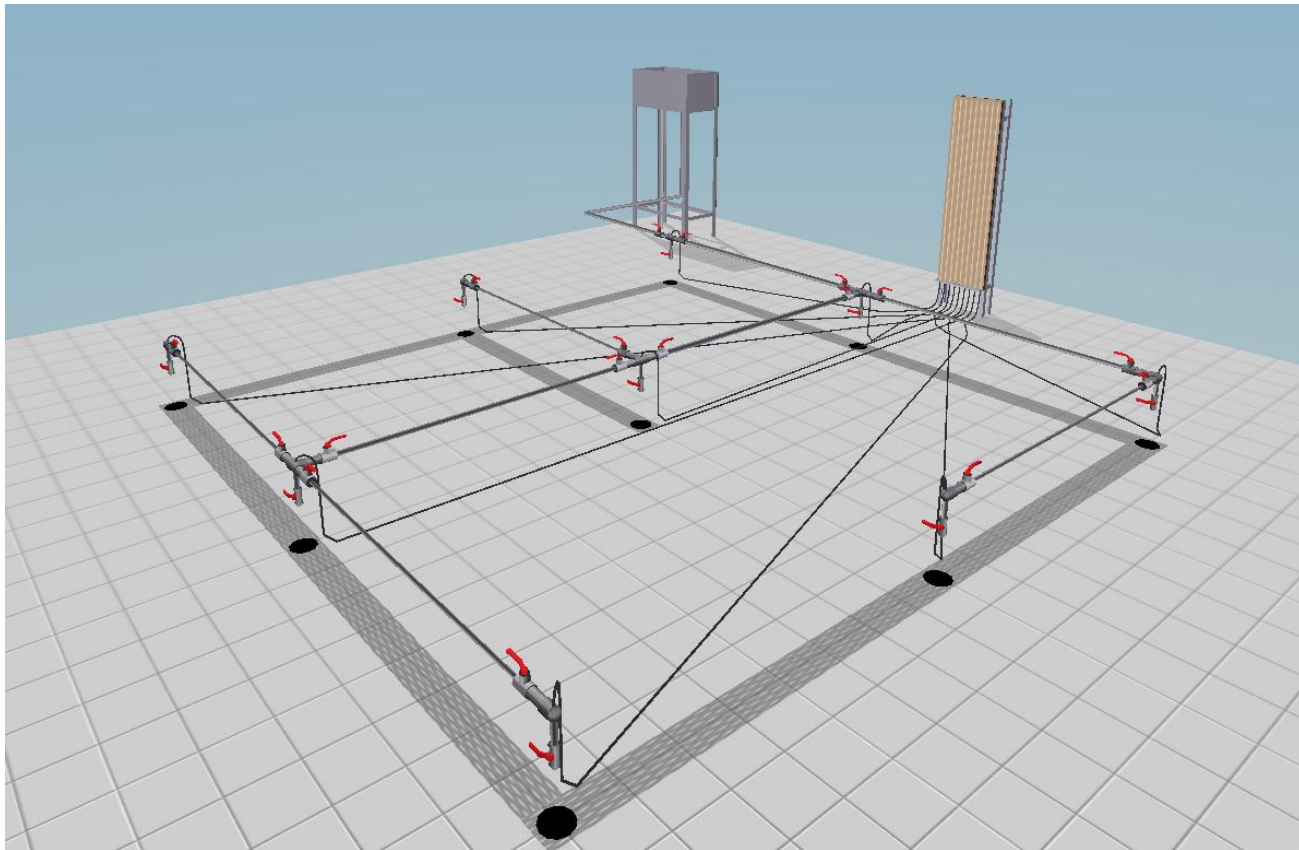


Рисунок 2 – Конфигурация трубопровода в соответствии с загруженной параметрической моделью

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, величины 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 (рисунок 3).

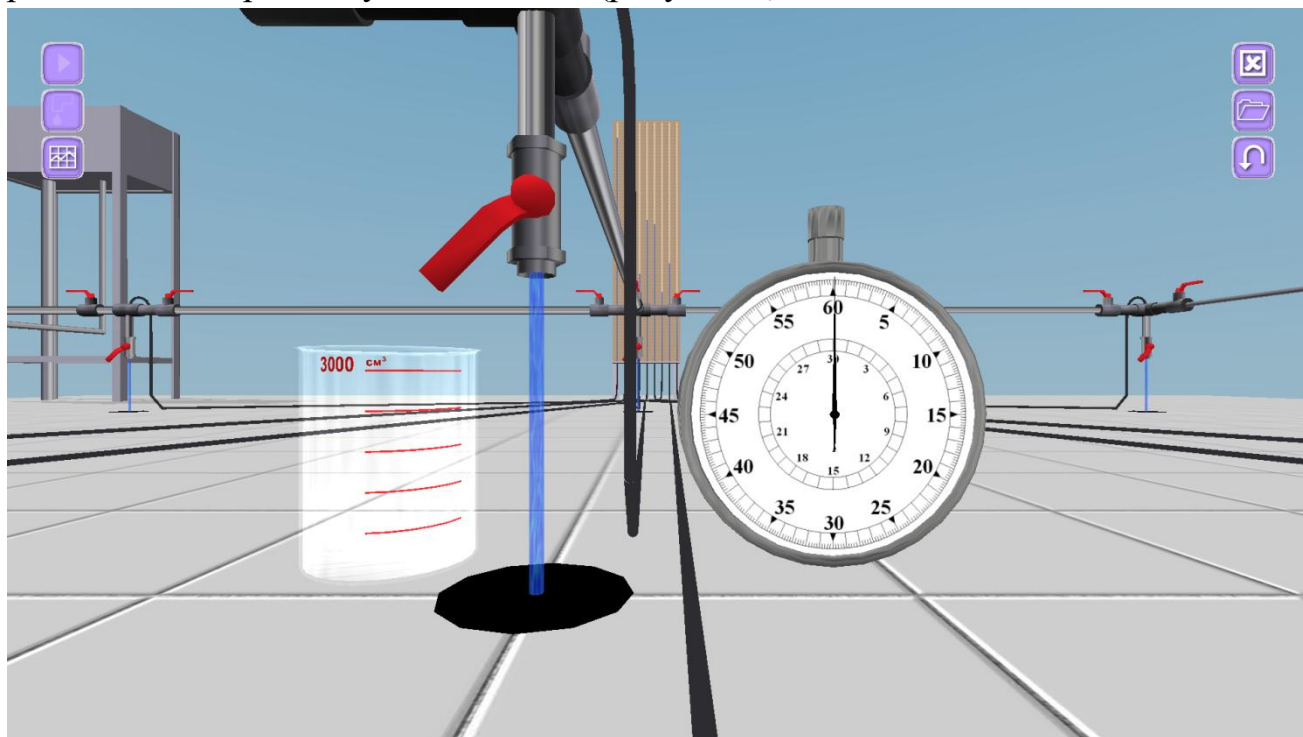


Рисунок 3 – Виртуальная камера в режиме замера расхода

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

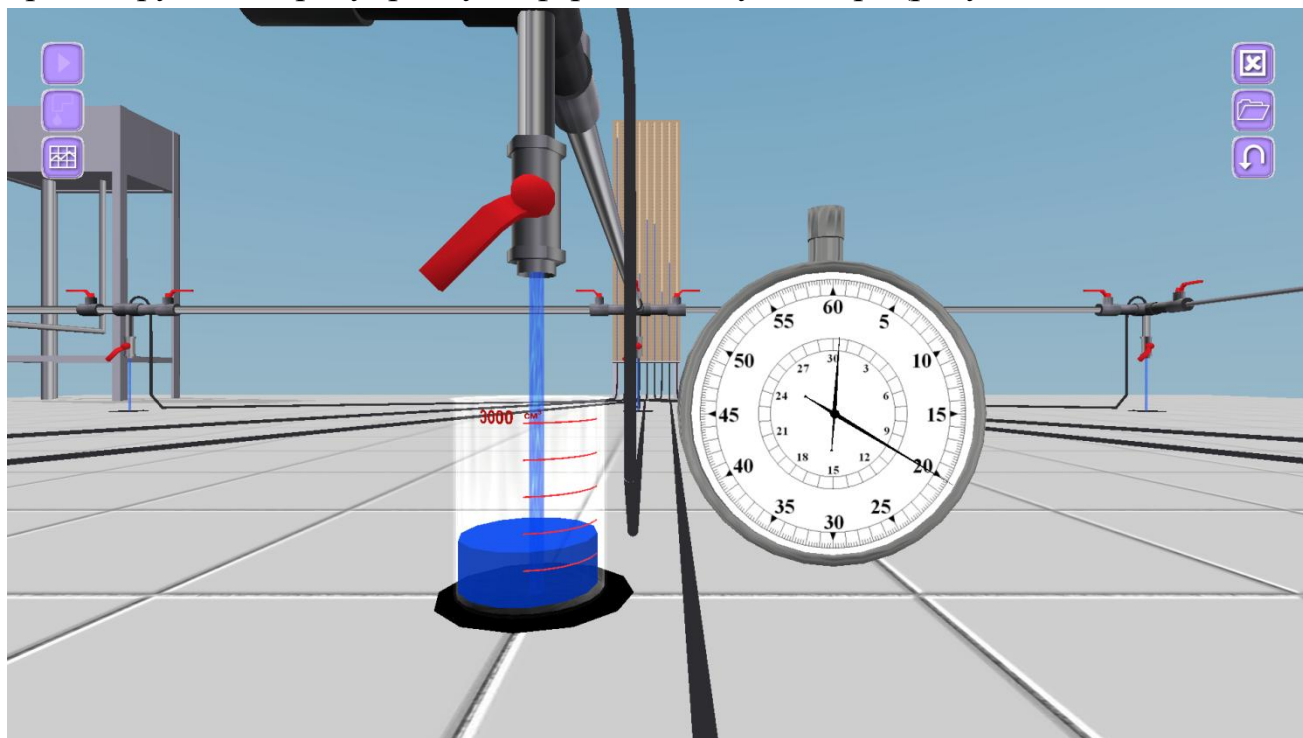


Рисунок 4 – Процесс замера расхода воды в узловой точке сети

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, необходимо привести 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 (рисунок 5).

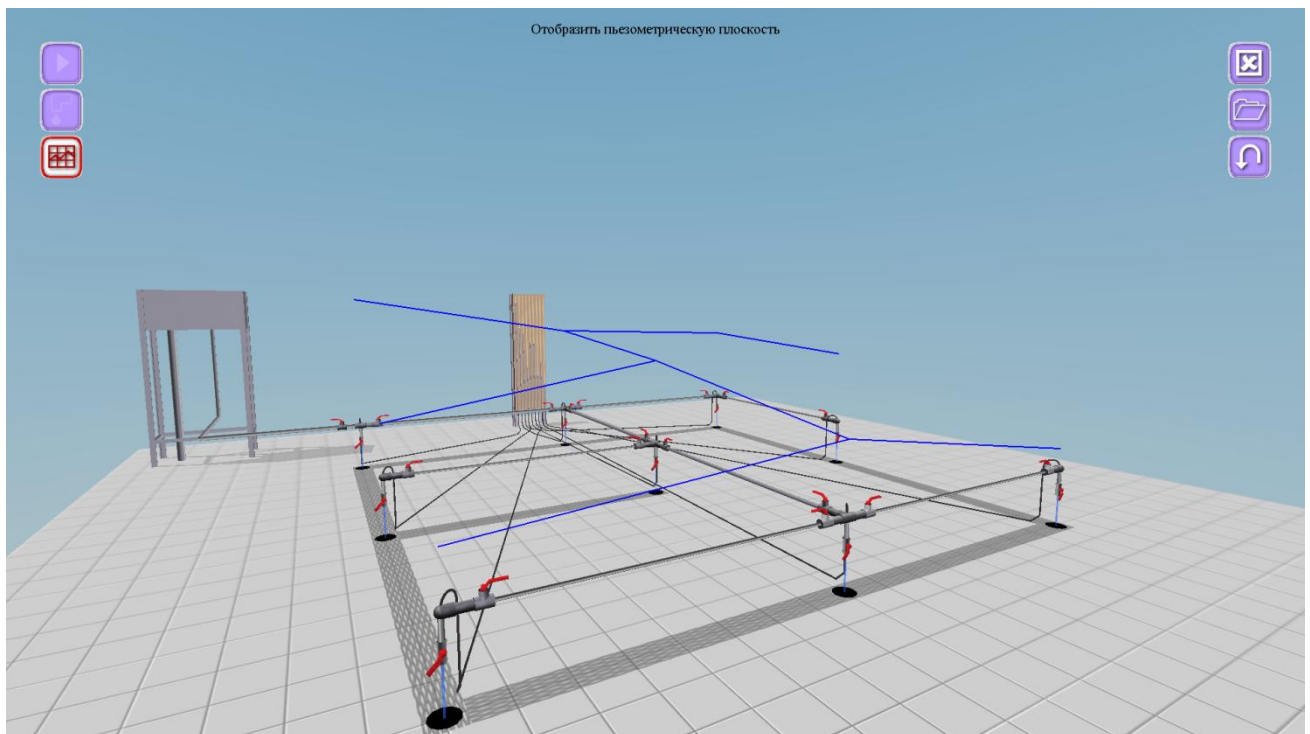


Рисунок 5 – Отображение пьезометрической плоскости

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

ТУПИКОВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ

1.1. Общие сведения

Тупиковые водопроводные сети 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 снабжение водой.

1.2. Цель работы

Исследовать работу тупиковой водопроводной сети, в результате чего:

- построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем питании сети;
- определить аналитическим способом линейные расходы воды;
- проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

1.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели тупиковой водопроводной сети, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм, в зависимости от варианта. Трубки соединены между собой в водопроводную сеть. Для регулирования 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} |
| – диаметры участков | – D_{ij} |

На рисунке 6 изображена схема тупиковой водопроводной сети в плане.

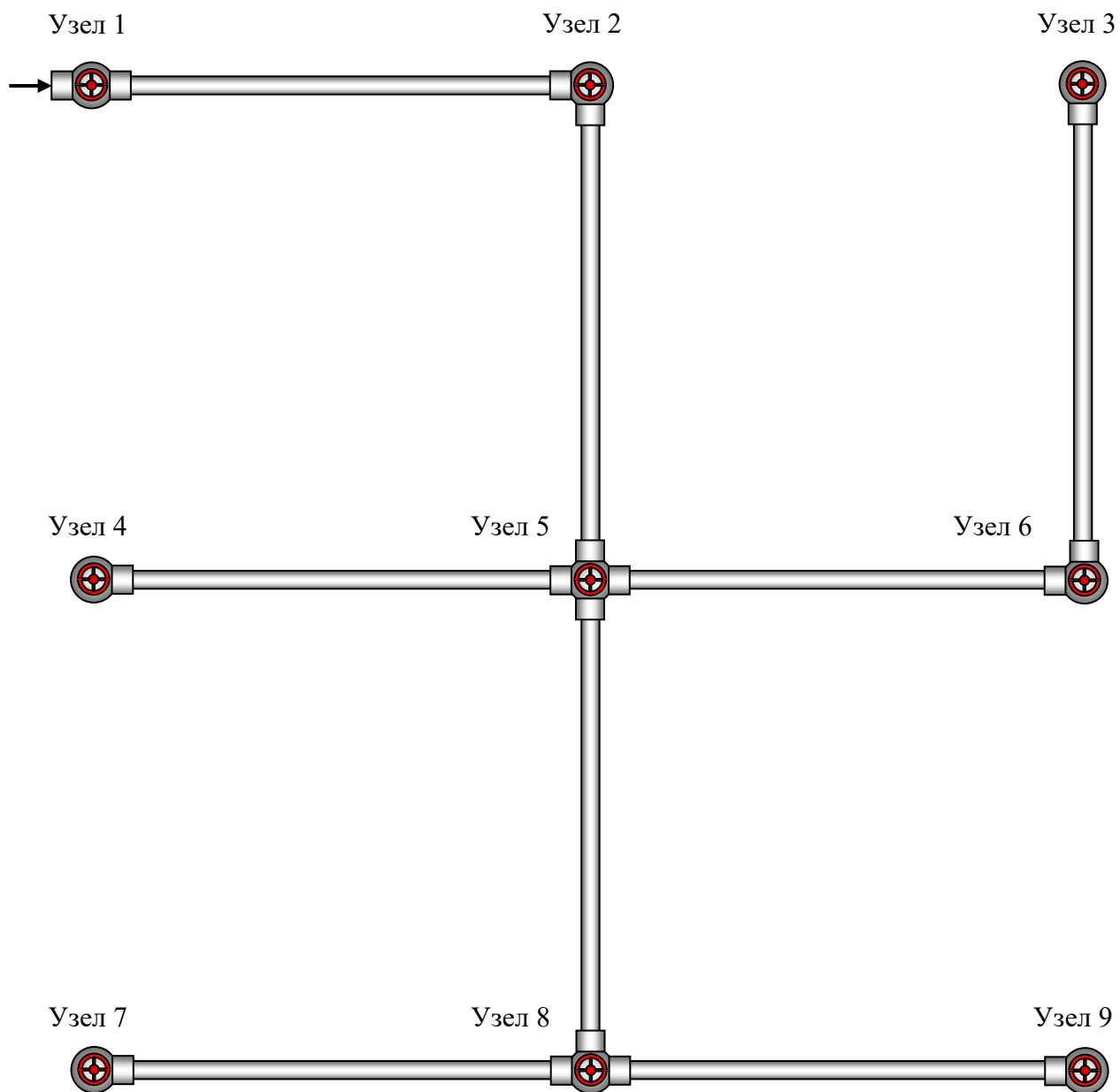


Рисунок 6 – Схема тупиковой водопроводной сети

1.4. Порядок выполнения работы

Для пропуска воды по линиям сети необходимо открыть все спусковые краны, расположенные в узлах сети (рисунок 7).

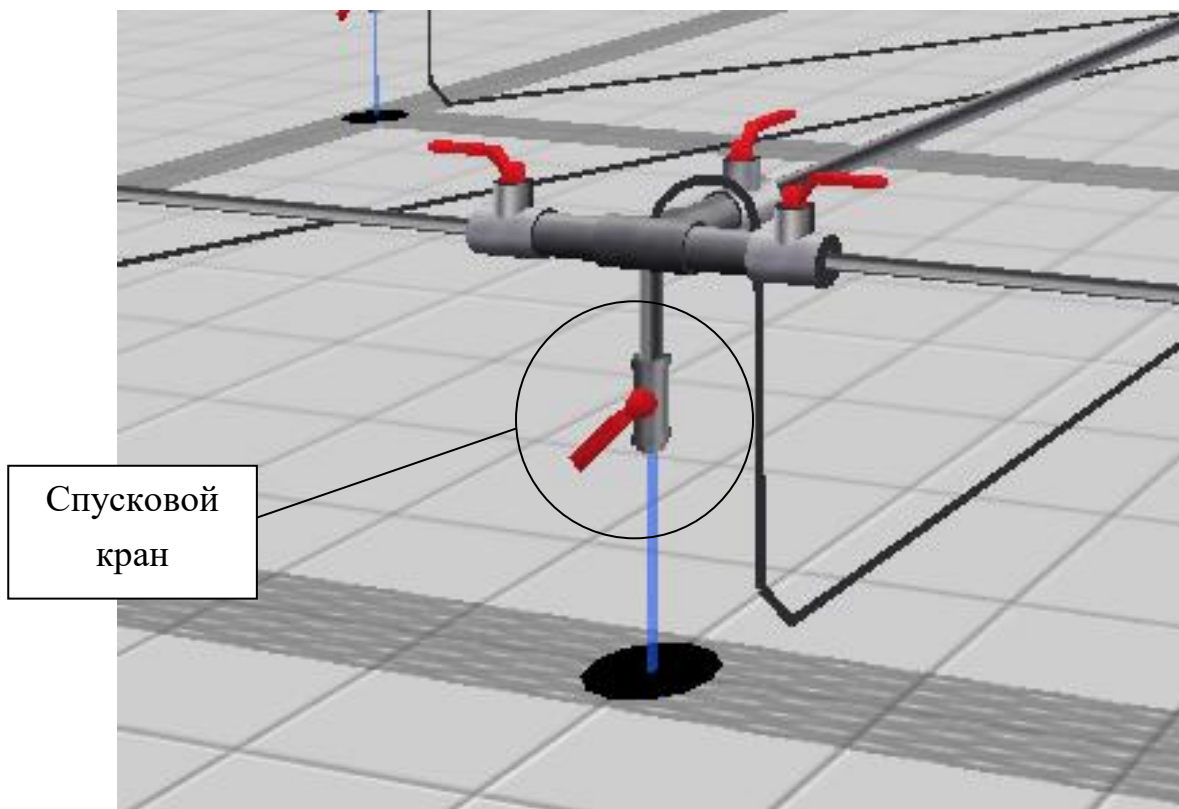


Рисунок 7 – Изображение спускового крана в открытом состоянии

Отбор воды производится через узлы с 1 по 9. Пьезометрическая линия строится по показаниям пьезометров, расположенных на стенде (рисунок 8).

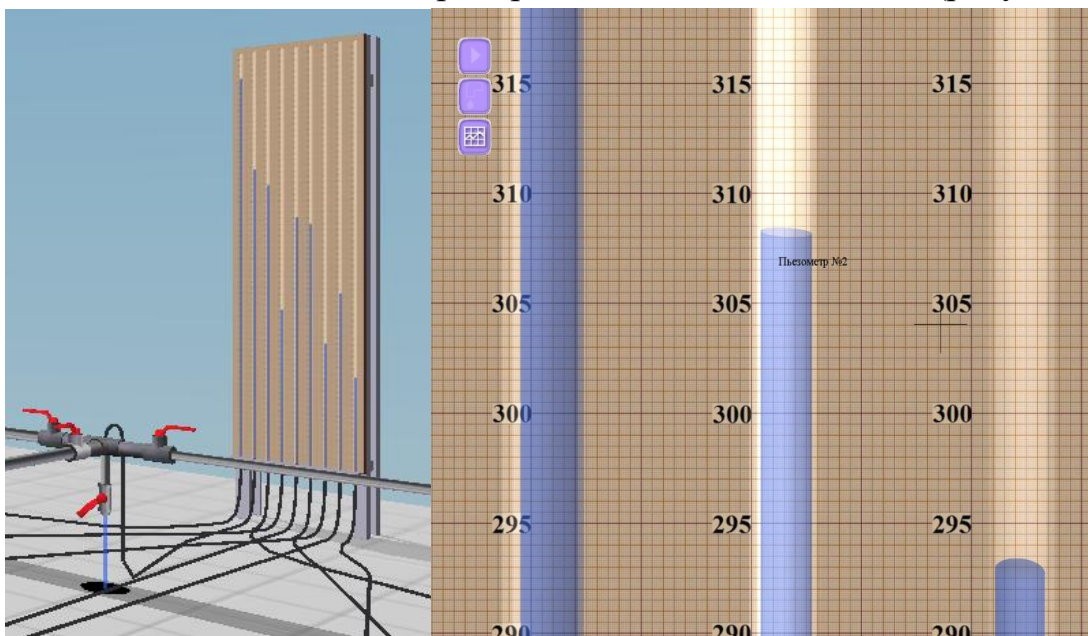


Рисунок 8 – Изображение стенда с пьезометрами

Численные значения напоров в узлах наносятся на развертку пьезометров. Направление движения потоков воды в линиях сети определяется по разности показаний пьезометров и наносится на схему сети цветными карандашами или

чернилами. Определение линейных расходов воды и проверка баланса узловых расходов осуществляется аналитическим способом.

На основе показаний пьезометров вычисляются потери напора на отдельных участках сети, а затем определяются линейные расходы воды из формулы:

$$q_{ij} = \sqrt{\frac{h_{ij}}{s}}$$

где h_{ij} – потери напора на участке сети, м; s – сопротивление рассматриваемого участка сети (численные значения сопротивлений участков кольцевой сети определяются расчетом).

Для записи результатов измерений рекомендуется использовать таблицы 1 и 2.

Таблица 1 – Параметры водопроводной сети по узлам

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

Таблица 2 – Параметры водопроводной сети по участкам (тупиковая сеть)

№ участка	Длина, м	Расход на участке q_{ij} , м	Условный диаметр, м	Расчетный диаметр, м	Расчетные величины		Опытные потери на участке, м	Δh , м	%
					$1000i$	Потери на участке h_{ij} , м			
1	2	3	4		5	6	7	8	9
12									
25									
36									
45									
56									
58									
78									
89									

Примечание: i – удельное сопротивление участка сети (численные значения определяются по таблицам в зависимости от материала, диаметра труб и путевого расхода).

1.5. Контрольные вопросы

1. Как производится гидравлический расчет разветвленных сетей?
2. Приведите схему централизованной системы водоснабжения.
3. Как производится выбор типа труб для водопроводных сетей.
4. Расчетная схема отдачи воды из сети. Определение удельных, путевых и узловых расходов воды.
5. Назовите основные принципы назначения расчетной схемы водопотребления в городских водопроводных сетях.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. КОЛЬЦЕВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ (4 КОЛЬЦА)

2.1. Общие сведения

Кольцевые водопроводные сети широко применяются в системах водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, где необходимо обеспечить бесперебойную подачу воды потребителям. В любой кольцевой водопроводной сети выполняются 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.

2.2. Цель работы

Исследовать работу кольцевой водопроводной сети, в результате чего:

- построить пьезометрическую линию на развернутом профиле сети и определить направление движения потоков воды на отдельных участках при одностороннем и двухстороннем питании сети;
- определить аналитическим способом линейные расходы воды;
- проверить баланс притока и оттока воды в узлах.

2.3. Описание установки

Лабораторная работа проводится на модели кольцевой водопроводной сети, выполненной из металлических трубок диаметром 10, 15 и 20 мм, в зависимости от варианта. В ходе выполнения лабораторной работы требуется определить параметры установки аналогично лабораторной работе №1 (см. пункт 1.3). На рисунке 9 изображена схема кольцевой водопроводной сети в плане.

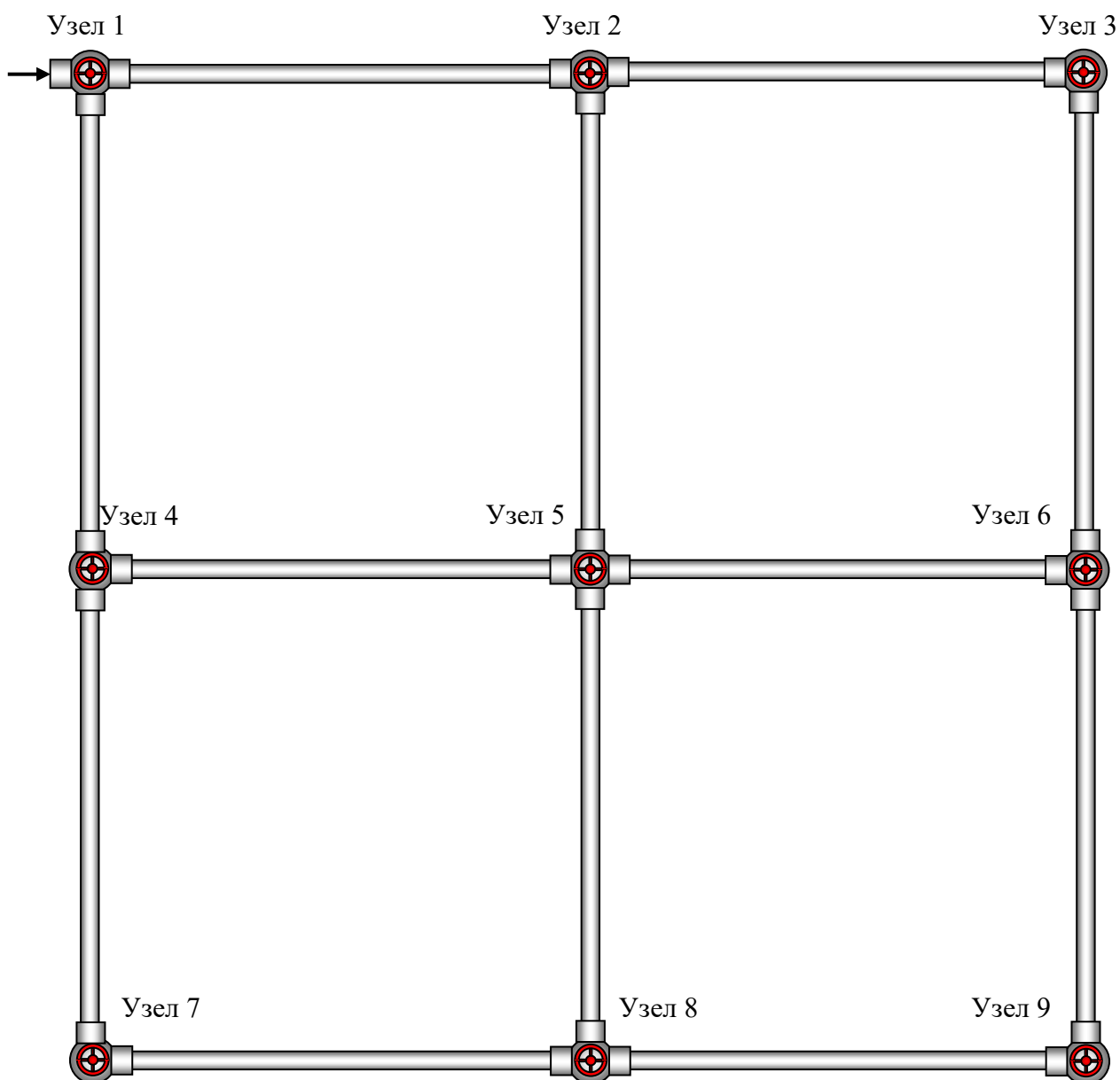


Рисунок 9 – Схема кольцевой водопроводной сети (4 кольца)

2.4. Порядок выполнения работы

По аналогии с лабораторной работой №1 производится построение пьезометрической линии, и определяются направления движения воды на отдельных участках сети. С этой целью необходимо открыть все проходные краны 1, 3, 5 и 6 для пропуска воды по линиям сети. Отбор воды производится через узлы с 1 по 9. Пьезометрическая линия строится по показаниям пьезометров, а численные значения напоров в узлах наносятся на развертку пьезометров. Направление движения потоков воды в линиях сети определяется по разности показаний пьезометров и наносится на схему сети цветными

карандашами. Аналитическим способом определяются линейные расходы воды, и производится проверка баланса узловых расходов.

Для записи результатов измерений рекомендуется использовать таблицы 1 и 3.

Таблица 3 – Параметры водопроводной сети по участкам (кольцевая сеть)

№ участка	Длина, м	Расход на участке q_{ij} , м	Условный диаметр, м	Расчетный диаметр, м	Расчетные величины		Опытные потери на участке, м	Δh , м	%
					$1000i$	Потери на участке h_{ij} , м			
1	2	3	4		5	6	7	8	9
12									
23									
14									
25									
36									
45									
56									
47									
58									
69									
78									
89									

2.5. Контрольные вопросы

1. Перечислите достоинства и недостатки кольцевой водопроводной сети.
2. Как производится гидравлический расчет кольцевых сетей по методу Лобачева?
3. Какова роль водонапорной башни, ее высоты и места расположения на плане объекта?
4. В чем заключается суть метода внешней увязки системы подачи и распределения воды?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. КОЛЬЦЕВАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ (2 КОЛЬЦА)

3.1. Описание установки

Принцип лабораторной установки аналогичен лабораторным работам 1-2. На рисунке 10 изображена схема двухкольцевой водопроводной сети в плане.

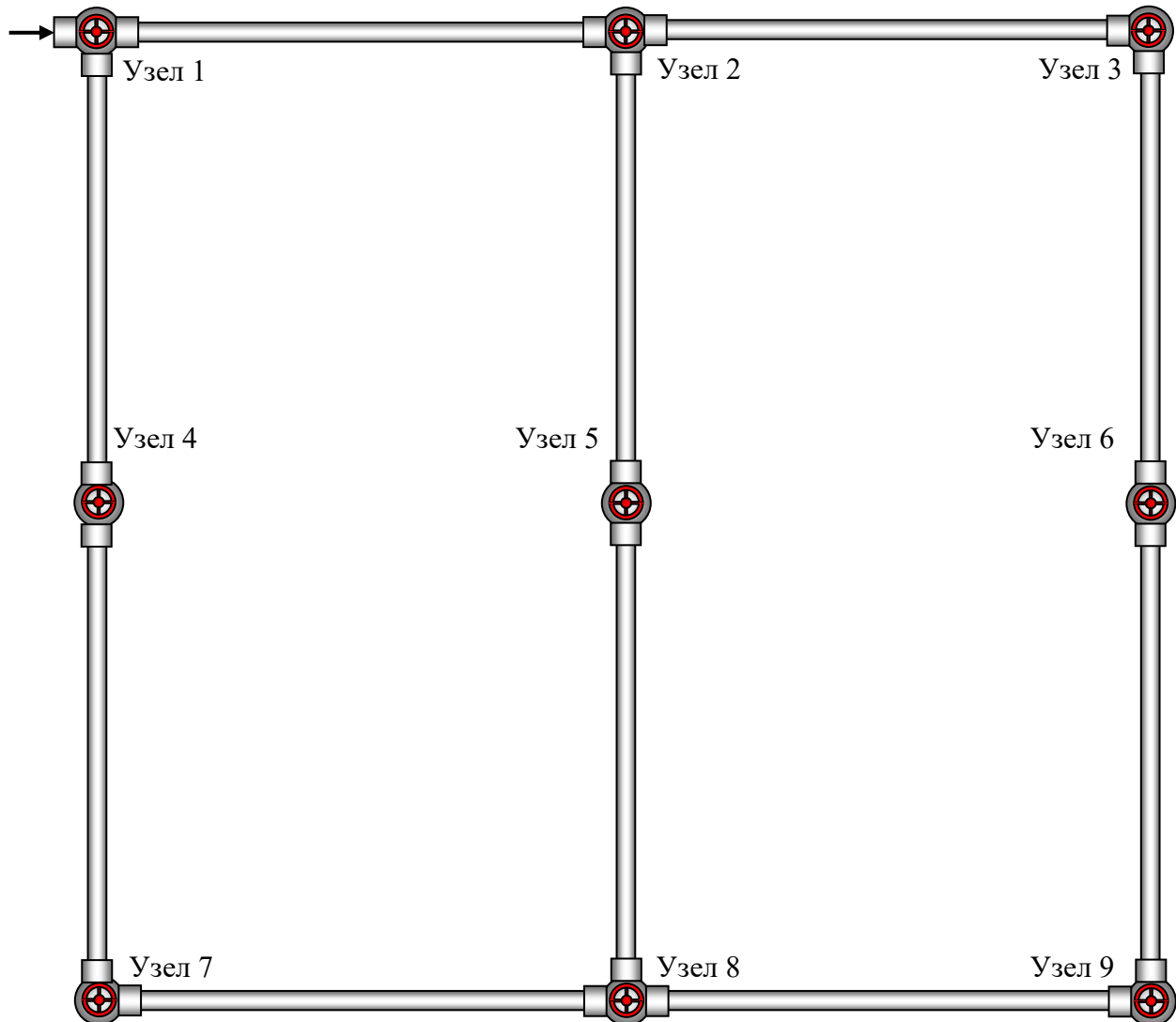


Рисунок 10 – Схема кольцевой водопроводной сети (2 кольца)

3.2. Порядок выполнения работы

По аналогии с лабораторными работами 1-2 производится построение пьезометрической линии, и определяются направления движения воды на отдельных участках сети. Для записи результатов измерений рекомендуется использовать таблицы 1 и 4.

Таблица 4 – Параметры водопроводной сети по участкам (кольцевая сеть)

№ участка	Длина, м	Расход на участке Q_{ij} , м	Условный диаметр, м	Расчетный диаметр, м	Расчетные величины		Опытные потери на участке, м	Δh , м	%
					$1000i$	Потери на участке h_{ij} , м			
1	2	3	4		5	6	7	8	9
12									
23									
14									
25									
36									
47									
58									
69									
78									
89									

3.3. Контрольные вопросы

1. Что означает удельный расход сети и как он определяется?
2. Приведите схему децентрализованной системы водоснабжения.
3. По каким критериям производится выбор типа труб для водопроводных сетей?
4. Что означает эквивалентный расчетный расход и как он определяется?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. КОМБИНИРОВАННАЯ ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ

4.1. Описание установки

Принцип лабораторной установки аналогичен лабораторным работам 1-3. На рисунке 11 изображена схема комбинированной водопроводной сети в плане.

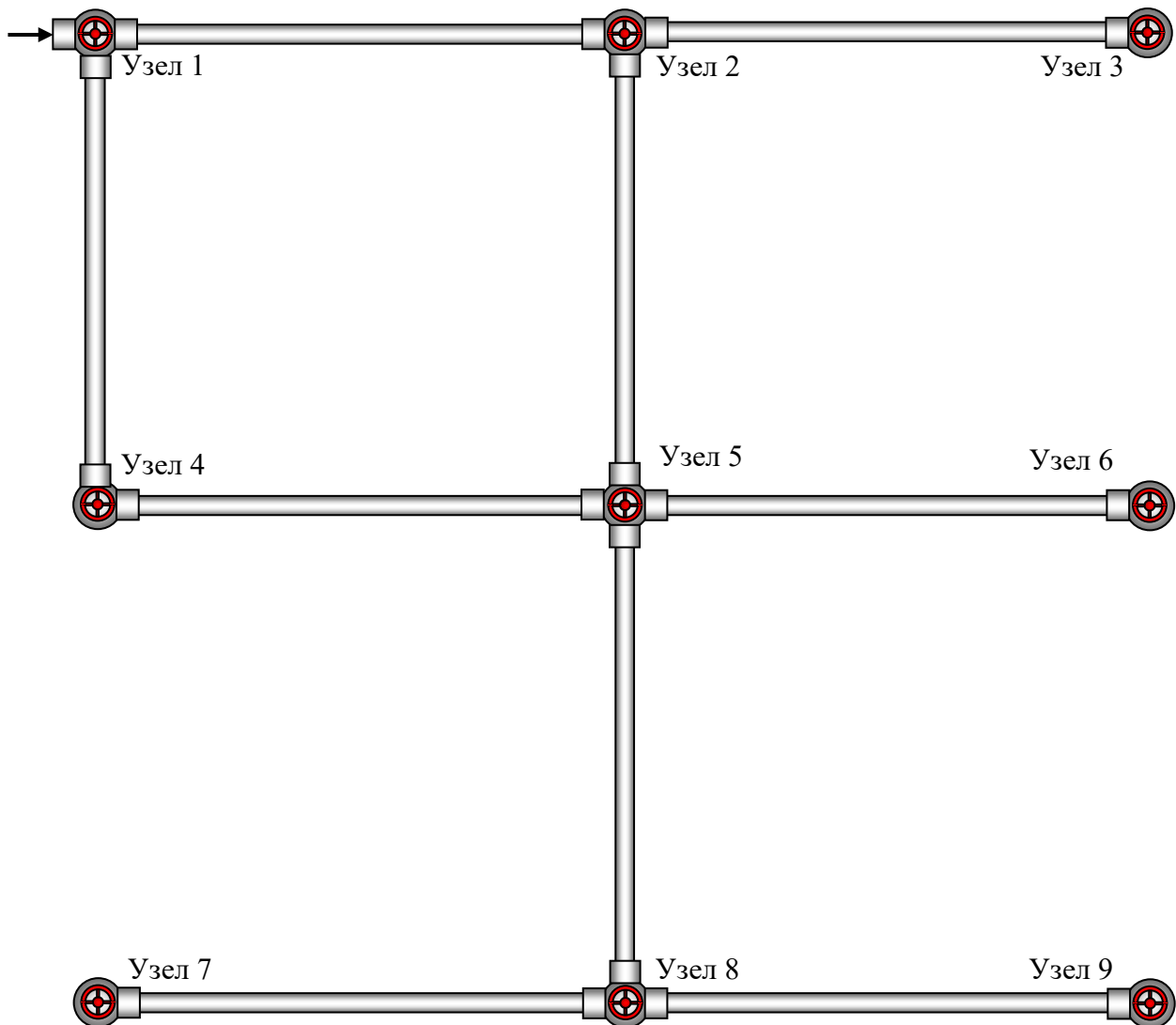


Рисунок 11 – Схема комбинированной водопроводной сети

4.2. Порядок выполнения работы

По аналогии с лабораторными работами 1-3 производится построение пьезометрической линии, и определяются направления движения воды на отдельных участках сети. Для записи результатов измерений рекомендуется использовать таблицы 1 и 5.

Таблица 5 – Параметры водопроводной сети по участкам (кольцевая сеть)

№ участка	Длина, м	Расход на участке q_{ij} , м	Условный диаметр, м	Расчетный диаметр, м	Расчетные величины		Опытные потери на участке, м	Δh , м	%
					$1000i$	Потери на участке h_{ij} , м			
1	2	3	4		5	6	7	8	9
12									
23									
14									
25									
45									
56									
58									
78									
89									

4.3. Контрольные вопросы

1. Как называется расход, отдаваемый каждым участком сети, и как он определяется?
2. Приведите схему централизованной системы водоснабжения.
3. Что означает экономически выгодный диаметр труб для водопроводных сетей?
4. Объясните расчетную схему отдачи воды из сети. Как определяются удельные, путевые и узловые расходы воды?
5. Как определяются потери напора в трубах при расчете водопроводных сетей?

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ И СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Программный продукт предназначен для построения и практического изучения расчетных гидравлических моделей кольцевых, тупиковых и комбинированных водопроводных сетей. В базовый комплект виртуальной лаборатории 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. 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 для обеспечения стабильной работы программного обеспечения следующие:

- 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: 1024x768x32;
- операционная система: Microsoft Windows XP/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.

