

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
«20» января 2022 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Водоснабжение»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
08.03.01 – "Строительство"

с профилем
"Водоснабжение и водоотведение"

Форма(ы) обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-02-22

Тула 2022 год

Разработчик(и) методических указаний

Белоусов Р.О., доцент, к.т.н., доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Лабораторные работы проводятся в ауд. 8/103 на установке "Моделирование режимов работы водопроводной сети".

При измерении расходов допускается использование ультразвукового расходомера "АКРОН-01"

Форма отчетного журнала

1. Наименование дисциплины
2. Наименование лабораторной работы
3. Схема опытной установки
4. Значения опытных данные, которые снимаются в процессе работы
5. Обработка опытных данных
6. Выводы из лабораторной работы.
7. Фамилия, инициалы студента, № группы (место для подписи).
8. Фамилия, инициалы лаборанта проводящего работу (место для подписи), (дата).
9. Фамилия, инициалы преподавателя принявшего работу (место для подписи), (дата).

РАБОТА КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ ПРИ ВОДОНАПОРНОЙ БАШНЕ В ЕЁ НАЧАЛЕ.

Перед проведением лабораторных работ №1 и №2 преподавателю необходимо определить сопротивление каждого из участков сети S_{ik} , входящих во внешний контур.

Установка должна быть включена по схеме “Башня в начале сети”.

Уровень воды в баке должен быть постоянным, для чего в бак постоянно подается подпиточный расход. В течение всей работы должен наблюдаться перелив.

Все участки, примыкающие к внешнему контуру, должны быть перекрыты.

Сопротивление отдельных участков сети меняется в зависимости от степени открытия пробковых кранов на этих участках. Пробковый кран на участке 1-2 должен быть открыт полностью. Пробковый кран на участке 8-9 должен быть закрыт. Степень закрытия пробковых кранов на участках по линиям 1-2-3-4-5-6-7-8 и 1-14-13-12-11-10-9 должна постепенно увеличиваться.

После этого водоразборные краны в узлах 8 и 9 должны быть полностью открыты.

Необходимо измерить:

1) узловые расходы Q_8 и Q_9 , $\text{см}^3/\text{с}$, с помощью секундомера и мерного сосуда;

2) величины пьезометрических напоров в узлах, расположенных по внешнему контуру, H_p , см:

$$\Delta h_{ik} = q_{ik}^2 * S_{ik},$$

где Δh_{ik} - потери напора на участке (разница пьезометрических напоров в

узлах данного участка);

q_{ik} - расход, $\text{см}^3/\text{с}$, проходящий по данному участку.

По результатам замеров определяется сопротивление участков внешнего контура:

$$S_{ik} = \Delta_{ik}/q_{ik}^2 .$$

Затем необходимо полностью открыть пробковый кран на участке 8-9, а $S_{8-9}=S_{1-2}$.

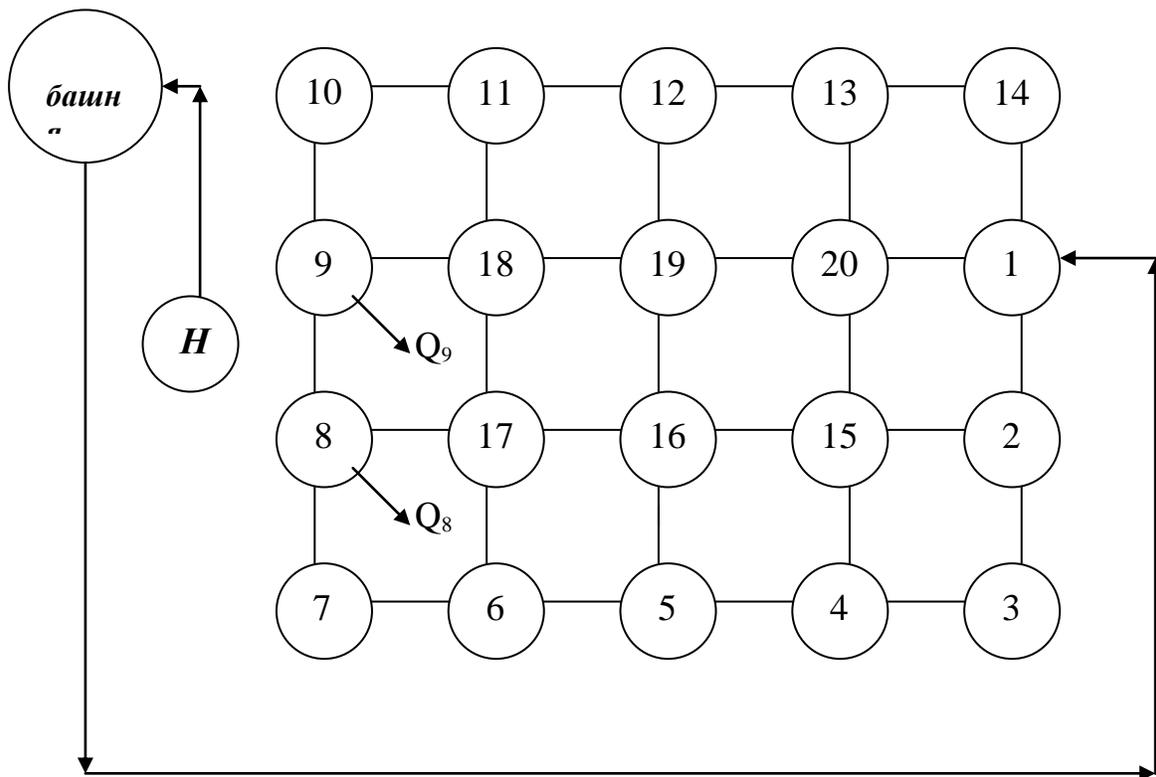
Целью проведения работы является уяснение студентами следующих вопросов:

1. Соотношение между конфигурацией пьезометрической линии и направлением движения воды в участках сети.
2. Установление режима работы различных участков сети по виду пьезометрической линии на этих участках.
3. Составление уравнения I-го закона Кирхгофа для узлов кольцевой сети.
4. Изменение режима работы отдельных участков сети в зависимости от изменения точки водозабора.

Перед началом работы на установке преподаватель должен напомнить студентам следующие положения:

1. I-ый и II-ой законы Кирхгофа (привести пример составления уравнений).
2. Построение пьезометрической линии и связь её уклона с потерями напора на участках и направлением движения воды по ним.

Преподаватель должен подробно объяснить , а студенты составить схему лабораторной установки.



Перед началом проведения работы лаборант должен включить установку в положение “башня в начале сети”, наполнить бак башни до уровня верхней переливной трубы, о чем свидетельствует тонкая струйка из переливной трубы. Этот режим должен поддерживаться в продолжении всей работы.

Все участки, примыкающие к внешнему контуру, должны быть перекрыты.

Преподаватель должен обратить внимание студентов на то, что при отсутствии движения воды по трубам во всех узлах сети пьезометры показывают одинаковые напоры.

При подаче воды в узел 1 преподаватель должен полностью открыть водоразборные краны в узлах 8 и 9, наблюдая процесс формирования пьезометрической линии и объясняя закономерность её конфигурации.

После стабилизации положения пьезометрической линии один из студентов читает показания пьезометров по всем 14 узлам внешнего контура сети, а остальные студенты записывают эти показания в таблицу. Студенты, пользуясь мерным сосудом и секундомером, замеряют расходы в узлах 8 и 9:

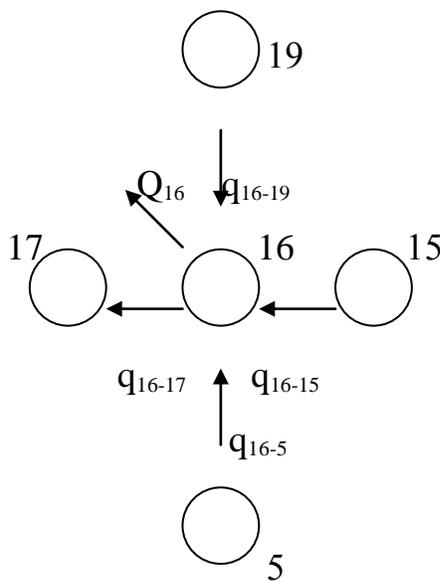
$$Q=W/t.$$

Водоразбор из узлов 8 и 9 прекращается и установка временно должна быть выключена. Студентам предлагается самостоятельно на схеме, пользуясь составленной таблицей, проставить на всех участках сети стрелки, указывающие направления движения воды. Если положения пьезометров по концам какого-либо участка совпадают, то вместо стрелки следует поставить 0.

В эту таблицу студенты должны занести величины полного сопротивления S_{ik} каждого из участков сети, которые им должен дать преподаватель. Зная направление движения воды по участкам и узловые расходы в узлах 8 и 9, студенты должны самостоятельно расписать величины расходов воды по участкам q_{ik} , причем расходы на участках, где вода движется по часовой стрелке, записываются со знаком “+”, а расходы на участках, где вода движется против часовой стрелки, записываются со знаком “-”. Полученные значения величины q_{ik} ; S_{ik} ; $H_{п1,1}$

передаются в вычислительный зал для вычисления величин пьезометрических напоров в узлах сети на ЭВМ. Итоги расчета на ЭВМ заносятся в таблицу.

Следующим этапом работы является уяснение смысла уравнения I-го закона Кирхгофа, для чего должны быть открыты пробковые краны на всех участках сети. Преподаватель должен открыть водоразбор из узлов 16 и 17 так, чтобы движение воды происходило от узла 16 к узлу 17, а затем предлагает студентам составить уравнение I-го закона Кирхгофа для узла 16, причем, расход в узле 16 предлагается замерить объемным способом. На доске составляется схема работы узла 16:



Студенты (один из них составляет уравнение на доске) должны записать показания пьезометров Π_{15} , Π_{16} , Π_{17} , Π_{19} , определить направления движения воды на участках, примыкающих к узлу, проставить на схеме узла стрелки, а затем составить уравнение:

$$q_{16} - q_{16-17} + q_{16-19} + q_{16-15} - Q_{16} = 0.$$

Двое студентов (с секундомером и мерным цилиндром) должны замерить объем W , см^3 , и время t , с, при наборе воды в цилиндр из узла 16, а затем вычислить на доске величину Q_{16} .

Следующим этапом работы является самостоятельное построение студентами пьезометрической линии по контуру 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-1 по показаниям пьезометров.

Затем студенты должны построить вторую пьезометрическую линию по контуру 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-1 по данным, полученным с ЭВМ.

В заключении работы студенты должны сформулировать выводы, дав ответы на вопросы:

1. Как по уклону пьезометрической линии определить направление движения воды в трубе?
2. Почему на отдельных участках кольцевой сети пьезометрическая линия имеет большой уклон, а на некоторых малый?
3. Как от изменения местоположения точки водоразбора может измениться работа отдельных участков кольцевой сети?
4. Почему наблюдается расхождение между величинами пьезометрических напоров по данным АВМ и ЭВМ?

РАБОТА КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ ПРИ ВОДОНАПОРНОЙ БАШНЕ-КОНТРЕЗЕРВУАРЕ.

Целью проведения работы является уяснение студентами следующих вопросов:

1. Работа сети в период максимального водопотребления.
2. Образование зон питания при максимальном водоразборе.
3. Работа сети в период транзита.

Перед началом работы преподаватель должен напомнить студентам об особенностях работы системы с башней-контрезервуаром, объясняя, почему необходимо рассматривать отдельно случаи работы при транзите и максимальном водопотреблении.

Студенты составляют схемы работы сети при двух режимах.

водопровода, добиваясь слабого перелива через верхнюю переливную трубу.

Студенты измеряют:

1. Секундный расход, в узлах 9 и 11.
 Q_9 и Q_{11} , л/с – по показаниям мерного сосуда и секундомера.
2. Секундный расход Q_6 , л/с, поступающий в сеть из башни, по показаниям дифференциального пьезометра, подключенного к шайбе, имеющей тарировочную кривую.
3. Показания пьезометров в каждом узле сети и баке водонапорной башни. После производства замеров подачу подпитки бака необходимо прекратить и студентам продемонстрировать процесс убывания воды в башне.

Кроме того, в таблицу студенты заносят величины полного сопротивления S_{ik} каждого из участков сети, которые им должен дать преподаватель. Зная направление движения воды по участкам и узловых расходы в узлах 9 и 11, студенты должны самостоятельно расписать величины расходов воды по участкам q_{ik} ; причем расходы на участках, где вода движется по часовой стрелке, записываются со знаком “+”, а расходы на участках, где вода движется против часовой стрелки, записываются со знаком “-”.

Полученные значения величин q_{ik} ; S_{ik} ; $H_{n1,1}$ передаются в вычислительный зал для вычисления величин пьезометрических напоров в узлах сети на ЭВМ. Итоги расчета на ЭВМ заносятся в таблицу. По результатам замеров:

1. Должен быть вычислен расход, потребляемый городом в период максимального хозяйственного водопотребления:

$$Q_{\Gamma} = Q_9 + Q_{11} = Q_{н.с.} + Q_6; \text{ л/с}$$

$$Q_{н.с.} = Q_9 + Q_{11} - Q_6; \text{ л/с}$$

Значение расхода $Q_{н.с.}$ следует вычислить по вышеуказанной формуле, а не брать по показаниям водомера, поскольку из-за погрешности водомера может не получиться баланс расходов в сети, что помешает получению результатов на ЭВМ.

2. Строится пьезометрическая линия по внешнему контуру 3-4-5-6-7-8-9-10-Б-10-11-12-13-14-1-2-3.

3. Строится вторая пьезометрическая линия по внешнему контуру 3-4-5-6-7-8-9-10-Б-10-11-12-13-14-1-2-3 по данным, полученным с ЭВМ.

4. На схеме сети стрелками проставляются направления движения воды на каждом участке сети и проводится граница между зонами питания от насосов и башни.

2. Строится пьезометрическая линия по внешнему контуру 3-4-5-6-7-8-9-10-Б-10-11-12-13-14-1-2-3.
3. На схеме сети стрелками проставляются направления движения воды на каждом участке сети.

В заключении работы студенты должны сформулировать выводы, дав ответы на вопросы:

1. Какой период считается периодом максимального транзита в башню?
2. Отличаются ли по своей конфигурации пьезометрические линии, построенные по внешнему контуру кольцевой сети, для случаев “башня в начале сети с расходом в узле 10” и “транзите в башню-контррезервуар без расходов в узлах”?
3. Почему рекомендуется за основной расчётный случай для кольцевой сети с башней-контррезервуаром принимать период транзита в башню?
4. В чем отличие конфигурации пьезометрической линии для случаев “транзит” и “максимальный хозяйственный расход” при башне-контррезервуаре?
5. Как по конфигурации пьезометрической линии указать границу зон питания от насосов и башни в период максимального хозяйственного водопотребления?

РАБОТА КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ В ПЕРИОД ПОЖАРА ПРИ МАКСИМАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕННОМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИИ.

Целью проведения работы является выяснение студентами следующих вопросов:

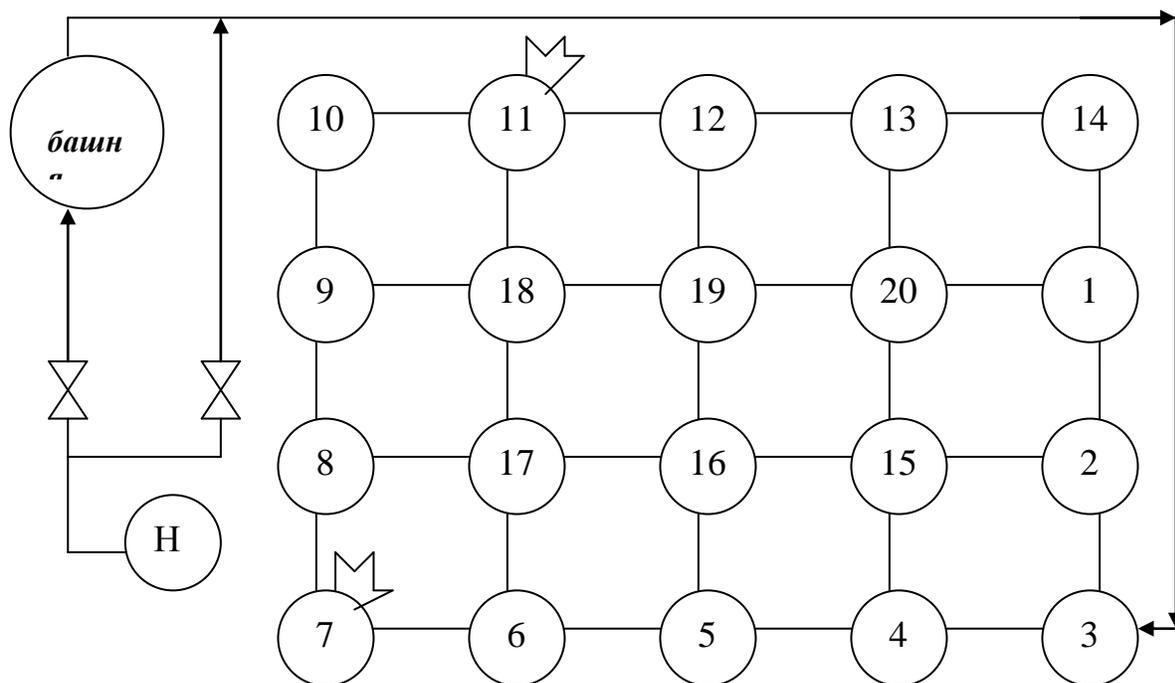
1. Работа сети при башне в начале сети. Роль башни.
2. Работа сети при башне-контррезервуаре. Роль башни.
3. Разница в работе сети при режимах без пожаротушения и с пожаротушением при схемах “башня в начале сети” и “башня – контррезервуар”.

Перед началом работы на установке преподаватель должен напомнить студентам следующие положения:

1. Принципиальная разница в режимах подачи и потребления воды при схемах “башня в начале сети” и “башня – контррезервуар” для работы без пожаротушения и при пожаротушении (начертить на доске схему).
2. Работа башни во время пожара (дать короткое пояснение без вычерчивания пьезометрических линий).

Преподаватель должен подробно объяснить, а студенты составить схемы работы установки при двух режимах подачи воды.

Схема №1. Работа системы при башне в начале сети.



При подготовке установки лаборант должен включить ее по схеме “башня в начале сети” (при этом башня должна быть наполнена водой до уровня верхней переливной трубы) и открыть все разборные краны на небольшие расходы с тем, чтобы через переливную трубу шёл значительный расход воды. Подача воды в сеть осуществляется только через узел 3. Обводная линия у водомера должна быть закрыта. Данная схема соответствует максимальному хозяйственному водоразбору.

Студенты измеряют:

1. Общий секундный расход, подаваемый из башни через узел 3 в сеть Q_B ; л/с – по показаниям водомера и секундомера.
2. Показания пьезометров в каждом узле сети и баке водонапорной башни.

По результатам замеров должна быть построена пьезометрическая линия по внешнему контуру 3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-1-2-3.

Вторым этапом работы при схеме №1 является имитация пожаротушения, для чего в узлах 7 и 11 должны быть открыты повышенные расходы. При этом следует проследить за тем, чтобы из всех остальных узлов продолжался водоразбор, а через верхнюю переливную трубу тонкой струей шла вода.

Студенты измеряют:

1. Общий секундный расход, подаваемый через узел 3 в сеть от башни Q_B ; л/с - по показаниям водомера и секундомера.
2. Показания пьезометров в каждом узле сети и баке водонапорной башни.

По результатам замера должна быть построена пьезометрическая линия по внешнему контуру 3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-1-2-3.

Построение этой линии следует вести на том же графике, что и ранее построенная линия (без пожаротушения). Следует обратить внимание студентов на резкое падение напора в точках пожаротушения, что может привести к невозможности получения нормативного напора для тушения пожара.

Третьим этапом работы по схеме №1 является пожаротушение во время максимального хозяйственного водопотребления при отключенной башне. Башня должна быть выключена, и вода от насосов подается через водомер в узел 3.

Лаборант должен следить за тем, чтобы высота столба жидкости пьезометре узла 3 не превышала допустимую на шкале пьезометра.

Студенты измеряют:

1. Общий секундный расход, подаваемый через узел 3 в сеть от насосов $Q_{нас.}$, л/с – по показаниям водомера и секундомера.
2. Показания пьезометров в каждом узле сети.

По результатам замеров должна быть построена пьезометрическая линия по внешнему контуру 3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-1-2-3. Построение этой линии ведется на том же графике, что и ранее построенная линия (без пожаротушения).

Следует обратить внимание студентов на целесообразность отключения водонапорной башни во время пожаротушения, оценивая вместе со студентами совмещенный график пьезометрических линий, построенных по всем трем этапам работы установки по схеме № 1.

В заключение работы студенты должны сформулировать выводы, дав ответы на вопросы:

1. Какую роль выполняет водонапорная башня в системе водоснабжения?
2. Что происходит с напорами в узлах сети до начала пожаротушения и во время пожаротушения? Особо сравнить эти величины в точках пожаротушения?
3. Следует ли отключать башню при пожаротушении? Почему?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН СВОБОДНЫХ НАПОРОВ В УЗЛАХ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ ПРИ НЕРОВНОМ РЕЛЬЕФЕ МЕСТНОСТИ.

Работа выполняется по схеме “Башня в начале сети” с подачей воды в узел 1. При подготовке установки лаборант должен поднять трубную решетку со стороны узла 1 на высоту 200-300 мм, фиксируя наклонное положение плоскости сети.

Бак башни должен быть наполнен до уровня верхней переливной трубы, этот уровень поддерживается во время проведения работы. Водоразборные краны должны быть закрыты.

Перед началом работы преподаватель должен напомнить студентам следующие положения:

1. Свободный напор – это разность пьезометрической отметки и отметки поверхности земли;
2. Максимально-допустимый свободный напор в городской водопроводной сети – 60 м;
3. Нормальное водопотребление возможно лишь в том случае, если перед водоразборным устройством обеспечивается свободный напор не менее минимального нормативного.
4. Излишний свободный напор перед приборами невыгоден экономически (энергия гасится путем увеличения степени закрытия крана) и ведет к утечкам воды.

Первым этапом работы является нивелировка сети. Двое студентов с помощью жидкостного уровня должны перенести отметку середины ребра верхней плоскости кубика в каждом узле на шкалу пьезометрического щита. Остальные студенты должны записывать эти отметки (отметки поверхности земли в узлах) в таблицу. Поскольку все

водоразборные краны закрыты, то уровни всех пьезометров одинаковы, отметку этих уровней следует записать для всех узлов и вычислить величины $H_{св}$ для случая отсутствия водоразбора.

Преподаватель должен обратить внимание студентов на то, что в отдельные (ночные) часы суток величины $H_{св}$ достигают максимального значения, что никакой пользы не приносит.

Вторым этапом работы является случай минимального водопотребления (студенты должны открыть (незначительно) все водоразборные краны). Записываются показания пьезометров.

Третьим этапом работы является случай максимального хозяйственного водопотребления (Студенты должны открыть максимально возможное водопотребление при условии поддержания уровня в баке башни. При этом следует открыть большие расходы в узлах 3 и 10). Записываются показания пьезометров.

Студенты должны вычислить величины свободных напоров во втором и третьем этапах работы и построить профиль по внешнему кольцу сети, на котором указывают поверхность земли, а затем, откладывая от неё величины свободных напоров, получают: прямую линию свободных напоров при отсутствии водоразбора; ломаные – 1-линию свободных напоров при максимальном водоразборе, 2-линию свободных напоров при максимальном водоразборе.

Преподаватель, анализируя характер графика, должен задать этажность застройки, сообщая масштаб пьезометрического столба с таким расчетом, чтобы студенты вспомнили нормативы п.3.27, СНиП 2.04.02-84* высчитали требуемый свободный напор, в заданном масштабе нанесли ломаную линию требуемых свободных напоров на общий график и

определяли зону, в которой в часы максимального хозяйственного водоразбора наступает отказ (зону заштриховать).

Контрольные вопросы:

1. Почему, в каких частях города, и в какие часы суток жители верхних этажей не получают воду?
2. Что следует сделать, чтобы не допустить возникновения отказа в водообеспечении?
3. Почему СНиП в часы минимального водопотребления допускает соблюдать напор не 4, а 3 м на каждый этаж, кроме первого?
4. Почему рекомендуется для отдельных высоких зданий или группы их, расположенных в повышенных местах, применять местные установки для повышения напора?

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ В СЛУЧАЕ АВАРИИ.

Цель работы: ознакомление студентов с режимом работы кольцевой водопроводной сети в случае аварии; уяснение ими, где и почему при возникновении аварии наступает отказ.

Отказом мы называем такие точки сети, в которых после возникновения аварии наблюдается нехватка напора или расхода.

Перед началом работы преподаватель должен объяснить студентам, где и на каком участке сети авария наиболее опасна для водопотребителей города. Такими участками являются участки, примыкающие к узлу присоединения кольцевой водопроводной сети к водоводам от насосной станции II подъема, т.к. при возникновении аварии на этих участках наибольшее число водопотребителей страдает от полной или частичной нехватки воды.

В данной работе лабораторная установка должна быть включена по схеме “башня в начале сети” с подключением бака водонапорной башни в точке 1. В бак постоянно должен поступать подпиточный расход воды, через переливную трубу в течение всей работы должен наблюдаться перелив.

Первым этапом работы является имитация обычного (доаварийного) потребления воды городом. При этом необходимо соблюдать следующие правила:

- 1 - кран в точке 7 должен быть почти полностью открыт;
- 2 - из каждого узла сети должен забираться значительный расход воды;
- 3 - через переливную трубу должен наблюдаться незначительный перелив.

Студенты измеряют:

- 1 - узловой расход в каждом из узлов сети;
- 2 - пьезометрический напор в каждом узле сети;
- 3 - пьезометрический напор в каждом узле сети.

Для более быстрого проведения работы желательно создать 3 бригады студентов, каждая из которых состоит из 2-х человек. 1-я бригада должна измерять расход в узлах 2,3,4,5,6,7,8,17,16,15; 2-я бригада – в узлах 1,20,19,18,9,10,11,12,13,14; 3-я бригада снимает показания пьезометров. Расход в узле определяется с помощью мерного цилиндра и секундомера:

$$Q = W/t, \text{ л/с.}$$

Для быстрого проведения замеров следует определять объем воды, которая поступит в мерный сосуд за $t = 10$ сек. Тогда:

$$Q = 0,1 * W,$$

т.е. не требуется громоздких вычислений. Если расход воды в узле значительный, следует определить объем воды, которая поступит в мерный сосуд за 5 сек. Тогда:

$$Q = 0,2 * W.$$

Вторым этапом работы является имитация аварии на участке 1-2. Для этого пробковый кран на этом участке должен быть повернут на 90° (90 градусов). Вода по этому участку не идет. Уменьшение расходов в узлах, лежащих на магистралях 2-8, 3-7, наблюдается визуально. На это следует обратить внимание студентов. Студенты измеряют:

- 1 – узловой расход в каждом из узлов сети;
- 2 - пьезометрический напор в каждом узле сети;
- 3 – сумму узловых расходов по всей сети.

Для того чтобы наибольшее число студентов принимало участие в проведение лабораторной работы, следует полностью изменить состав бригад.

Необходимо обратить внимание студентов на то, что сумма узловых расходов воды до аварии превышает сумму узловых расходов воды после аварии.

Третий этап работы: студенты должны определить те узлы, в которых очень сильно изменился узловой расход. Путем дополнительного открытия кранов студенты должны попытаться восстановить доаварийные расходы воды в этих узлах.

Четвертый этап работы. Студенты измеряют:

- 1 - узловые расходы в каждом из узлов сети;
- 2 - пьезометрический напор в каждом узле сети;
- 3 - сумма узловых расходов по всей сети.

По результатам замеров на схеме сети должны быть построены линии равных давлений для 1-го и 4-го случаев.

По полученной пьезокарте должна быть определена зона частичного или полного отказа в водообеспечении в результате возникновения аварии. Зона отказа заштриховывается. Должна быть проанализирована работа участков 1-14, 1-20, 1-2 до и после аварии.

Контрольные вопросы:

1. Какие меры предусматривают СНиП 2.04.02-84* в случае возникновения аварии в кольцевой водопроводной сети?
2. Авария на каких участках сети наиболее тяжело скажется на водообеспечении города?
4. Как изменяются узловые расходы до и после аварии в узлах сети?