Руководство пользователя

по программе «Водоснабжение» версии 1.0

“Инструкция по проведению расчетов и анализа”

2004

Руководство пользователя

по программе «Водоснабжение»
версии 1.0

Инструкция по проведению расчетов и анализа

Copyright © 2014-2015 г. ООО «ШАХТЭКСПЕРТ-Системы»

Copyright © 2004-2014 г. ООО «ИнформТБУголь»

Copyright © 2001-2004 г. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Григорьева Н.В.

Часть текста, приведенного в данном документе, взята из оригинальной инструкции по эксплуатации электронных ключей Guardant © Компания «Актив»

Авторы оставляют за собой право модификации и усовершенствования своей продукции по мере необходимости. Данное руководство описывает продукт по состоянию на время публикации и может не отражать его последующие изменения.

Все использованные торговые марки и названия программных продуктов являются торговыми марками или зарегистрированными торговыми марками соответствующих фирм.

Оглавление

1. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И КОНФИГУРАЦИИ ТРУБОПРОВОДА 7

Пожарно-оросительный трубопровод 7
Диаметр и толщина стенок 7
Коэффициент местных сопротивлений 7
Сопротивление труб 8
Допустимые конфигурации 8
Насосы 8
Гидроредукторы 8
Резервуары 9
Пример 9
Краны 10
Задвижки 11
Все оборудование 11

2. ПРОВЕРКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ 12

Запуск проверки исходных данных 12
Поиск и исправление ошибок 12
Проверка топологии шахты 13
Алгоритмы проверки 13
Проверка трубопровода 14
Алгоритмы проверки 15
Проверка насосов 17
Проверка редукторов 17
Проверка резервуаров 17
Проверка изолированности устройств 17

3. ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ 20

Запуск расчета 20
Используемая идеология 21
Алгоритмы 21
Расчет водораспределения 21
Расчет узловых давлений 23
Комментарии к расчету узловых давлений 23

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ 26

Инструменты анализа 26
Представление результатов 26
Таблица «Водопроводная сеть» 27
Окно «Анализ результатов» 29
Вызов и работа с окном 29
Пример проведения анализа 1 30
Возможные сообщения 31
Пример проведения анализа 2 34
Технологическая схема 35
Вывод схемы 35
Использование параметров 35
Режимы раскраски 38
Пример проведения анализа 3 38
Топологическая схема 40
Техническая статистика 41
Общая информация 41
Использование фильтров 42
Замечания по узловым давлениям 43

Пример проведения анализа 4.....43
Пример проведения анализа 5.....43
Пример проведения анализа 6.....44

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СНИП 2.04.02-84..... 46

1. Расчетные параметры и конфигурации трубопровода

В этом разделе описаны параметры пожарно-оросительного трубопровода и устанавливаемого на нем оборудования, влияющие на результаты расчета. Также описаны конфигурации водопроводной сети, учитываемые в программе при расчете узловых давлений, что важно, поскольку вода имеет вес.

Пожарно-оросительный трубопровод

Пожарно-оросительный трубопровод имеет несколько параметров, влияющих на результаты расчета: диаметр и толщина стенок, коэффициент местных сопротивлений и собственное сопротивление. Все эти параметры доступны для редактирования в окне документа и окне «Трубопровод». Параметры указываются для каждой отдельной трубы.

Диаметр и толщина стенок

Эти характеристики являются наиболее важными, поскольку они определяют пропускную способность каждой конкретной трубы. Чем больше *диаметр* трубы, тем больше воды эта труба может через себя пропустить. В настоящее время наиболее часто используются трубы с внутренним диаметром 100, 150 или 200 мм.

В программе «Водоснабжение» в качестве диаметра указывается величина *внешнего диаметра*. А внутренний диаметр трубы автоматически рассчитывается по простой формуле:

$$D_{внутр.}=D_{внеш.}-2\cdot d,$$

где:

$D_{внутр.}$ – внутренний диаметр;

$D_{внеш.}$ – внешний диаметр;

d – толщина стенок.

Если толщина стенок неизвестна, то допускается указывать для нее нулевое значение. В этом случае $D_{внутр.} = D_{внеш.}$

Коэффициент местных сопротивлений

Эта параметр используется для учета дополнительного сопротивления, возникающего на стыках труб, поворотах, в местах установки кранов, задвижек и других местах, где возникают различного рода неровности на внутренней стенке трубы. Наиболее часто для этого коэффициента используются значения *1,05*; *1,10* или *1,15*, что соответствует 5-, 10- и 15-ти процентному увеличению сопротивления. В программе «Водоснабжение» при расчетах на коэффициент местных сопротивлений умножается длина трубы.

Сопротивление труб

Сопротивление каждой трубы в программе «Водоснабжение» рассчитывается через величину ее *удельного сопротивления*. Последнее рассчитывается по формулам, указанным в СНИП 2.04.02-84, либо для него используется фиксированное значение, введенное пользователем самостоятельно, что не противоречит вышеуказанному СНИП. Текст СНИП приведен в Приложении 1.

Допустимые конфигурации

В описываемой версии программы допустимы лишь простейшие конфигурации трубопровода: в каждой выработке может быть только один трубопровод, на пересечении нескольких выработок все трубы в сопряжении соединяются. Более сложные конфигурации, в т.ч. несколько труб в выработок и произвольное соединение труб в сопряжениях станут возможными в следующих версиях программы.

Насосы

У насосов параметрами, влияющими на водораспределение в сети, являются создаваемые им *напор* и *дополнительное сопротивление*. Оба параметра определяются из *характеристики* насоса, указываемой при его установке в трубопроводную сеть. В программе «Водоснабжение» напору соответствует коэффициент *A*, сопротивлению — коэффициент *B* (по аналогии с характеристиками вентиляторных установок). Но поскольку коэффициент *B* является величиной достаточно малой, относительно общего сопротивления трубопровода, то в расчетах он не используется.

Кроме создаваемого напора для насоса важно его положение в трубопроводной сети. Если насос установлен в поверхностном узле, то в терминах программы он называется насосом-источником, в противном случае насосом-повысителем (рис. 1.1). Насос-источник должен быть всегда включенным.

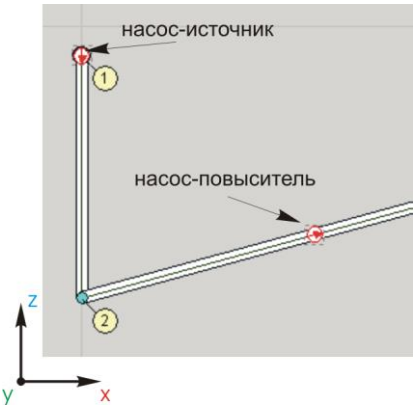


Рис. 1.1. Насос-источник и насос-повыситель.

Гидроредукторы

Ситуация с гидроредукторами аналогична ситуации с насосами. Здесь также основными параметрами являются создаваемые гидроредуктором *перепад давления* и *сопротивление*. Однако если насосы давление повышают, то редукторы его понижают, поэтому их сопротивление весьма велико. Величина сопротивления гидро-

редуктора меняется в зависимости от количества проходящей через него воды (расхода), поэтому, в расчетах участвует *вся* характеристика, указываемая при установке редуктора в сеть, в отличие от насоса, у которого в расчетах участвует только величина напора.

Кроме того, редукторы пропускают воду только в одном направлении, поэтому к важным параметрам гидроредуктора можно отнести направление его действия. Например, при неправильной установке этого устройства в трубопроводную сеть часть открытых кранов может оказаться «отрезанными» от источника. В этом случае программа выдаст сообщение об ошибке и расчет будет прерван.

Резервуары

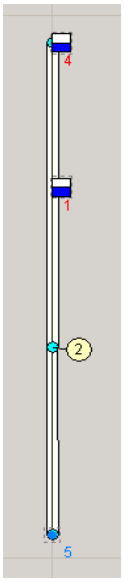
Наиболее важной характеристикой резервуара (бака) является его положение в трубопроводной сети. В программе «Водоснабжение» резервуары используются для нескольких целей:

1) для обозначения поверхностных и подземных источников воды;
2) для сброса статического давления в трубопроводе (разгрузочные резервуары, баки разрыва струи).

Чтобы резервуар расценивался как источник воды, необходимо установить его на конец трубы. Причем для резервуара не требуется, чтобы этот конец совпадал с поверхностным узлом. Если вода в месте установки резервуара-источника подается под напором, то для резервуара в программе необходимо установить переключатель «Подача воды по обводному пути» и указать давление на входе в трубопроводную сеть. Если указанный переключатель будет выключен, то необходимо указать подпитку бака, чтобы можно было оценить время его возможного опустошения.

При установке бака не на конце трубопровода он рассматривается как разгрузочный резервуар, предназначенный для снятия статического давления в трубопроводе. Здесь важную роль играет величина максимальной подпитки. Следующий пример показывает это.

Пример



На рисунке слева изображена простая модельная схема с двумя резервуарами (баки *4* и *1*) и одним потребителем (кран *5*). Бак *4* установлен на конце трубы, поэтому он является источником. Резервуар *1* установлен в середине трубы, поэтому он является разгрузочным. Кран *5* потребляет воду с расходом 60 м^3/ч.

Вариант 1. Пусть максимально возможная подпитка резервуара *1* составляет 80 м^3/ч. Тогда результаты по участкам будут следующие (здесь Q_{m-n} –величина расхода на участке m-n):

Q_{2-5} = 60м^3/ч Q_{1-2} = 60м^3/ч Q_{4-1} = 60м^3/ч.

Вариант 2. Пусть теперь подпитка резервуара *1* составляет 50 м^3/ч. Тогда результаты изменятся следующим образом:

Q_{2-5} = 60м^3/ч Q_{1-2} = 60м^3/ч Q_{4-1} = 50м^3/ч.

Во втором случае в окне «Анализ результатов» будет содержаться оценка времени возможного опустошения бака *1*.

Если у разгрузочного резервуара включить опцию «подача воды по обводной трубе», то программа в расчетах проигнорирует бак и «подаст» воду напрямую из вышележащего трубопровода в нижележащий.

Независимо от того, как установлены резервуары (на конце трубы или нет), следуют учитывать, что они являются сообщающимися сосудами, поэтому при разнице высотных отметок между ними возможен перелив воды. Программа в этом случае выдается сообщение о переливе в окне «Анализ результатов». Поскольку вода имеет значительный вес, то величина расхода при переливе может быть весь большой, что соответствует выплескиванию воды из емкости. На практике вода в системе обычно быстро уравновешивается и движение прекращается (если отсутствует соответствующая подпитка с высокой стороны). В программе «Водоснабжение» решается стационарная задача, и уравновешивание воды в системе отследить невозможно. При анализе результатов пользователь должен этот фактор учитывать. Предотвратить перелив воды можно, установив между двумя бака закрытую задвижку.

Настоящая версия программы «Водоснабжение» не поддерживает водоотлив и другие варианты, при которых вода отсасывается из резервуара в направлении снизу вверх. При попытке рассчитать подобные конфигурации будет выдано сообщение об изоляции резервуара от источника. На следующем рисунке приведены принципиальные схемы установки водопроводного оборудования, учитываемые и не учитываемые программой, а ниже даны комментарии.

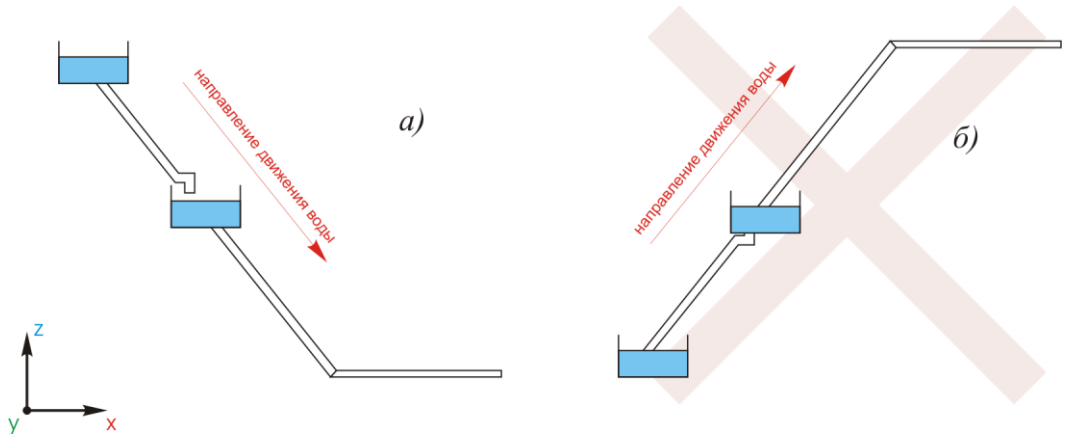


Рис. 1.2. Каскадная подача воды: а) сверху вниз, б) снизу вверх.

Рис. 1.2.а. Здесь подача воды осуществляется сверху вниз через разгрузочный резервуар. Такая конфигурация в программе допустима.

Рис. 1.2.б. Здесь подача воды осуществляется снизу вверх через промежуточный накопительный резервуар посредством повысительного насоса и другим способом. Такая конфигурация в настоящей версии программы не поддерживается. При попытке расчета будет выдано сообщение об изоляции нижнего бака от источника.

Краны

Единственный расчетный параметр крана — величина расхода воды при ее потреблении. Расход задается, исходя из нужд на конкретном участке шахты. Остальные параметры на расчет не влияют.

Для проведения анализа для каждого открытого крана в качестве результата выдается расчетный диаметр дроссельной шайбы (если таковая вообще требуется). Все расчетные и фактические диаметры шайб содержаться в списке Дроссельные шайбы в окне документов.

Если на открытом кране давление воды в результате расчета составит менее 6 Атм (60 м вод.ст.), то такой кран будет представлен в списке Недостаток давления под список дроссельных шайб.

Задвижки

Задвижки относятся к запорной арматуре. Он могут быть открыты или закрыты, других параметров нет. Задвижки используются для управления распределением воды в трубопроводной сети.

Все оборудование

Для возможности сравнения результатов расчета и фактических давлений для каждого устройства имеется параметр «Показания манометра». Сюда пользователь должен самостоятельно заносить значения показаний соответствующего манометра. Для насосов и гидроредукторов нужно заносить два значения: давление до устройства и после него.

2. Проверка исходных данных

В этом разделе описаны алгоритмы, используемые при проверке топологии выработок и пожарно-оросительного трубопровода, а также методы поиска и исправления ошибок.

Запуск проверки исходных данных

Процедура проверки исходных данных разбита на две части:

1) проверка топологии сети выработок;

2) проверка сети пожарно-оросительного трубопровода.

Вторая часть проверки выполняется только при условии успешного окончания первой, т.е. если на первом этапе была найдена хотя бы одна ошибка, проверка трубопровода не производится.

Запуск проверки исходных данных производится автоматически перед каждым расчетом. Кроме того, пользователь может самостоятельно запустить как проверку топологии выработок, так и проверку трубопроводной сети. В первом случае в главном меню нужно выбрать Шахта⇒Проверить топологию, во втором — Расчет⇒Проверить трубопровод (`<Ctrl+F9>`).

Поиск и исправление ошибок

В ходе проведения проверок все информационные сообщения и сообщения об ошибках выводятся в Окне сообщений, расположенном в нижней части Окна документа (рис. 2.1).

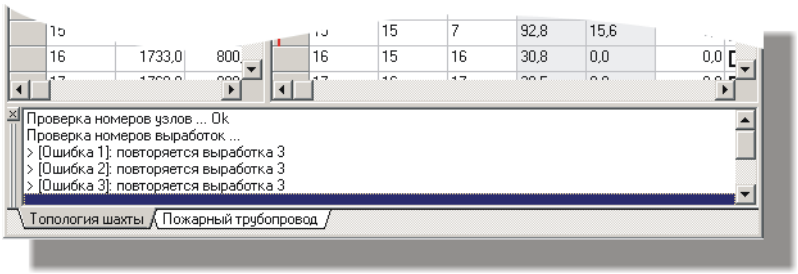


Рис. 2.1. Окно сообщений

Если в ходе проверок ошибок выявлено не было, то окно остается скрытым. Показать его можно, выбрав в главном меню Вид⇒Сообщения или нажав `<Shift+Ctrl+M>`.

Если ошибки были найдены, то для поиска возможного источника достаточно дважды щелкнуть мышью на соответствующей строке. Можно также воспользоваться контекстным меню, для чего нужно щелкнуть правой кнопкой мыши в окне сооб-

щений (рис. 2.2). Там же (в меню) содержатся команды перехода на топологическую схему к источнику ошибки (Перейти на схему) и очистки списка сообщений.

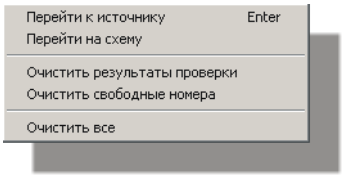


Рис. 2.2. Контекстное меню окна сообщений

При переходе к источнику ошибки возможны два варианта:

1) если источником является узел или ветвь, то результатом перехода будет установка указателя в соответствующей таблице (таблице узлов или ветвей);

2) если источником является устройство, то в результате перехода откроется окно редактирования устройства.

Обратите внимание, что не всегда можно точно установить причину ошибки. Так, например, в случае изолированного крана причиной может стать любая закрытая задвижка или неправильно установленный гидроредуктор, т.к. и то и другое устройство могут отсекать целую область трубопроводной сети от источника воды. В подобных случая программа укажет *место ошибки*, а ее причину пользователь должен установить самостоятельно.

Кроме ошибок в списке сообщений вы можете увидеть строки, начинающиеся со слова «Предупреждение». Их наличие носит рекомендательный характер и не является критическим для проведения расчета.

Проверка топологии шахты

Ниже перечислены действия и алгоритмы, используемые при проверке сети выработок шахты. Здесь же приведены сообщения об ошибках с указаниями причин и путей исправлений.

Алгоритмы проверки

Проверка топологии сети горных выработок состоит из ряда алгоритмов, каждый из которых отвечает за проверку определенных параметров. Ниже эти алгоритмы перечислены в последовательности их использования в программе. К каждому алгоритму дано краткое пояснение, перечислены возможные сообщения и методы поиска и исправления соответствующей ошибки.

Алгоритм	Проверка номеров узлов
Комментарий	Узлы не могут принимать отрицательные и нулевые номера.
Сообщение об ошибке **Поиск ошибки**	> неверный номер узла Дважды щелкнуть на строке с сообщением, изменить номер узла на положительный. Для поиска свободных номеров использовать кнопку .
Алгоритм	Проверка номеров ветвей
Комментарий	Ветви не могут принимать отрицательные и нулевые номера.
Сообщение об ошибке	> неверный номер ветви
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, изменить номер ветви на положительный. Для поиска свободных номеров использовать кнопку .

Алгоритм	Проверка уникальности номеров узлов и ветвей
Комментарий	Не может существовать несколько узлов или несколько выработок с одинаковыми номерами.
Сообщение об ошибке	> повторяется узел *N* > повторяется выработка *N*
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, изменить номер узла (ветви). Для поиска свободных номеров использовать кнопку .
Алгоритм	Проверка длин выработок
Комментарий	Длины всех выработок должны иметь значения больше нуля. Если выработка имеет нулевую длину, то это причиной этому может быть следующее: – совпадают номера начального и конечного узлов; – совпадают координаты начального и конечного узлов; – отсутствует узел, указанный в качестве начального или конечного.
Сообщение об ошибке	> выработка *N* — длина = 0 здесь и далее “*N*” — это номер, указываемый в программе.
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением. В зависимости от причины, выполнить одно из следующих действий: – изменить номера начального и/или конечного узлов ветви; – изменить координаты начального и/или конечного узлов ветви; – добавить в топологию узел с номером, указанным в качестве начального или конечного для ветви, или изменить адресацию ветви (начальный или конечный номер).
Алгоритм	Проверка инцидентностей ветвей.
Комментарий	Для каждого узла должно быть от одной до шести смежных ветвей. С поверхностным узлом может быть смежной только одна ветвь, поскольку в реальности на поверхность в одном месте может выходить только одна выработка. При прокладке поверхностного трубопровода по фиктивным выработкам следует устанавливать признак поверхностности только для последнего узла.
Сообщение об ошибке	Возможны три сообщения: > найден изолированный узел *N* > с поверхностным узлом *N* соединено более 1-й выработок > с узлом *N* соединено более 6-ти выработок > найдена изолированная ветвь *N*
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением. В зависимости от причины, выполнить одно из следующих действий: – проверить правильность топологии в районе изолированного узла; удалить изолированный узел либо соединить его с другим узлом выработкой; – удалить лишние смежные с поверхностным узлом ветви, предварительно проанализировав конфигурацию их соединений, либо снять признак поверхности с указанного узла; – изменить конфигурацию выработок в районе узла с большим количеством инцидентных ветвей; – удалить изолированную ветвь или соединить ее с основной сетью. Нужно отметить, что данные рекомендации весьма общие, в различных ситуациях могут быть различные действия.

Проверка трубопровода

Проверка трубопровода состоит также из ряда алгоритмов, выполняемых последовательно и применяемых к трубам каждой выработки. На момент создания этого документа в программе «Водоснабжение» была реализована проверка только пожарно-оросительного трубопровода. Трубы других типов не проверяются.

Контроль целостности пожарно-оросительного трубопровода производится только при успешном завершении проверки топологической сети выработок. Кроме *ошибок* в ходе проверки могут возникать *предупреждения*, несущие информацию, на

которую нужно обратить внимание. Наличие предупреждений не является критичным для расчетов.

В проверку трубопровода также входит проверка установки и параметров устройств.

Алгоритмы проверки

Алгоритм	Проверка уникальности номеров устройств
Комментарий	Все устройства, устанавливаемые на пожарно-оросительный трубопровод, должны иметь между собой и узлами уникальные номера. Это означает, что не может существовать пары устройств или пары «устройство-узел» с одинаковыми номерами.
Сообщение об ошибке	Возможно появление двух сообщений: > Номер устройства *N* в выработке *M* дублирует номер узла > Номер устройства *N* в выработке *M* дублирует номер другого устройства в выработке *K* здесь и далее “*N, M, K*” — это номера, указываемые в программе.
Поиск ошибки	Для перехода к устройству с повторяющимся номером дважды щелкнуть на строке с сообщением. Изменить номер устройства или узла соответствующим образом. Для поиска уникального номера используйте кнопку в окне редактирования параметров устройства или таблице узлов. Помните, что при изменении номера узла необходимо изменить начальные или конечные номера смежных с ним ветвей.
Алгоритм	Проверка длины труб
Комментарий	Все трубы должны иметь длину больше нуля.
Сообщение об ошибке	> выработка *N* - длина участка трубопровода = 0
Поиск ошибки	Для поиска источника ошибки дважды щелкнуть на строке с сообщением. Причины нулевой длины трубы может быть две: 1) длина выработки, в которой пролегает труба, равна нулю; 2) совпадают начало и конец самой трубы. Первый случай обнаруживается еще на стадии проверки топологии выработок, второй — на стадии проверки трубопровода. Для исправления ошибки нужно разнести положения начала и конца трубы в окне «Трубопровод»
Алгоритм	Проверка фиксированного сопротивления трубы
Комментарий	Значения фиксированных сопротивлений труб (там, где они используются) должны быть больше нуля
Сообщение об ошибке	> выработка *N* - удельное сопротивление трубы = 0
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, изменить значение фиксированного сопротивления или режим расчета удельного сопротивления.
Алгоритм	Проверка изолированности трубы
Комментарий	Наличие отдельных изолированных труб не допускается, но возможно существование отдельных изолированных подсетей.
Сообщение об ошибке	> выработка *N* - трубопровод изолирован
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, убрать изолированную трубу или соединить ее с основной сетью.
Алгоритм	Проверка установки кранов, задвижек или источников на концах труб
Комментарий	На конце трубы должно обязательно быть установлено одно из следующих устройств: кран, закрытая задвижка, насос, резервуар. Комментарии следующие: – *кран* может быть открытым или закрытым; – *задвижка* должна быть обязательно закрытой, иначе проём трубы становится полностью открытым; – в случае установки *насоса* труба должна оканчиваться в поверхностном узле. Насос рассматривается как источник; – резервуар должен устанавливаться на конец трубы так, чтобы труба находилась *под* ним. Случай, когда труба находится выше резервуара, рассматривается как конфигурация отсоса воды снизу вверх, следовательно будет выдано сообщение об изолированности резервуара от источника (см. ниже).
Сообщение об ошибке	> выработка *N* - на конце трубы отсутствуют насос, закрытая задвижка,

	кран или резервуар(БРС)
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, установить соответствующее устройство.
Алгоритм	Проверка положений устройств
Комментарий	Положения устройств внутри выработки должны быть различными
Сообщение об ошибке	> выработка N - совпадают положения устройств
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, изменить положения устройств.
Алгоритм	Проверка диаметров труб
Комментарий	Диаметры труб должны быть больше нуля
Сообщение об ошибке	> выработка *N* - диаметр трубопровода = 0
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, изменить диаметр трубы.
Алгоритм	Проверка коэффициента местного сопротивления
Комментарий	Коэффициент местного сопротивления трубы должен быть не менее единицы.
Сообщение об ошибке	> выработка *N* - коэффициент местного сопротивления трубы меньше значения *1*
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, изменить значение коэффициента.
Алгоритм	Проверка положений устройств в смежных выработках
Комментарий	Не должны совпадать положения нескольких устройств, находящихся в двух и более смежных выработках
Сообщение об ошибке	> устройство на сопряжении *N* участков трубопровода
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, изменить положения устройств.
Алгоритм	Проверка учета труб в расчетах
Комментарий	Проверка проводится только при установленной опции «Показывать предупреждения». В ходе проверки ищутся устройства, установленные в выработках, для которых снят признак наличия трубопровода. При обнаружении устройств выводится указанное ниже предупреждение (не ошибка).
Предупреждение	> выработка N - устройства при отсутствии трубопровода
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, в случае необходимости установить признак наличия трубопровода.
Алгоритм	Проверка наличия подпиток резервуара
Комментарий	Проверка проводится только при установленной опции «Показывать предупреждения». Проверяется величина подпитки резервуаров, у которых сброшена опция «Подача воды по обводной трубе». При отсутствии подпитки нельзя оценить время возможного опустошения бака, а в некоторых конфигурациях это может повлиять на перераспределение воды (рис. 2.3)
Предупреждение	> выработка *N* - отсутствует подпитка резервуара (БРС) *M*
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, указать величину подпитки.

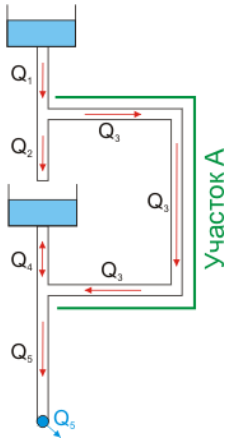


Рис. 2.3. Конфигурация сети, когда подпитка бака может повлиять на распределение воды

Комментарий к рисунку 2.3

На рис. 2.3 указана принципиальная схема возможной конфигурации трубопроводной сети. Участок *А* может иметь произвольную протяженность и сложность, в зависимости от чего направление течения воды и величина расхода Q_4 может меняться.

При малой протяженности участка *А* его сопротивления будет недостаточно для предотвращения перелива нижнего резервуара, поэтому вода с верхнего горизонта будет переливаться в нижний с расходом Q_4, возникнет перелив нижнего бака, расход Q_2 будет равен нулю.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда протяженность участка *А* достаточно большая, чтобы предотвратить перелив воды в нижнем баке. Тогда вода будет течь от бака с расходом Q_4. Если этот расход будет меньше величины максимальной подпитки, то Q_2 будет равен Q_4. Если расход Q_4 превысит максимальную подпитку нижнего бака, то Q_2 будет равна этой самой подпитки.

Алгоритм	Проверка объемов резервуаров
Комментарий	Данная проверка проводится только при установленной опции «Показывать предупреждения». Проверяется величина объема резервуаров.
Предупреждение	> выработка *N* - отсутствует подпитка резервуара (БРС) *M*
Поиск ошибки	Дважды щелкнуть на строке с сообщением, указать величину подпитки.

Проверка насосов

Проверка насосов подразумевает проверку их положений на трубопроводе. Такие параметры, как напор, сопротивление и т.д. на данной стадии не контролируются. Их контроль происходит в момент установки насоса на трубопровод. Ниже приведены возможные сообщения об ошибках и методы их устранения.

Сообщение об ошибке	> выработка N - насос на конце трубы
Комментарий	Насос установлен на конце трубы, находящемся не в поверхностном узле.
Исправление ошибки	Если насос является источником, то необходимо установить его в поверхностный узел. Соответственно необходимо продлить до узла и трубу, на которой насос установлен. Если насос является повысительным, то продлите трубу до основной сети, откуда должна поступать вода.
Сообщение об ошибке	> выработка N - насос установлен не в поверхностный узел
Комментарий	Насос установлен на конце трубы, находящемся не в поверхностном узле. Допускается устанавливать насос либо в поверхностный узел (насос-источник), либо внутри границ трубы.
Исправление ошибки	В зависимости от ситуации установите признак поверхности для соответствующего узла либо немного сместите насос «внутрь» выработки.

Проверка редукторов

Сообщение об ошибке	> выработка *N* - редуктор *M* находится на конце трубы или в сопряжении
Комментарий	Редуктор должен располагаться на трубе внутри ее границ.
Исправление ошибки	Сместите редуктор внутрь границ трубы.
Сообщение об ошибке	> выработка *N* - для редуктора *M* не выбрана характеристика
Комментарий	Это сообщение может появиться при запуске расчета сети, созданной в программе «Водоснабжение» ранее версии 1.0.0.1636. До этой версии для редукторов просто указывался коэффициент редуцирования. Начиная с версии 1.0.0.1636, для каждого редуктора необходимо самостоятельно указывать его гидравлическую характеристику.
Исправление ошибки	Выбрать характеристику из базы данных. Если требуемая характеристика отсутствует, необходимо ее предварительно создать в редукторе характеристик, взяв информацию из технического паспорта гидроредуктора, справочной или иной литературы.

Проверка резервуаров

Сообщение об ошибке	> выработка *N* - резервуар(БРС) *M* расположен в горизонтальной выработке
Комментарий	Резервуар должен находиться в наклонной или вертикальной выработке.
Исправление ошибки	Измените координаты начального или конечного узла, чтобы выработка стала наклонной. В большинстве случаев достаточно изменить только координату Z у одного узла на 0.1–0.2 м. Если резервуар установлен на конце трубы, то координаты необходимо изменять таким образом, чтобы труба оказалась ниже резервуара, иначе при попытке расчета появится сообщение об изолированности резервуара от источника.

Проверка изолированности устройств

В ходе проверки изолированности устройств от источников предпринимаются попытки обнаружить открытые краны, насосы и резервуары, доступ воды к которым от источников отрезан задвижками или неправильно установленным оборудовани-

ем. Поскольку доступ воды к устройству может быть ограничен сразу в нескольких местах, то границы доступа воды и выводы о необходимости каких-то действий в этом случае пользователь должен делать самостоятельно.

Ниже приведены возможные сообщения об ошибках, соответствующие им принципиальные схемы и методы устранения ошибок.

Сообщение об ошибке	> кран *N* изолирован от источников
Комментарий	Отсутствует доступ воды к указанному крану хотя бы от одного источника. Принципиальные схемы показаны на рис. 2.4.
Исправление ошибки	Проанализируйте конфигурацию, отключите кран или обеспечьте к нему доступ воды.

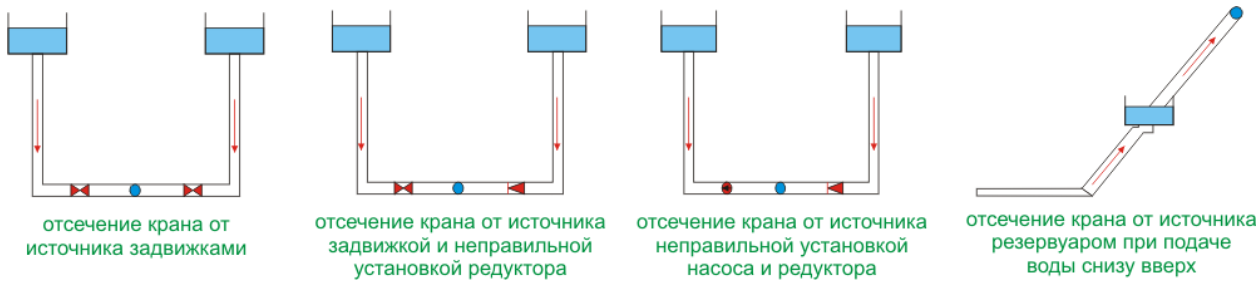


Рис. 2.4. Конфигурации отсечения крана различными устройствами

Сообщения об ошибке	> насос *N* изолирован от источников > насос *N* запитан из области без источников
Комментарий	Отсутствует доступ воды к исходной стороне повысительного насоса хотя бы от одного источника. Принципиальные схемы показаны на рис. 2.5.
Исправление ошибки	Проанализируйте конфигурацию, отключите насос или обеспечьте к нему доступ воды.

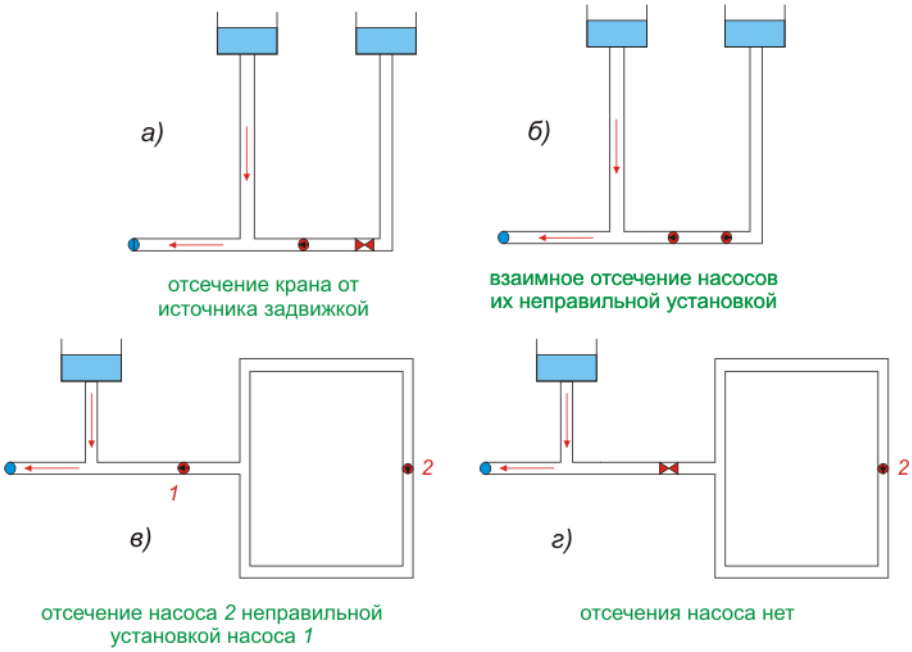


Рис. 2.4. Конфигурации отсечения насоса различными устройствами

Обратите внимание, что конфигурации *а*, *б* и *в*, изображенные на рис. 2.4, являются ошибочными, и для них будут выданы сообщения об изоляции насоса от источника, в то время как для конфигурации *г* никакой ошибки не будет. Дело в том, что в последней конфигурации насос 2 может создавать рециркуляцию воды. Такая рециркуляция используется, в частности, на шахтах северного региона, где производится постоянный подогрев воды, поэтому программа допускает такую конфигурацию сети.

Вариант *в* внешне очень похож на *г*, однако насос *1* здесь запитан из области без источников воды, а, кроме того, еще и возможно полное вытекание воды из изолированной зоны. Здесь будет выдано сразу два сообщения об ошибке:

1) > насос *1* запитан из области без источников;

2) > насос *N* изолирован от источников.

Аналогичная ситуация возникнет, если вместо насоса *1* будет установлен гидроредуктор с направлением действия к резервуару. Тогда будет выдано только одно (второе) сообщение. Если же гидроредуктор будет направлен от резервуара в сторону изолированной области, то никакой ошибки выдано не будет (рис. 2.5).

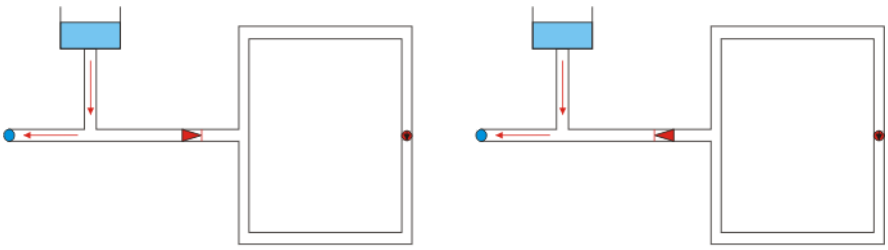


Рис. 2.5. Варианты с отсечением и отсутствием отсечения насоса гидроредуктором

Сообщения об ошибке	> обнаружен резервуар или БРС *N*, изолированный от источника
Комментарий	Это сообщение может быть выдано при попытке организации каскадной подачи воды снизу вверх через несколько резервуаров (рис. 2.6).
Исправление ошибки	Проанализируйте и измените конфигурацию трубопроводной сети. На изолирующем резервуаре можно включить подачу воды по обводной трубе, однако в этом случае нужно помнить о том, что узловые давления могут быть рассчитаны неправильно.

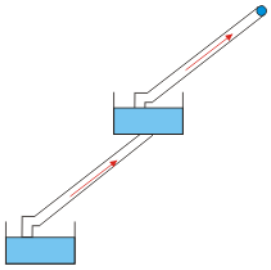


Рис. 2.6. Отсечение резервуара от источника

3. Проведение расчетов

В разделе «Проведение расчетов» полностью рассказывается о процедуре запуска расчета, идеологии, положенной в основу программы, и используемых алгоритмах.

Запуск расчета

Запуск расчета производится из главного меню Расчет⇒Расчет пожарно-оросительного трубопровода. (<F9>). Используя клавишу <F9>, расчет можно запускать и из технологической или топологической схем.

Сразу после запуска расчета будут проверены сеть выработок шахты и сеть пожарно-оросительного трубопровода (см. «Проверка исходных данных»). Если в ходе проверки будут обнаружены ошибки, потребуется их исправить. О наличии ошибок будет говорить появившееся Окно сообщений в нижней части Окна документа. При отсутствии ошибок окна сообщения видно не будет (если, конечно, оно не было открыто ранее).

Независимо от того, видно окно сообщений или нет, в него будут добавляться строки, свидетельствующие о ходе расчета. Показать окно сообщений можно, выбрав в главном меню Вид⇒Сообщения (<Shift+Ctrl+M>). Пример окна сообщений с информацией о расчете приведен на рис. 3.1.

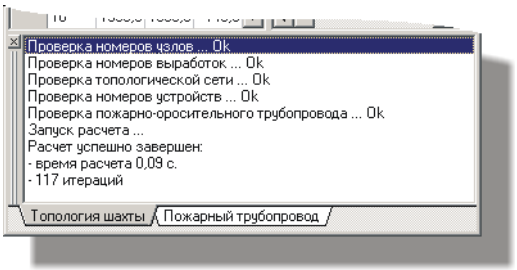


Рис. 3.1. Окно сообщений с информацией о расчете.

На рисунке видно, что перед расчетом происходит проверка топологии шахты и трубопроводной сети (строки, начинающиеся с «Проверка…»), затем проводится итерационный процесс расчета водораспределения, расчет узловых давлений и анализ результатов (строка «Запуск расчета…»), а в окончании выводится информация о времени проведения расчета и количестве итераций.

При удачном завершении расчета в окне документа автоматически активизируется закладка Пожарный трубопровод, и пользователь сможет посмотреть результаты расчета для каждого трубопроводного участка.

Примечание. Трубопроводный участок — это отрезок трубы, расположенный между двумя узлами, двумя устройствами или узлом и устройством. В программе «Водоснабжение» результаты расчета показываются для всех существующих в шахте трубопроводных участков.

Используемая идеология

ВАЖНО

Для правильной интерпретации результатов необходимо четко представлять идею, заложенную в основу всех расчетов. Идея следующая: на распределение воды в трубопроводной сети влияют четыре основных фактора.

1) Все расчеты основаны на предположении, что пользователю известны величины расходов воды на потребителях. Это означает, что в результате расчетов через каждый потребитель **обязательно** пройдет указанное количество воды независимо от пропускной способности используемых труб. Поэтому **распределение воды в трубах в первую очередь определяется потребителями**. Это важно понимать и учитывать при работе с программой.

2) **Вторым фактором является пропускная способность водопроводной сети.** Если к потребителю подходит вода по нескольким участкам с различными характеристиками, то перераспределение воды будет осуществляться в соответствии с этими характеристиками. При недостаточной пропускной способности труб или регулирующей арматуры потери будут превышать напор, создаваемый насосами и весом воды, и как следствие будут появляться отрицательные узловые давления.

3) **Третьим фактором являются характеристики нагнетательных устройств** (насосов и резервуаров с дополнительным давлением). Так при подаче воды по параллельным трубам с одинаковыми характеристиками, но с различными насосами, последние будут играть определяющую роль в распределении воды в трубах.

4) **Четвертый фактор** — возможный перелив воды между резервуарами и/или рециркуляция воды при использовании повысительного насоса.

Первый фактор является определяющим. Он показывает *сколько* воды будет двигаться по трубопроводу от источника к потребителю.

Второй и третий факторы влияют на *перераспределение* воды в трубах (но не на ее объем). Оба фактора работают совместно, но второй — больше, поскольку протяженность трубопровода (а следовательно и его сопротивление) в большинстве случаев весьма велики.

Четвертый фактор является побочным. Он весьма существенно влияет на объем двигающейся в трубах воды. Однако здесь вода двигается не к потребителям, а между источниками, поэтому такие ситуации, как правило, являются нестандартными и требуют особого внимания. Кроме того, они часто портят общую картину распределения воды, но легко устраняются и помогают лучше разобраться во взаимосвязях установленного оборудования и его влияния на водораспределение в сети.

Алгоритмы

Расчет водораспределения

Расчет распределения воды в трубопроводной сети осуществляется методом Лобачева-Кросса с предварительным «отсевом» участков, на которых вода не может двигаться в принципе (тупики, взаимозапертые редукторы, насосы, участки, отсеченные задвижками и т.д.). Используемый метод является итерационным, на каждой итерации производится расчет сопротивления труб по СНИП 2.04.02-84 (см.

Приложение 1) и сопротивления, создаваемые гидроредукторами. Результатом расчета являются величины расхода воды на всех участках трубопровода.

Гидроредукторы, на которых обнаруживается движение воды против их действия, автоматически запираются. В ходе итераций сопротивление, создаваемое гидроредуктором, определяется по его характеристике. Если Q_i не соответствует точно значению из таблицы, то для определения P_i используем линейную интерполяцию.

Продемонстрируем расчет сопротивления гидроредуктора на следующем примере. Пусть для гидроредуктора дана следующая характеристика:

Входное раб. давление, кгс/см^2	Запорное давление, кгс/см^2	Рабочее давление на выходе, кгс/см2						
		Расход, м^3/ч						
		10	20	30	40	50	80	100
16	8	7,3	6,3	5,6	4,5	3,4	0	0

Примем следующие обозначения:

$R_{ред.}$ — сопротивление, создаваемое редуктором;

Q_i — расход через гидроредуктор на i-ой итерации;

$P_{вх.}$ — рабочее входное давление из характеристики;

P_i — рабочее выходное давление из характеристики при Q_i.

Тогда сопротивление гидроредуктора на i-й итерации будет рассчитано следующим образом:

$$R_{ред.} = H/Q_i^2 = (P_{вх.}-P_i)/Q_i^2.$$

Теперь пусть $Q_i=25$ м^3/ч (≈0,00694 м^3/сек). Величину P_i определяем из характеристики с помощью линейной интерполяции: $P_i=5,95$ кгс/см^2 (59,5 м вод.ст.) Тогда перепад давления на редукторе при расходе воды 25 м^3/ч будет $H=16-5,95=10,05$ кгс/см^2 (100,5 м вод.ст.) Теперь вычисляем сопротивление гидроредуктора: $R_{ред}=H/Q2=100,5/0,006942\approx2086638,04$ сек^2/м^5.

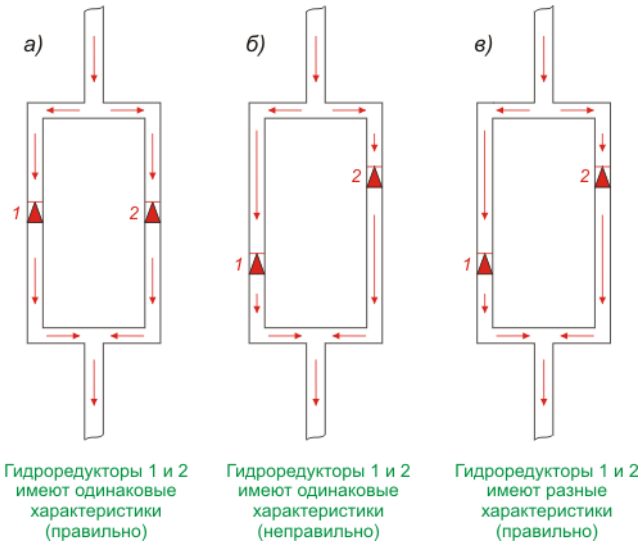


Рис. 3.2. Конфигурации трубопроводных сетей с использованием гидроредукторов.

Примечание.

При такой расчетной схеме следует учитывать, что при установке гидроредукторов на параллельных участках трубопровода водораспределение не зависит от места их установки. Оно зависит только от характеристики гидроредуктора. Поэтому при установке гидроредуктора в трубопроводную сеть пользователь самостоятельно должен согласовывать место его установки и характеристику.

На рис. 3.2 приведены схемы, на которых показана эта особенность. В конфигурации *а)* гидроредукторы установлены правильно, т.к. находятся на одинаковой высоте, и входное давление у них будет также одинаковым. В конфигурации *б)* гидроредукторы установлены неправильно, т.к. находясь на разных высотах, они имеют одинаковые характеристики. Расход на обоих участках будет, как и в конфигурации *а)*, одинаковым. В конфигурации *в)* для редукторов указаны различные характеристики с учетом их высотных отметок. Это правильно, по параллельным участкам будет двигаться разный объем воды.

При наличии разгрузочных резервуаров для согласования на них потребления и подпитки итерационный процесс может повторяться несколько раз. При длительном расчете его ход отражается в строке состояния главного окна. Отменить расчет можно, нажав клавишу <Esc>.

Расчет узловых давлений

Узловые давления рассчитываются после успешного окончания итерационного процесса путем суммирования веса воды и напоров нагнетательных устройств и вычитания потерь на трение воды о стенки труб. Единица измерения узловых давлений — метр водного столба (м вод.ст.). Если потери превышают напоры, появляются отрицательные значения давлений. Об интерпретации таких данных см. раздел «Анализ результатов». Алгоритм расчета давлений описан ниже.

При расчете узловых давлений важную роль играет выбор отправной точки. В программе «Водоснабжение» он осуществляется несколькими этапами, при этом каждый последующий этап выполняется только в том случае, если по завершении предыдущего остались области, где давление рассчитано не было.

1) В первую очередь расчет узловых давлений производится, начиная от устройств-источников и от всех резервуаров, от которых течет вода. Если источником является насос, то начальное давление берется из его характеристики (коэффициент *A*). Если источником является резервуар, то в качестве начального используется его дополнительное давление (если таковое указано), иначе — нуль. По завершению первого этапа будет рассчитано давление везде, где есть движение воды, кроме участков с подземной рециркуляцией воды.

2) Если после первого этапа остаются «незатронутые» области, то они являются изолированными от источников, и расчеты узловых давлений в них производятся, начиная от включенных насосов. Подобный выбор обоснован тем, что, во-первых, в шахте может быть организована рециркуляция воды в целях ее подогрева, а во-вторых, работающий насос может создавать повышенное давление в изолированной от источников области.

3) Затем расчеты производятся, начиная от еще незатронутых резервуаров. Из них вода никуда не течет, поэтому предполагается, что здесь имеет место просто статическое давление.

4) Далее расчеты производятся, начиная от редукторов. Комментарии см. ниже.

5) В последнюю очередь расчеты давления производятся, начиная от узлов, расположенных наиболее высоко.

Комментарии к расчету узловых давлений

Давление на участках с движением воды определяется соотношением величин напора и потерь на трение. Если напор превосходит потери, давление по ходу течения растет, если потери превосходят напор — давление падает. Величина потерь рассчитывается по СНИП 2.04.02-84.

Давление на участках без движения воды определяется исключительно напором, поскольку при отсутствии движения воды потерь нет. Напор может создаваться как нагнетательными устройствами, так и собственным весом воды.

Учет насосов. Учет насосов при расчете узловых давлений производится следующим образом: если вода через насос движется, то при подходе к насосу с исходной стороны производится сквозной расчет, т.е. вычисляются значения давления перед

насосом, после него и далее по сети. При подходе к насосу со стороны нагнетания расчет в этой точке останавливается, т.к. обязательно должен быть иной путь, ведущий к исходной стороне насоса. Это позволяет правильно вычислять давления при установке нескольких насосов последовательно друг за другом. Если вода через насос не движется, то расчет в этой точке будет проведен только на втором этапе.

Учет редукторов. Сквозной расчет давления здесь производится только при наличии течения воды через гидроредуктор. *Обратите внимание*, что для расчета потерь давления характеристика гидроредуктора здесь используется косвенно: через нее в ходе проведения итерационного процесса рассчитывается только сопротивление, создаваемое гидроредуктором, а затем уже при его подстановке в обратную формулу $P_{вых.}=P_{вх.}-R_{ред.}\cdot Q^2$ определяется давление на выходе. Это позволяет согласовать сопротивление гидроредуктора и расход воды через него независимо от того, совпадает расчетное входное давление с давлением из характеристики или нет.

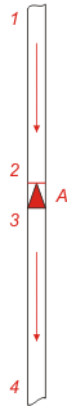


Рис. 3.3. Расчет давления на редукторе

Примечание. Обратите внимание на то, что в абсолютном большинстве случаев расчетные давления будут отличаться от давлений, указанных в характеристике гидроредуктора. Это связано с тем, что в случае изменения величины расхода, при прочих равных условиях, в вышележащем трубопроводе будет меняться величина потерь на трение, а следовательно и значение входного давления гидроредуктора. Это наглядно показывает следующий пример (см. рис. 3.3.).

Пусть длина участка *1-2* равна 160 м, тогда при отсутствии движения воды давление на входе гидроредуктора *А* будет составлять 160 м вод.ст., на выходе — 80 м вод.ст. (данные взяты из характеристики гидроредуктора КР-3). Если теперь ниже точки *4* будет открыт потребитель, появится движение воды и потери давления на трение. Поэтому в точке *2* (на входе гидроредуктора) будет уже меньше 160 м вод.ст., а следовательно и на выходе будет меньше 80 м вод.ст. При дальнейшем увеличении расхода воды потери будут увеличиваться, что приведет к рассогласованию расчетных значений входного и выходного давлений и значений, указанных в характеристике гидроредуктора.

Наиболее ярко такие отличия проявляются на водопроводных сетях большой протяженности, что говорит о сложной взаимосвязи сети труб и используемого оборудования. Также эту особенность нужно учитывать при последовательной установке нескольких гидроредукторов друг за другом.

При отсутствии движения воды через гидроредуктор расчет давления в точке за ним откладывается до этапа *4*, т.к. могут возникнуть различные варианты запирания редуктора противодавлением и другие ситуации. Пример запирания редуктора противодавлением показан на рис. 3.4.

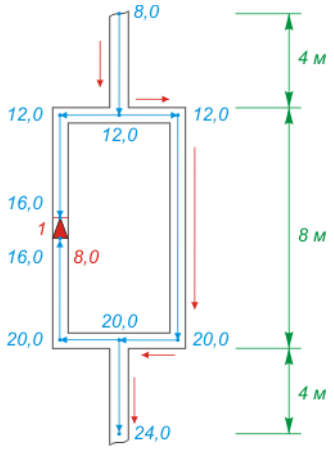


Рис. 3.4. Запирание редуктора противодавлением

Примечание. На рис. 3.4. показан схема запирания гидроредуктора противодавлением при установке его в одну из параллельных выработок. Такие ситуации нередко встречаются в шахтах, и при большой протяженности выработок они обнаруживаются с трудом.

На рисунке зеленым указана разница высотных отметок между разными горизонтами, красным — направление течения воды, голубым — направление действия давления. Голубыми цифрами указывается значения давления в соответствующих узлах (м вод.ст.). Для простоты, потери, возникаемые при движении воды, здесь не учитываются.

На рисунке хорошо видно, что редуктор *1* должен понизить давление после себя в два раза, в результате чего за ним должно возникнуть давление в 8 м вод.ст. Но поскольку в параллельной выработке гидроредуктор отсутствует, то здесь давление составляет не 8, а все 16 м вод.ст.

Часто возникают ситуации, когда через редуктор вода не движется просто из-за отсутствия потребителя (рис. 3.5). Тогда сопротивление редуктора по формуле $R=H/Q^2$ посчитать невозможно (т.к. $Q=0$), и его величина волевым решением принимается бесконечно большим. В этом случае обратная формула $P_{вых.}=P_{вх.}-R_{ред.}\cdot Q^2$ для определения давления за редуктором работать не будет, поэтому используется коэффициент редуцирования гидроредуктора $K_{ред}$, который определяется как

$$K_{ред}=P_{зап.}/P_{вх.},$$

где

$P_{зап.}$ — давление запирания гидроредуктора,

Через этот коэффициент редуцирования затем рассчитывается давление за гидроредуктором. Пример расчета показан ниже.

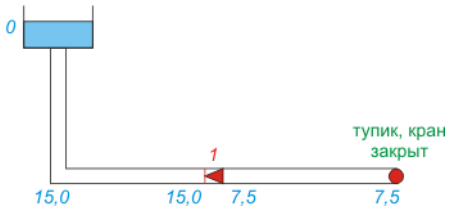
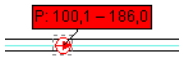
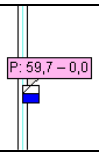
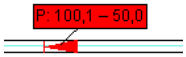
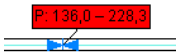
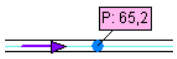


Рис. 3.5. Расчет давления редуцирования при отсутствии движения воды

Примечание. Пусть на рис. 3.5. изображена сеть с гидроредуктором, который настроен на входное давление 16 м. вод.ст. с запорным давление 8 м вод.ст. Тогда коэффициент редуцирования $K_{ред}=P_{зап.}/P_{вх.}=8/16=0,5$. Если теперь при расчете окажется, что перед редуктором давление составляет не 16, а, например, только 15 м вод.ст., то выходное давление будет определено как $P_{вых.}= P_{вх}\cdot K_{ред.}=15\cdot 0,5=7,5$ м вод.ст.

Оборудование и давление. В качестве результата для каждого устройства, установленного на пожарно-оросительном трубопроводе, указывается одно или два значения давления. Количество значений, указываемых для разных типов устройств, показано в следующей таблице.

Тип устройства	Кол-во значений давления	Изображение на схеме	Комментарий
Насос	2		Насос является нагнетательным устройством, он увеличивает давления по направлению своего действия, поэтому для него всегда указывается две величины давления: перед насосом и после него.
Резервуар	2		Назначение разгрузочного резервуара — сброс статического давления, поэтому для него всегда показывается два значения давления, одно из которых всегда нулевое (после «действия» резервуара).
Гидроредуктор	2		Редуктор сбрасывает давление с заданным коэффициентом, поэтому для него всегда указывается две величины: давление перед редуктором и после него.
Задвижка	2		Закрытая задвижка не пропускает воду, слева и справа от нее может возникнуть совершенно разное давление, поэтому для закрытых задвижек также указывается два значения давления.
Кран	1		Для крана указывается одно значение давления, соответствующее месту внутри трубы около крана, а не на выходе из него. На выходе из крана давление будет меньше.

Примечание. В таблице показаны изображения устройств в рабочем состоянии, т.е. когда они включены и работают. Если устройство отключено (насос или редуктор выключены, кран закрыт, задвижка открыта, по резервуару вода подается через обходную трубу), то на схемах всегда выводится одно значение давления.

4. Анализ результатов

В последнем, четвертом, разделе рассказывается об интерпретации результатов гидравлического расчета и инструментах, используемых при анализе.

Инструменты анализа

В предыдущей главе в ходе изложения материала по расчету узловых давлений уже была дана часть информации, относящейся к анализу результатов. В частности, были показаны конфигурации, при которых происходит запирание гидроредукторов, объяснено, каким образом учитывается отклонение режима работы гидроредуктора от его характеристики, и показано, что следует учитывать эту характеристику с местом установки редуктора в сети.

Далее в этой главе будет рассказано, какие инструменты предоставляет программа «Водоснабжение» для просмотра результатов гидравлического расчета, их анализа и поиска нестандартных ситуаций.

Представление результатов

Результаты гидравлического расчета можно просматривать в табличном виде и на технологической схеме.

Чтобы увидеть результаты в табличном виде нужно в окне документа активизировать закладку Пожарный трубопровод (рис. 4.1.). Данные в таблице Водопроводная сеть представлены по каждому участку пожарно-оросительного трубопровода. Набор данных можно менять в окне редактирования свойств шахты (меню Шахта⇒Свойства⇒Закладка Вид).

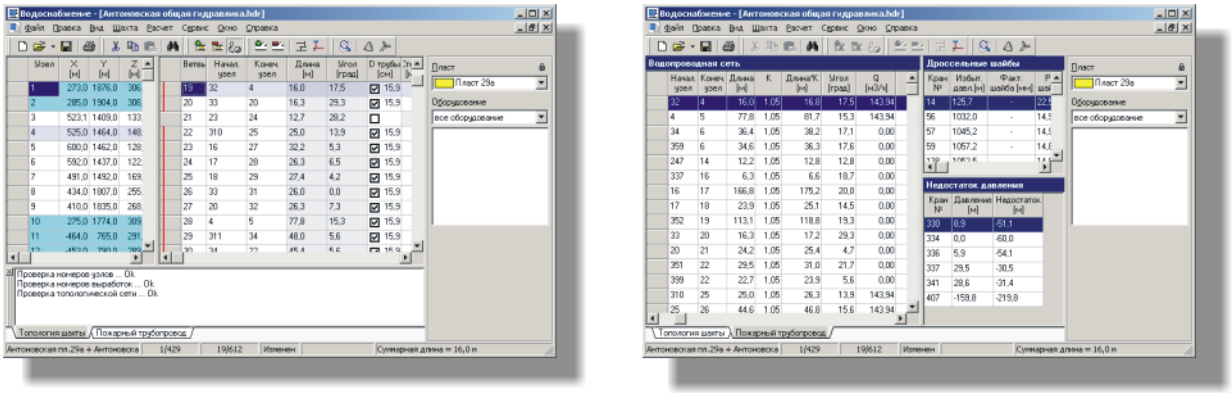


Рис. 4.1. Главное окно в режиме отображения топологии выработок (слева) и участков пожарно-оросительного трубопровода

Чтобы просмотреть результаты на технологической схеме необходимо эту схему открыть и включить отображение результатов (меню схемы Шахта⇒Результаты расчета, рис. 4.2). Схема позволяет также использовать специальную цветовую раскраску выработок по давлению, позволяя практически мгновенно оценить нали-

чие или отсутствие воды на данном участке. Такую же раскраску можно использовать и в топологической схеме. Последняя позволяет оценивать уровни воды по всей шахте.

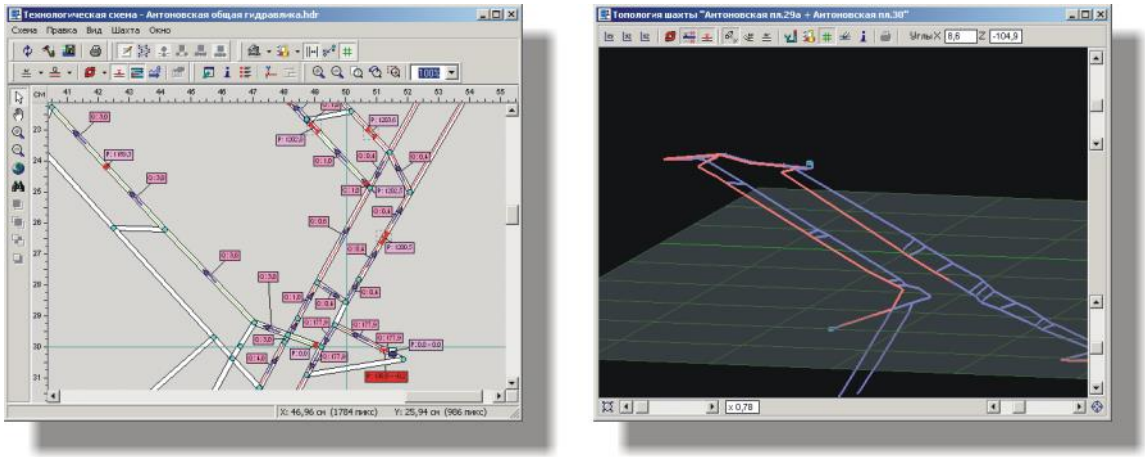


Рис. 4.2. Окна технологической схемы с выводом расходов и узловых давлений (слева) и топологической схемы в режиме вывода «Только трубы» и раскраской по давлению

Таблица «Водопроводная сеть»

Таблица Водопроводная сеть находится в окне документа на странице Пожарный трубопровод. После каждого расчета эта закладка автоматически активируется, и пользователь может просматривать информацию об участках трубопровода (рис. 4.3). Кроме того, на странице Пожарный трубопровод находятся еще две таблицы, Дроссельные шайбы и Недостаток давления, указывающие места установки дроссельных шайб и точки с недостатком давления до нормативной величины.

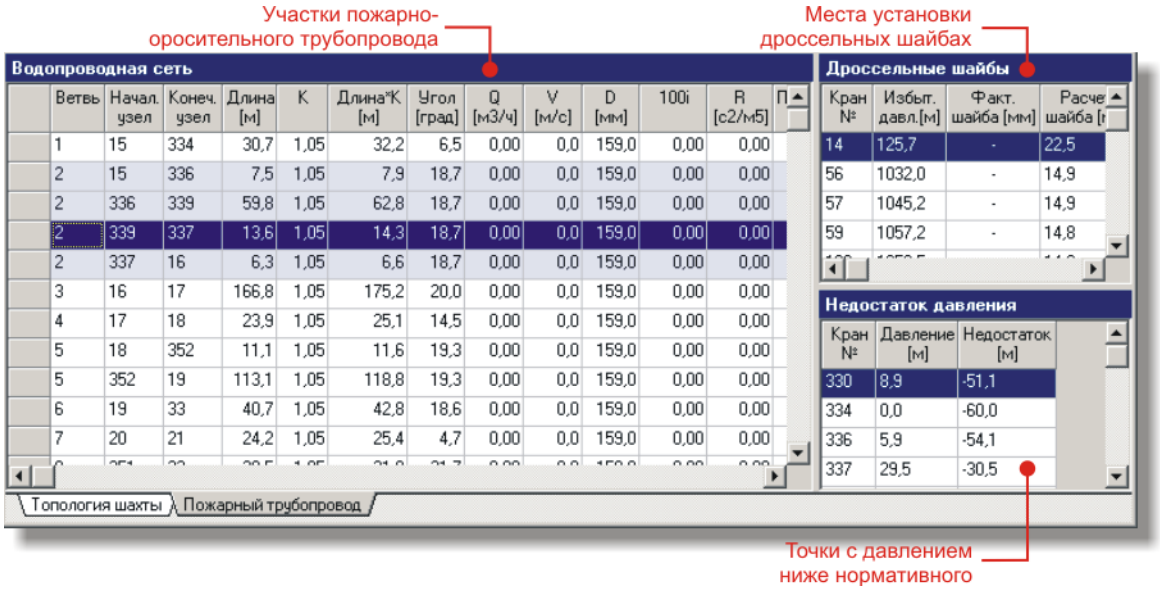


Рис. 4.3. Таблицы с результатами расчета на странице «Пожарный трубопровод»

На рис. 4.3. хорошо видно, что при выборе строки в таблице Водопроводная сеть цветом автоматически выделяются еще и те строки, которые соответствуют остальным участкам трубопровода в указанной выработке.

Набор параметров, выводимых в таблице Водопроводная сеть, можно указывать в окне установки свойств шахты (меню Шахта⇒Свойства). Последовательность колонок можно менять с помощью мыши. Для этого подведите указатель мыши к заголовку колонки, нажмите левую кнопку и, не отпуская ее, переместите колонку вправо или влево.

Во всех трех таблицах, расположенных на странице Пожарный трубопровод, данные можно сортировать по любому параметру. Для этого нужно подвести указатель к заголовку колонки с нужным параметром и щелкнуть по нему—данные будут отсортированы по возрастанию (от малых величин к большим). Повторный щелчок приведет к сортировке данных по убыванию. Щелкнув на строке правой кнопкой мыши, можно вызвать контекстное меню, состоящее всего из одного элемента Перейти на схему (рис. 4.4), используя которое, можно быстро найти указанную выработку на технологической схеме. Это же меню присутствует и в таблицах Дроссельные шайбы и Недостаток давления с тем отличием, что при этом происходит поиск не выработки, а указанного крана. Комментарии к параметрам в таблице Водопроводная сеть, приведены ниже.

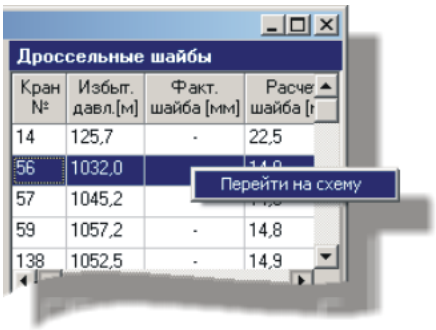


Рис. 4.4. Контекстное меню таблиц результатов

Краткое название параметра	Полное название параметра	Комментарий
Номер[1]	Номер выработки	Номер выработки, в которой находится данный участок трубопровода. Т.к. участков в одной выработке может быть несколько, то может быть и несколько строк с одинаковыми номерами выработок. При выборе строки таблицы все остальные строки с таким же номером выработки выделяются цветом.
Начальный узел[1]	Номер начального узла	Номер начального узла участка. Этот номер может быть номером узла или номером устройства. Начальный узел участка всегда находится ближе к начальному узлу выработки, чем конечный узел участка (рис. 4.4).
Конечный узел[1]	Номер конечного узла	Номер конечного узла участка. Этот номер может быть номером узла или номером устройства. Конечный узел участка всегда находится ближе к конечному узлу выработки, чем начальный узел участка (рис. 4.4).
Длина[1]	Длина участка трубопровода	Длина участка трубопровода, находящегося между начальным и конечным узлами. Ед. изм. — м.
К[1]	Коэффициент местных сопротивлений	Коэффициент местных сопротивлений, указываемый в окне «Трубопровод» для всей трубы в данной выработке. На всех участках расположенных в одной и той же выработке этот коэффициент одинаков. В расчетах коэффициент местных сопротивлений учитывается умножением его на длину трубы, что автоматически пропорционально увеличивает и гидравлическое сопротивление ветви. Обычно этот коэффициент принимает значения *1,05*; *1,10* или *1,15* (см. выше главу *1*)
Длина·К[1]	Длина участка, умноженная на К	Величина, соответствующая длине участка трубопровода, умноженной на коэффициент местных сопротивлений. В таблице эта величина представлена просто как справочная, поскольку в анализе она участие не принимает. Ед. изм. — м.
Угол[1]	Угол наклона	Угол наклона выработки. Все участки в одной и той же выработки имеют одинаковый угол наклона. Ед. изм. — градусы.
Q[2]	Расход воды на участке	Количество воды, проходящей через поперечное сечение трубы на данном участке, за единицу времени. Ед. изм. —м^3/ч.

Краткое название параметра	Полное название параметра	Комментарий
V[2]	Скорость движения воды	Скорость движения воды на данном участке трубопровода. Ед. изм. — м/с.
D[1]	Внешний диаметр трубы	Ед. изм. — мм.
100i[2]	Гидравлический уклон	Потери напора на 100 м длины трубы. При отсутствии движения гидравлический уклон равен нулю. Ед. изм. — м.
R[2]	Гидравлическое сопротивление участка	При отсутствии движения воды гидравлическое сопротивление равно нулю. Ед. изм. — $с^2/м^5$.
dZ[3]	Разность высотных отметок	Разность высотных отметок между начальным и конечным узлами участка трубопровода. Ед. изм. — м.
$Р_{н.}$[2]	Давление в начальном узле	Величина узлового давления в начале участка трубопровода. Ед. изм. — м.
$Р_{к.}$[2]	Давление в конечном узле	Величина узлового давления в конце участка трубопровода. Ед. изм. — м.
Коммента-рий[3]	Комментарий к выработке	Текстовый комментарий, указанный для данной выработки.
Потери P[2]	Потери напора на участке	Потери напора на данном участке трубопровода. При отсутствии движения потери равны нулю. При длине участка 100 м эта величина является гидравлическим уклоном.

[1] Параметр является исходными данными.
[2] Параметр является результатом расчета.
[3] Информационный параметр, не участвующий в расчетах.

Нужно отметить, что с учетом нормативных требований установки кранов через каждые 50–80 м, количество данных, показываемых в таблице Водопроводная сеть, как правило, весьма существенное, особенно для шахт большой протяженности и сложной геометрией выработок. Поэтому эту таблицу следует рассматривать не как основное средство анализа, а как средство комплексного вывода результатов. Данные здесь можно группировать (используя сортировку), искать параметры с определенными значениями и просматривать точные числовые значения параметров. Основными же средствами анализа являются окно «Анализ результатов» и технологическая схема.

Окно «Анализ результатов»

Вызов и работа с окном

Окно «Анализ результатов» появляется на экране автоматически после каждого расчета при наличии в нем сообщений. Сообщения в окне появляются в случае обнаружения программой в результатах расчетов различных отклонений от действующих нормативов. Поиск отклонений происходит автоматически после каждого расчета. Кроме того, пользователь может самостоятельно вызвать это окно, выбрав в главном меню пункт Вид⇒Анализ результатов (`<Shift+Ctrl+A>`).

Возможности окна включают в себя поиска места, в котором произошло отклонение (недостаток давления на кране, запирание редуктора и т.д.). Для этого нужно выделить в окне строку с сообщением и нажать кнопки В таблицу или На схему. При нажатии первой произойдет переход в таблицу на строку с выработкой, содержащей отклонение, при нажатии второй — переход на технологическую схему к указанному элементу. Например, если в окне (рис. 4.5.) выделить строку с надписью «*На подходе к насосу обнаружен недостаток давления (-0,21 м)*» и

нажать кнопку На схему, то будет открыта технологическая схема и осуществлен переход к тому насосу, где не хватает давления (рис. 4.6.).

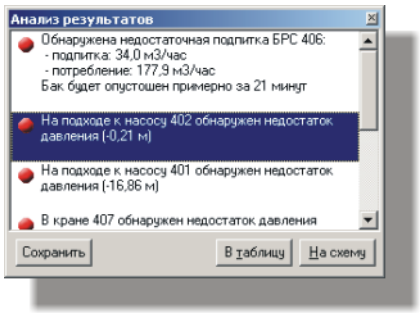


Рис. 4.5. Контекстное меню таблиц результатов

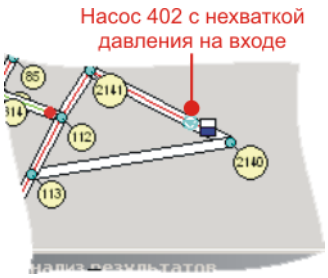


Рис. 4.6. Насос с недостатком давления

Окно «Анализ результатов» следует рассматривать как средство автоматического анализа результатов, указывающее точки, в которых *уже* произошли отклонения. Работая с этим окном, пользователь получает возможность начать самостоятельный анализ, используя указанные точки как отправные, и найти *причину* отклонений.

Пример проведения анализа 1

На рис. 4.5–4.6 показано, что на входе насоса №402 обнаружен недостаток давления. В окне «Анализ результатов» показано место отклонения и величина недостатка. Нажав кнопку «На схему», пользователь определит место положения насоса в сети и обнаружит, что непосредственно перед насосом на расстоянии 3,6 м находится резервуар-источник №406 из которого течет вода. При расходе воды 177,9 м^3/ч через трубу с внутренним диаметром 150 мм потери напора на этом участке составляют 0,3 м вод.ст. С учетом угла наклона (0,92°) давление упало на 0,21 м вод.ст. Т.к. у резервуара №406 дополнительного давления нет, то на входе насоса №402 значение давления получилось -0,21 м вод.ст.

Пути устранения отрицательного давления три:

1) убрать резервуар и переместить насос на конец трубы. Этот вариант в данном случае не подходит, т.к. резервуар соответствует не поверхностному, а подземному источнику, поэтому узел №2140 сделать поверхностным и установить в него насос №402 мы не можем;

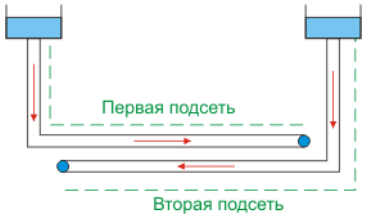
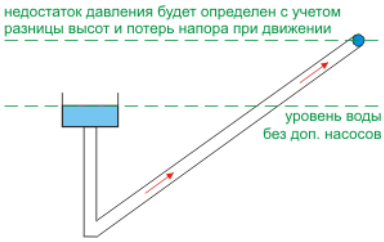
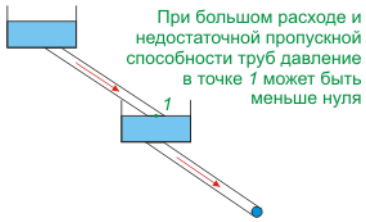
2) установить у резервуара №406 признак подачи воды по обводной трубе и указать дополнительное давление. Его значение должно примерно соответствовать высоте всаса насоса (при откачке воды снизу вверх). В данном случае эта характеристика нам не известна, поэтому, чтобы «подстраховаться», мы указываем значение дополнительного давления 3 м вод.ст., поскольку с одной стороны это избавит нас от лишнего сообщения в окне «Анализ результатов», а с другой – при увеличении потребления из этого резервуара позволит нам обратить внимание на эту точку трубопроводной сети, т.к. подобное сообщение появиться вновь;

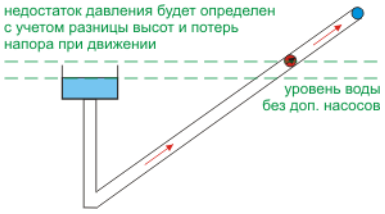
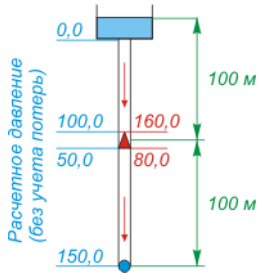
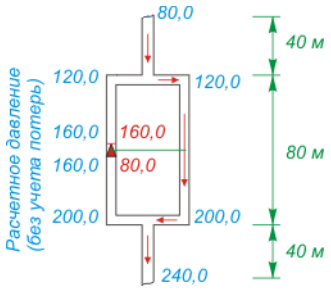
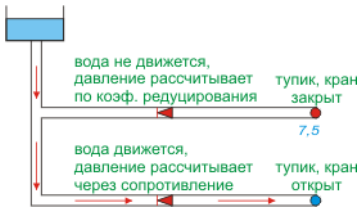
3) третий путь устранения причины сообщения – переместить насос ближе к резервуару. Сокращая расстояние между устройствами, мы сокращаем потери давления на этом участке, возможно, до величины при которой сообщение появляться больше не будет. Однако, этот вариант пригоден только при наличии у резервуара дополнительного давления. В нашем случае оно отсутствует, при любом расходе мы имеем соответствующие потери напора, а следовательно и отрицательные давления. Поэтому устранить сообщение таким образом мы не можем. Уменьшение потребления из данного резервуара также приведет к снижению потерь, однако в этом примере рассматривается ситуация, когда расход воды постоянен.

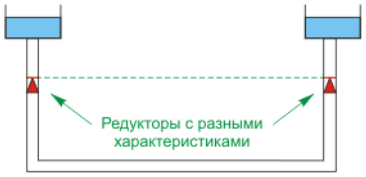
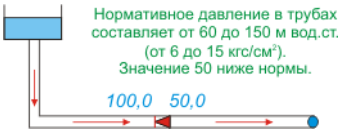
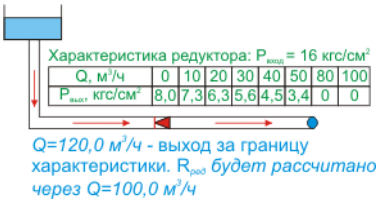
Примечание. При ликвидации причин сообщений не указывайте завышенные значения дополнительного давления, подпитки резервуаров, характеристики насосов и т.д. только для того, чтобы в окне «Анализ результатов» исчезло какое-то сообщение. Старайтесь указывать значения, максимально приближенные к реальным, поскольку водопроводная сеть является своеобразным, очень чувствительным «организмом», в котором изменение параметра в одной точке сети, может привести к изменению состояния всей сети. Так сильное завышение дополнительного давления на одном резервуаре может привести к существенным изменениям водораспределения в всем трубопроводе шахты.

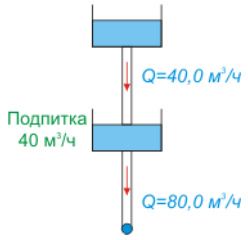
Возможные сообщения

Ниже расположена таблица со всеми сообщениями, которые могут появиться в окне «Анализ результатов». К каждому сообщению приводятся краткие комментарии. Часть сообщений предназначена для тестирования программы, и в нормальных условиях вы не должны их получать. В комментариях к этим сообщениям стоят прочерки (—). Если это все же случилось, проанализируйте ситуацию и обратитесь к авторам программы за технической поддержкой.

	Сообщение с комментарием	Принципиальная схема или пример соответствующей ситуации
Сообщение	Количество независимых участков трубопровода: N^1.	
Комментарий	Указывает количество независимых друг от друга подсетей трубопровода. Появляется только в случае наличия более одной подсети. Является чисто информационным сообщением и ни о какой ошибке не свидетельствует.	
Сообщение	В кране *N* обнаружен недостаток давления (*P* м).	
Комментарий	Это сообщение появляется для каждого открытого крана, у которого обнаружено отрицательное значение давления.	
Сообщение	В кране для подпитки резервуара *N* обнаружен недостаток давления (*P* м).	
Комментарий	Это сообщение появляется для каждого резервуара, у которого имеется подпитка и значение давления, при этом, меньше нуля.	
Сообщение	Поверхностный насос *N* заперт. Давление за насосом *P* м меньше противодавления.	—
Комментарий	—	
Сообщение	Направление движения воды противодействует напору поверхностного насоса *N*.	—
Комментарий	—	

	Сообщение с комментарием	Принципиальная схема или пример соответствующей ситуации
Сообщение	Направление движения воды противодействует напору насоса *N*.	—
Комментарий	—	
Сообщение	На подходе к насосу *N* обнаружен недостаток давления (*P* м).	
Комментарий	Это сообщение появляется для каждого насоса, у которого на исходной стороне обнаружено отрицательное давление.	
Сообщение	Редуктор *N*: обнаружено течение воды по направлению к потребителю. Это означает, что доступ к источнику воды по другим путям отсутствует либо пролегает через такие же запертые редукторы.	—
Комментарий	—	
Сообщение	Редуктор *N*: давление на входе (*P* м) отличается от настроенного (P_0 м).	
Комментарий	Сообщение появляется для каждого редуктора, у которого обнаружено отличие расчетного значения рабочего давления на входе от значения давления на входе, указанного в характеристике. Сообщение появляется только при величине отличий больше максимального заданного значения, указываемого в настройках программы.	
Сообщение	Редуктор *N* заперт противодавлением (*P* м против P_0 м)	
Комментарий	Сообщение выводится для каждого редуктора, у которого давление редуцирования меньше противодавления. В нормальной ситуации редуктор запирается и вода через него не движется.	
Сообщение	Через редуктор *N* вода не движется, давление на выходе (*P* м) рассчитано по коэффициенту редуцирования.	
Комментарий	Цель сообщения — обратить внимание пользователя на метод расчета давления редуцирования. При отсутствии движения воды невозможно определить сопротивление гидроредуктора, поэтому давление после него рассчитывается через коэффициент редуцирования (см. выше «Комментарии к расчету узловых давлений»).	

	Сообщение с комментарием	Принципиальная схема или пример соответствующей ситуации
Сообщение	Редуктор *N*: давление редукции (*P* м) рассчитано по коэффициенту редуцирования. Оно больше или соответствует противодавлению (P_0 м), однако движения воды здесь нет. Это означает отсутствие потребителя на участке за редуктором либо неправильную настройку оборудования. Проанализируйте расстановку и параметры оборудования.	 Движения воды нет, поэтому при расчете узловых давлений этап *4* начнется от случайного редуктора. Т.к. характеристики разные, коэффициенты редуцирования будут также разными, и расчетное давление в зоне за редукторами может отличаться от реальногою
Комментарий	Сообщение, обращающее внимание пользователя на то, что при расчете давления в зоне за редуктором в качестве отправной точки был принят на данный редуктор, а какая-то иная точка. При отсутствии движения воды тех на участках, где установлены насосы и гидроредукторы (особенно при их каскадной установке), подобные рассогласования давления вполне возможны, и на них нужно обращать особое внимание.	
Сообщение	!!!! Нестандартная ситуация. Обратитесь за технической поддержкой !!!!	—
Комментарий	—	
Сообщение	Редуктор *N*: давление на выходе (*P* м) меньше нормативного (60 м).	
Комментарий	Это сообщение выводится для каждого редуктора, у которого давление редуцирования меньше нормативного (меньше 60 м вод.ст. = 6 кгс/см^2)	
Сообщение	Редуктор *N*: расход (*Q* м3/ч) вне пределах характеристики (от Q_0 до Q_1 м3/ч).	
Комментарий	Сообщение выводится в случае выхода значения расхода воды через редуктор за границы характеристики. При этом невозможно определить сопротивление редуктора, и в расчете используются крайние значения из характеристики. Например, если в характеристике гидроредуктора указаны расходы воды от 10 до 100 м^3/ч, а реальное значение расхода составляет 120 м^3/ч, будет использовано значение 100 м^3/ч.	
Сообщение	Через бак разрыва струи *N* вытесняется вода с расходом *Q* м3/ч.	
Комментарий	Сообщение о переливе резервуара с номером *N*. Необходимо установить проверить трубопроводную сеть и, возможно, установить запорную арматуру.	

	Сообщение с комментарием	Принципиальная схема или пример соответствующей ситуации
Сообщение	Обнаружена недостаточная подпитка БРС *N*: - подпитка: Q_0 м3/час; - потребление: Q_1 м3/час; Бак будет опустошен примерно за *время T*. [Не удалось определить время расхода воды, поскольку объем бака не задан (равен нулю)]	
Комментарий	Сообщение о необходимости увеличения подпитки или уменьшения потребления воды у резервуара с номером *N*. Если время определить не удается, то в в последней строке сообщения будет текст, указанный в квадратных скобках.	

[1] В сообщениях приняты следующие обозначения:

N — номер конкретного устройства, указываемый в программе;

P, P_0 — значения давления;

Q, , Q_0, Q_1— значения расхода;

Пример проведения анализа 2

Рассмотрим ситуацию, показанную на рис. 4.7. Имеем перелив резервуара 2 из резервуара 1 из-за разницы их высотных отметок на 10 м.

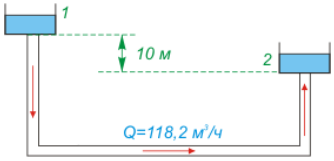


Рис. 4.7. Перелив бака

У резервуара *1* снят признак подачи воды по обводной трубе, поэтому необходимо, чтобы для него была указана подпитка. При конвертации данных из файла более ранней версии (в которой параметр «подпитка» отсутствовал) объем бака был принят нулевым, поэтому время его возможного опустошения определить не удалось. Об этом свидетельствует одно из сообщений в окне «Анализ результатов» (рис 4.8). Для ликвидации этого сообщения необходимо указать объем и подпитку бака или установить признак подачи воды по обводной трубе.

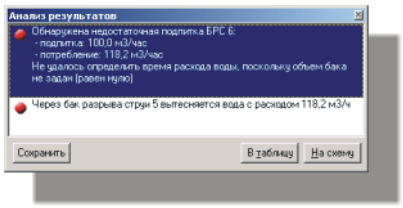


Рис. 4.7. Окно «Анализ результатов»

Второе сообщение указывает на то, что происходит перелив резервуара *2*. Чтобы сообщение не появлялось, необходимо установить баки на одинаковой высоте или установить между ними закрытую задвижку.

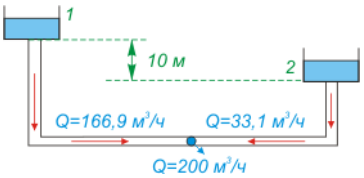


Рис. 4.8. Ликвидация сообщения увеличением потребления воды

Примечание. Переливы резервуаров из-за несоответствия их высотных отметок возникают очень часто, и за ними нужно тщательно следить, т.к. они могут существенно исказить картину водораспределения. Для ликвидации сообщений выравнивайте резервуары и используйте запорную арматуру. Кроме того, появление этого сообщения можно избежать, увеличив расход воды на потребителях. Например, если между резервуарами установить или группу потребителей с суммарным расходом воды больше, чем может пропустить левая часть сети, то сообщение о переливе исчезнет и резервуар *2* также будет питать потребителей (рис. 4.8).

Технологическая схема

Технологическая схема является следующим инструментом анализа после окна «Анализ результатов». Используя эту схему, можно не только найти место с отклонением параметров от нормативов, но и причину этого отклонения. На схеме пользователь может визуально проследить направление течения воды в трубах, величины расходов на разных участках, значения узловых давлений и т.д.

Вывод схемы

Открытие окна «Технологическая схема» производиться выбором пункта Шахта⇒Технологическая схема (<F7>) в главном меню программы. Все результаты расчета можно вывести на схему, используя ее меню Шахта⇒Результаты расчета. Параметры, доступные из меню, следующие:

- Расход воды на участках, м3/ч;
- Скорость течения воды, м/с;
- Гидравлическое сопротивление сети, $с^2/м^5$;
- Гидравличсекий уклон, м;
- Перепад давлений на участке, м;
- Потери напора, м;
- Давление в узлах, м;
- Показания манометров в узлах и на устройствах, м.

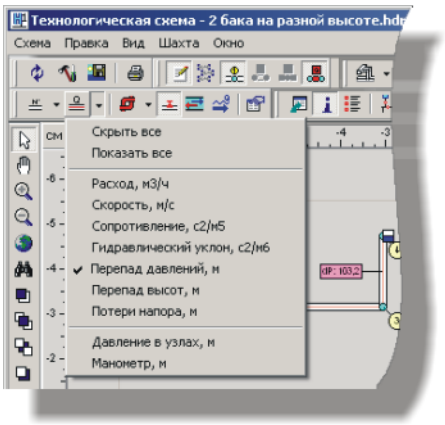


Рис. 4.9. Параметры, доступные на технологической схеме

Включать и выключать вывод всех перечисленных параметров можно, используя панель инструментов Шахта, также расположенную в окне «Технологическая схема» параметры (рис, 4.9). Указанные пункты (и в меню, и на панели инструментов) доступны только в том случае, если предварительно был успешно проведен расчет.

Кроме числовых параметров пользователь может включить отображение стрелок, указывающих направление течения воды в трубах. В меню для этого можно использовать пункт Шахта⇒Направление воды (<Ctrl+Q>), а на панели инструментов — кнопку .

Использование параметров

Подробное рассмотрение параметров, являющихся результатами расчетов, начнем, используя следующую элементарную схему (рис. 4.10).

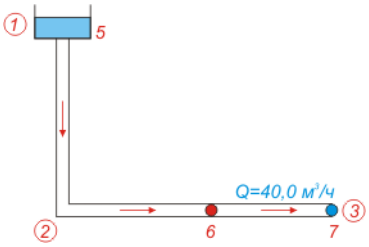


Рис. 4.10. Расчетная конфигурация: источник и потребитель

На схеме показан источник (резервуар *5*) с потреблением из него воды краном *7* в объеме 40 м^3/ч. От узла *2* вода распределяется по горизонту, кран 6 закрыт. Для простоты длина участков *1–2* и *2–3* принята по 100 м.

Чтобы провести расчет выполните следующие действия:

1) сформируйте сеть выработок. В данном случае она состоит всего из двух выработок: *1–2* и *2–3* (номера, обведенные на рис. 4.10 кружками). Пространственные координаты узлов укажите следующие: узел *1* (0,0,0); узел *2* (0,0,-100); узел *3* (100, 0, -100). Сеть небольшая, но помните, что она принципиальная, и ни что не мешает усложнить ее до реальной шахты: увеличится лишь длина и количество участков между потребителем и источником воды;

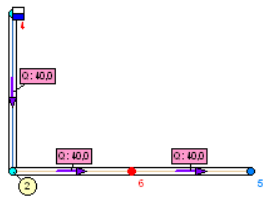
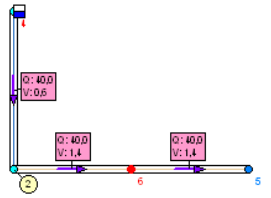
2) проведите трубопровод по выработкам. Примем, что на участке *1–2* пролегает магистральный трубопровод с внутренним диаметром трубы 150 мм, а на участке *2–3* — участковый трубопровод с внутренним диаметром 100 мм;

3) установите в начале магистрального трубопровода в точке *1* резервуар. Он будет выступать в роли источника воды. Если вместо резервуара требуется поставить насос, то необходимо узел *1* отметить как поверхностный. С учетом требуемой уникальности номеров узлов и водопроводных устройств номер резервуара будет *5*;

4) установите на участковом трубопроводе два крана через каждые 50 м. С учетом требуемой уникальности номеров узлов и водопроводных устройств их номера будут *6* и *7*. Откройте кран *7*, указав для него величину потребления воды 40 м^3/ч. Теперь будем рассматривать параметры следующих участков трубопровода: *5–2*, *2–6* и *6–7*.

5) Проведите расчет, нажав клавишу `<F9>`, откройте технологическую схему, нажав `<F7>` и включите отображение направления течения воды в трубах (так проще воспринимать результаты).

Рассмотрим смысл параметров, которые можно выводить на технологической схеме. Для этого ниже приводится таблица с параметрами, комментариями к ним и частью изображения технологической схемы.

Параметр и комментарий	Схема
Расход воды на участках (Q) Показывает объем воды, проходящей через поперечное трубы сечение на данном участке трубопровода за единицу времени (м^3/ч). Расход выводится для каждого участка трубы.	
Скорость течения воды (V) Скорость движения воды определяется путем деления значения расхода воды на значение поперечного сечения трубы на данном участке (м/с). Таким образом, чем больше поперечное сечение трубы, тем меньше в ней скорость движения воды (см. рис. справа) и тем меньше потери напора.	

Гидравлическое сопротивление участка (R) Рассчитывается по СНИП 2.04.02-84, выводится для каждого участка трубы. Больше является справочной величиной для возможности проверки «вручную», нежели параметром для анализа. Гидравлическое сопротивление тем больше, чем выше скорость движения воды и меньше диаметр трубы.	
Гидравлический уклон (100i) Гидравлический уклон (*i*) — это потери давления на единицу длины трубы. Т.к. это малая величина, то в большинстве случаев рассматривают потери не на 1 м, а на 100 м длины трубопровода. Также делается и в программе «Водоснабжение».	
Перепад давлений на участке (dP) Перепад давлений (м вод.ст.) — это разница давлений в начальной и конечной точках участка трубопровода. В отличие от «потерь напора» (см. ниже) в «перепаде давлений» учитывается напор, создаваемый насосом и собственным весом воды.	
Перепад высот (dZ) Перепад высот — это разница высотных отметок начального и конечного узлов данного участка трубопровода. Этот параметр результатом расчета не является, и включен в группу «Результаты расчета» для возможности его сравнения с перепадом давлений и потерями напора.	
Потери напора (h) Потери напора (м вод.ст.) указывают насколько изменилось давление воды за счет гидравлического сопротивления трубы на данном участке трубопровода. В величину потерь напора не входит напор, создаваемый насосом и собственным весом воды.	
Давление в узлах (P) Расчетная величина давления воды в начальном и конечном узлах участка трубопровода (м вод.ст.).	
Показания манометров (M) Показания манометров, указанные пользователем самостоятельно. В программе «Водоснабжение» учитываются только манометры, установленные вблизи водопроводного оборудования. Показания манометров заносятся в окне «Оборудование» (м вод.ст.). На схеме показания манометров выводятся только там, где указано их ненулевое значение.	

Из рисунков в таблице видно, что при выводе результатов можно показывать сразу группу параметров, но наиболее важными из них являются *расход воды*, *потери напора* и *узловое давление*. Именно эти характеристики определяют состояние трубопроводной сети шахты и указывают на то, будет ли присутствовать вода в определенной точке трубопровода или нет. Все остальные параметры приводятся для проведения оценок, сравнений с «ручным» расчетом, включения их в конечный отчет и т.д. Более подробному рассмотрению параметров *расход*, *узловое давление* и *потери напора* отводится последний раздел этой главы.

Режимы раскраски

Для просмотра результатов расчета на технологической схеме наряду с цифровыми значениями можно использовать специальную цветовую раскраску — раскраску по давлениям. Этот режим раскраски доступен только при успешном завершении расчета, и включается он выбором в меню технологической схемы пункта Вид⇒Цветовая подсветка⇒По давлениям.

В режиме раскраски по давлениям на технологической схеме для окраски выработок используется только три цвета: *белый*, *синий* и *красный*. Белый цвет обозначает участки выработок, на которых трубопровод отсутствует. Синий цвет соответствует участкам выработок, на которых в трубопроводе обеспечивается положительное давление воды. Красный цвет соответствует участкам с отрицательным давлением воды.

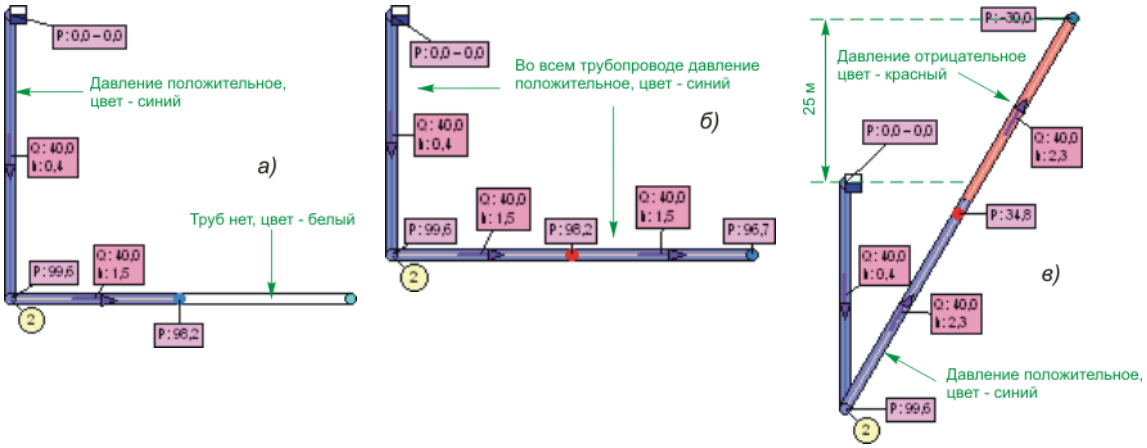


Рис. 4.11. технологическая схема в режиме окраски по давлениям.

Выше показан рисунок с изображениями схемы в режиме окраски выработок по давлениям. На нем хорошо видно, что на двух левых схемах (*а* и *б*) во всем трубопроводе обеспечивается положительное давление, в то время, как на правой схеме (*в*) — только в части трубопровода.

Пример проведения анализа 3

Рассмотрим рис. 4.11в подробнее и попытаемся разобраться, почему вода в трубопроводе распределилась именно таким образом. Первое: точка потребления находится выше источника, поэтому при отсутствии потребления воды (а, следовательно, ее движения) вода в системе уравновесится, и ее уровень в трубах будет находиться на уровне резервуара. Второе: при открытии крана вода начнет двигаться к нему от источника (помним, что идеология программы построена таким образом, чтобы вода к потребителю обязательно поступала), поэтому появятся потери на трение. В таблице Пожарный трубопровод (параметр «Потери напора») видим, что величина потерь в вертикальной выработке составляет 0,37 м вод.ст., а в наклонной—

4,68 м вод.ст. Поэтому с учетом потерь напора на трение воды о стенки труб уровень воды в трубе наклонной выработки будет ниже резервуара. Третье: уровень воды, до которого будет «дотягивать» вода при ее выкачивании краном из трубопровода, отмечен границей красного и синего цвета. Красная зона – это зона отрицательных давлений, вода в ней отсутствует, поэтому делаем вывод о том, что на кране указанный расход воды обеспечиваться не будет. Чтобы вода на открытом кране была с давление в нормативных пределах, нужно обеспечить для ее дополнительный напор 90 м вод.ст. (9 кгс/см^2), установив насос или указав на резервуаре дополнительное давление (рис. 4.12).

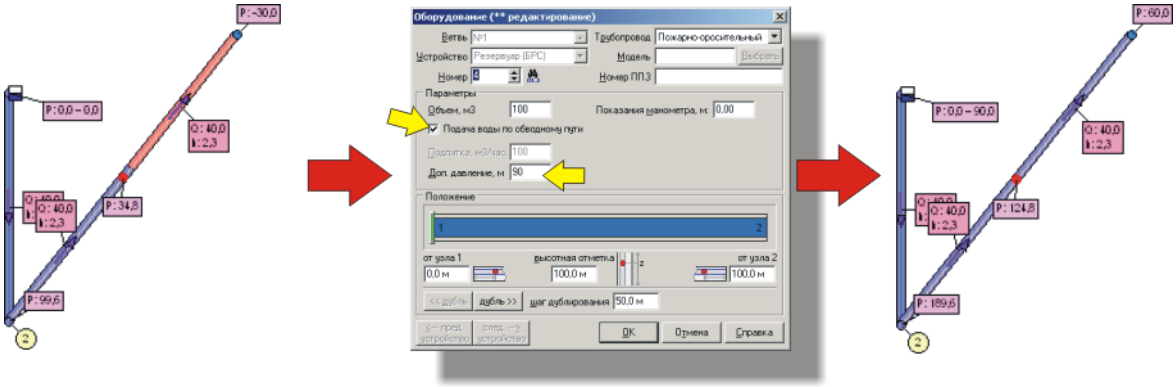


Рис. 4.12. Внесение дополнительного давления на резервуаре

В заключение этого раздела остается добавить, что в реальной шахте количество участков трубопровода может быть огромным, поэтому результаты расчета на технологической схеме следует выводить только на наиболее важных участках и там, где проводится непосредственный анализ. Чтобы отключить вывод результатов расчета в одной или нескольких выработках, выполните следующие действия:

1) выделите на схеме одну или несколько ветвей и, удерживая указатель над выработкой, нажмите правую кнопку мыши;

2) в появившемся контекстном меню выберите пункт Убрать результат в ветви, чтобы отключить отображение результатов расчета для указанных выработок, или Показать результат в ветви, чтобы включить результаты (рис 4.13.).

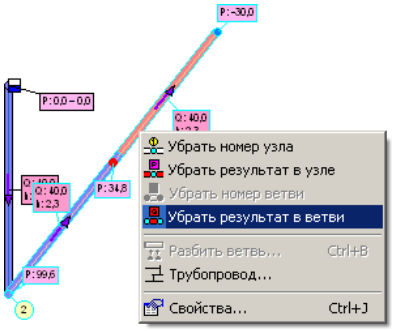


Рис. 4.13. Отключение вывода результатов для выбранных выработок

Аналогичным образом отключаются и включаются результаты в выбранных узлах. Для выбора всех узлов/выработок и отключения/включения в них результатов воспользуйтесь меню схемы Правка⇒Выделить все.

Топологическая схема

Топологическая схема предоставляет гораздо меньшие возможности для анализа результатов, чем технологическая. На этой схеме лишь доступна окраска труб по давлениям, что позволяет только оценить наличие или отсутствие воды в различных областях пожарно-оросительного трубопровода шахты. Это, в свою очередь удобно, т.к. на топологической схеме шахта изображается в пространственном виде с сохранением всех пропорций. Включение режима окраски по давлениям осуществляется из меню, показанного на рис. 4.14.

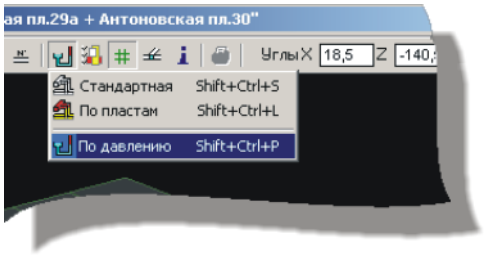


Рис. 4.14. Меню режимов окраски

Режим раскраски топологической схемы по давлениям доступен, если предыдущий расчет был успешно завершен. На рис. 4.15 показана схема, соответствующая ситуациям на рис. 4.12. Для лучшего восприятия на схеме включен режим «Только трубы», при котором отображается только трубопроводная сеть без выработок.

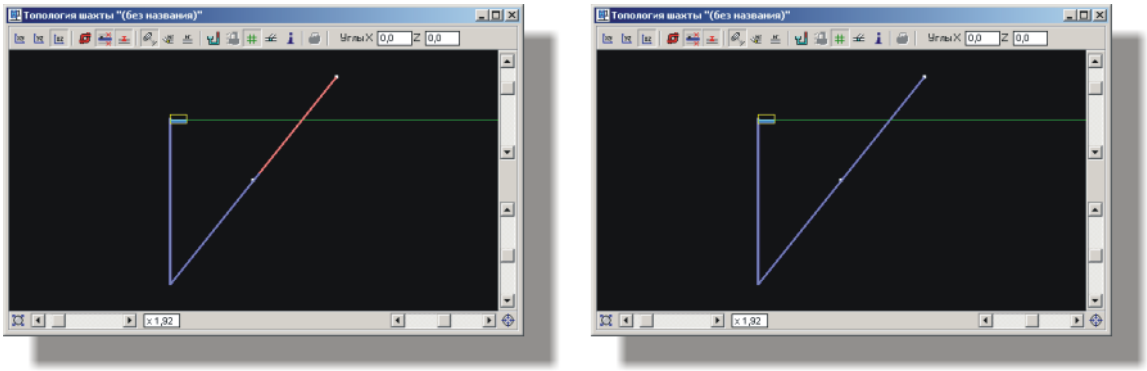


Рис. 4.15. Топологическая схема в режиме отображения «Только трубы» и раскраски по давлениям.

Рис. 4.15 показывает упрощенную схему из двух выработок с тремя участками трубопровода, и эффект объем здесь не «чувствуется». Чтобы показать его, приведем схему водоснабжения реальной шахты с раскраской по давлениям. Шахта представлена в двух различных ракурсах. Даже не обладая знаниями значений узловых давлений, мы можем сразу оценить наличие или отсутствие воды в различных областях шахты. Но обратите внимание на слово «оценить», т.к. отрицательные давления еще не значат полное отсутствие воды в трубах. Подробнее об этом рассказывается в разделе «Замечания по узловым давлениям» ниже.

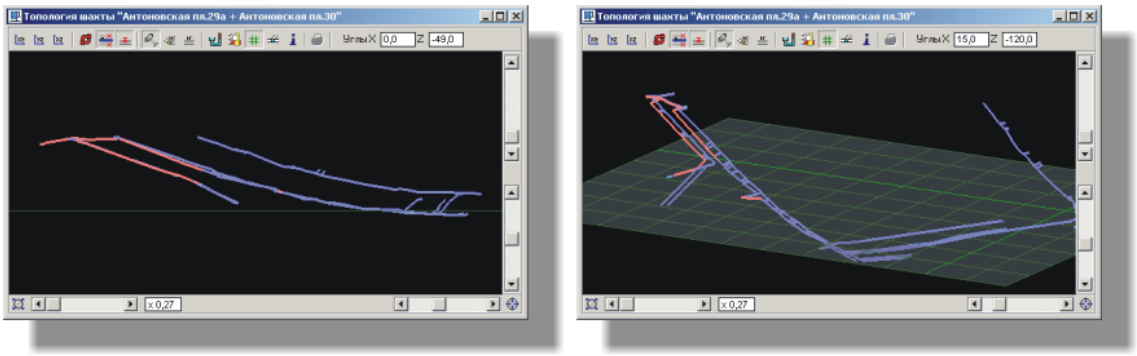


Рис. 4.16. Топологическая схема в режиме отображения «Только трубы» и раскраски по давлениям. На схеме трубопроводная сеть шахты «Антоновская»

Техническая статистика

Общая информация

Окно «Техническая статистика» показано на рис. 4.17. Оно содержит информацию, непосредственно участвующую в расчетах, и вызывается из главного меню Расчет⇒Статистика и результаты. В случае, если предварительно расчет проведен не был, то при попытке вызвать это окно появится сообщение «Расчет не произведен либо используется неверная библиотека».

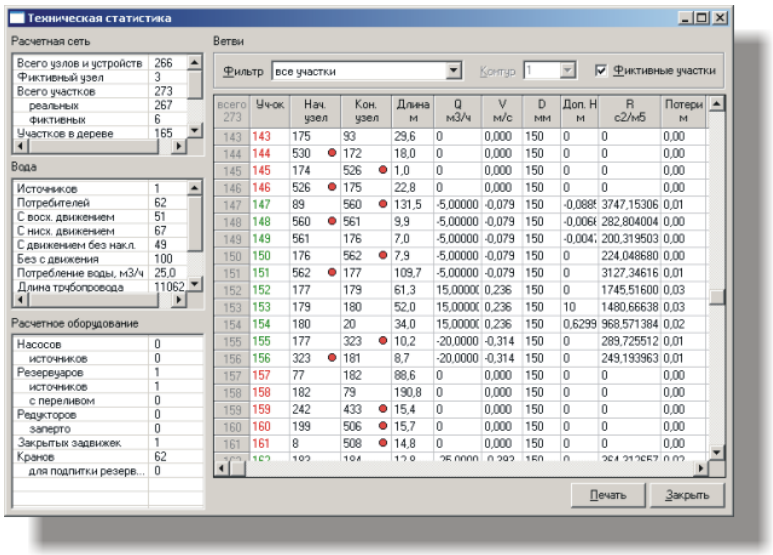


Рис. 4.17. Окно «Техническая статистика»

В левой части окна находятся три списка с общей информацией о трубопроводной сети (Расчетная сеть), информацией о потреблении и движении воды в трубах (Вода) и оборудовании, участвующем в расчетах (Расчетное оборудование).

В правой части окна расположена таблица с информацией об участках трубопровода. Для каждого участка указываются следующие данные:

- номер участка;
- номер начального узла участка;
- номер конечного узла участка;
- длина участка, м;
- расход воды, $м^3/ч$;
- скорость движения, м/ч;
- внутренний диаметр трубы, мм;
- гидравлическое сопротивление, $с^2/м^5$;
- потери напора, м вод.ст.;
- перепад высот, м;
- давление в начальной и конечной точке участка, м вод.ст.;
- заметки.

Видно, что набор параметров практически совпадает с набором, отображающимся на странице Пожарный трубопровод окна документа. Но данные в окне «Техническая статистика» берутся напрямую из расчетной части программы. Здесь же для начальных и конечных узлов используются условные обозначения устройств, установленных на трубопроводе.

Т.к. в рассматриваемом окне выводится техническая информация, то здесь можно увидеть и фиктивные ветви, которые программа автоматически достраивает, чтобы сделать расчетную зону замкнутой. Зона не обязательно может совпадать со всей шахтой. Специальные предварительные алгоритмы отбрасывают участки, на которых движения воды быть не может, ускоряя, таким образом, сходимость итерационного процесса. Номера тех участки, которые в расчете участия не принимают, выделяются красным цветом. В них значения расхода, сопротивления и потерь напора всегда равны нулю. В остальных же участках, номера которых отмечены зеленым цветом, значения параметров выводятся с гораздо большей точностью, чем в таблице Водопроводная сеть и на технологической схеме.

Использование фильтров

Как уже неоднократно говорилось, количество данных в результатах расчета может быть огромным. В этом случае для поиска информации используются сортировка и фильтры. В окне «Техническая статистика» доступны только фильтры (рис. 4.18).

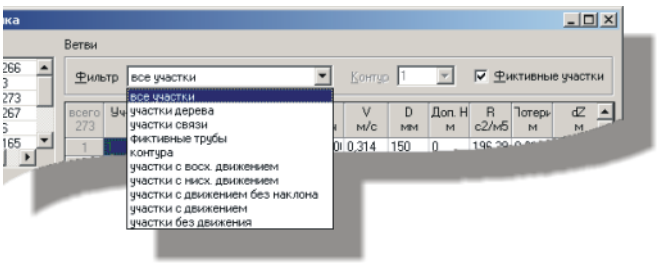


Рис. 4.18. Фильтры в окне «Техническая статистика»

Чтобы установить фильтр выберите его в выпадающем списке Фильтр. Описание фильтров приводится в следующей таблице.

Фильтр	Описание
Все участки	Выводит в таблицу все участки трубопровода (отключает фильтрацию данных).
Участки дерева	Выводит в таблицу только те участки трубопровода, которые были включены в расчетное дерево. В программе «Водоснабжение» дерево строится по минимальному гидравлическому сопротивлению.
Участки связи	Выводит в таблицу только участки-связи.
Фиктивные трубы	Выводит в таблицу фиктивные трубы, которые программа «Водоснабжение» строит автоматически для получения полностью замкнутой сети.
Контура	Выводит в таблицу участки, входящие в контура. Номер контура выбирается из выпадающего списка Контур.

Фильтр	Описание
Участки с восходящим движением	Выводит в таблицу наклонные участки трубопровода с восходящим движением воды.
Участки с нисходящим движением	Выводит в таблицу наклонные участки трубопровода с нисходящим движением воды.
Участки с движением без наклона	Выводит в таблицу горизонтальные участки трубопровода с движением воды.
Участки без движения	Выводит в таблицу участки трубопровода, в которых движение воды отсутствует.

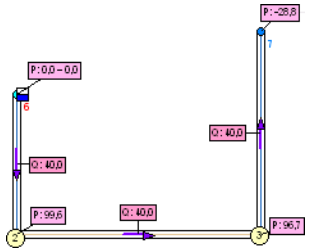
Применяя фильтры, можно выводить в таблицу с участками трубопровода, только необходимые данные. В дополнение к фильтрам можно использовать переключатель Фиктивные трубы. С помощью него можно отключить вывод в таблицу фиктивных ветвей для ряда фильтров.

Замечания по узловым давлениям

В заключение рассмотрим несколько примеров с анализом результатов расчета и покажем смысл отрицательных значений узловых давлений, но прежде чем это сделать повторимся, что наиболее важными параметрами в результатах расчета являются *расход воды* на участках трубопровода, *потери напора* и *узловые давления*.

Пример проведения анализа 4

Этот пример аналогичен примеру 3, поэтому подробно его рассматривать не будем, но чтобы показать принципиальное отличие двух ситуаций, приведем его в несколько другой форме.



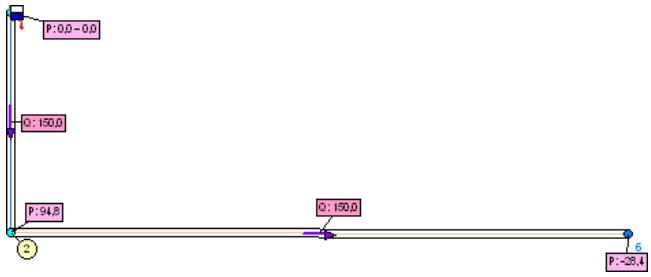
Ситуация: имеем источник (резервуар 6) и потребитель (кран 7) с потреблением воды в объеме 40 м^3/ч. Потребитель расположен на 25 м выше источника, поэтому при отсутствии дополнительного напора (посредством насоса или доп. давления на резервуаре) на кране 7 в результате расчета имеем отрицательное значение давления.

Анализ: т.к. кран выше источника, то без дополнительного напора воды там вообще не будет. Это заключение мы делаем самостоятельно на основании рассматриваемой конфигурации. Значение давления на кране, взятое по модулю, означает необходимый напор, который нужно создать, чтобы в кране появилась вода, поэтому если бы вместо резервуара стоял бы насос с недостаточной мощностью, то ситуация бы осталась прежней.

Пример проведения анализа 5

Теперь рассмотрим несколько иную ситуацию с отрицательными давлениями.

Ситуация: имеем источник, расположенный на 100 м выше потребителя. Длина горизонтального участка 300 м. У потребителя указан расход воды 150 м^3/ч.



Анализ: Т.к. источник находится выше потребителя, то у потребителя вода будет всегда, поэтому нужно вспомнить, как рассчитываются узловые давления: сумма напоров, создаваемых весом воды и насосами, с вычетом из нее потерь на трение. Отсюда делаем вывод, что потери в трубопроводной сети превышают создаваемый напор. Выхода два: 1) увеличить напор, установив дополнительный насос или указав доп. давление на резервуаре; 2) снизить потери, уменьшив расход воды на потребителе. На рис. 4.18 и 4.19 показаны оба варианта.

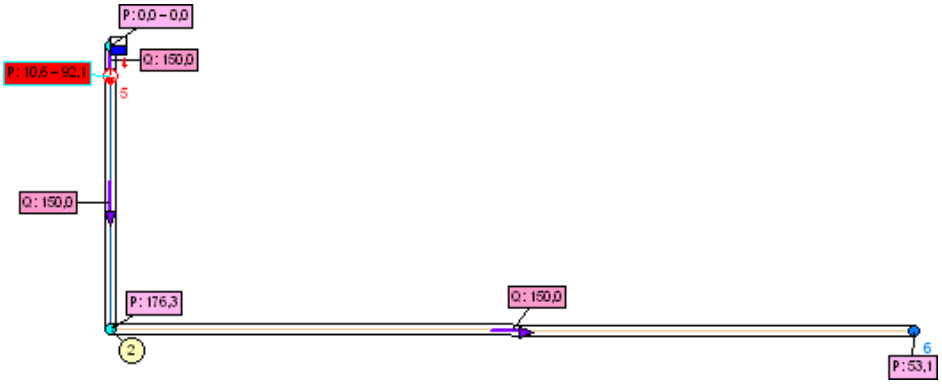


Рис. 4.18. Решение проблемы нехватки давления путем установки насоса

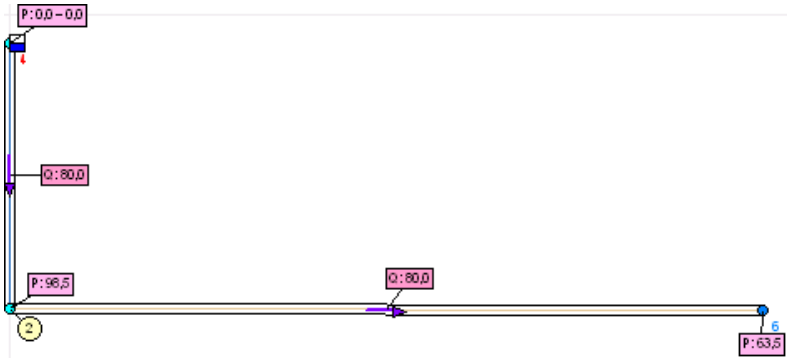


Рис. 4.19. Решение проблемы нехватки давления путем снижения расхода

Пример проведения анализа 6

Еще один пример демонстрирует неправильную уцстановку гидроредуктора, в результате чего могут также появиться отрицательные значения давления.

Ситуация: имеем конфигурацию, показанную на рис. 4.20. В сети установлен резервуар-источник *4*, ниже которого на 200 м находится потребитель (кран *6*) с объемом потребляемой воды 80 м^3/ч. Кроме того, на расстоянии 50 м от резервуара установлен гидроредуктор *5* с настройкой на входное давление 16 кгс/см^2 (160 м вод.ст.). При расчете в окне «Анализ результатов» были показаны два сообщения (рис. 4.21).

Анализ: в первую очередь обратим внимание на первое сообщение в окне «Анализ результатов», после чего станет ясно, что гидроредуктор *5* либо неправильно установлен, либо неправильно настроен. У используемой модели гидроредуктора (КР-3) минимальное входное давление должно составлять 160 м вод.ст., следовательно редуктор неправильно установлен. При настройке на «входные» 16 м вод.ст. у гидроредуктора возникает сильно сопротивление, поэтому после него давление стало отрицательным.

При внимательном рассмотрении мы увидим, что в следующей за гидроредуктором точке (узел *2*) давление становиться уже положительным. Точку с нулевым давлением легко найти, включив окраску по давлениям (рис. 4.22).

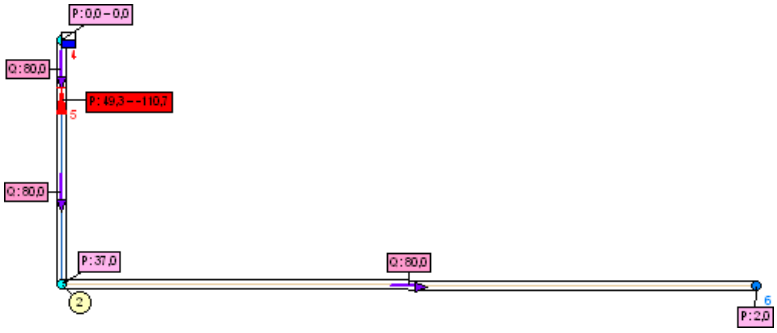


Рис. 4.20. Конфигурация с неправильной установкой гидроредуктора

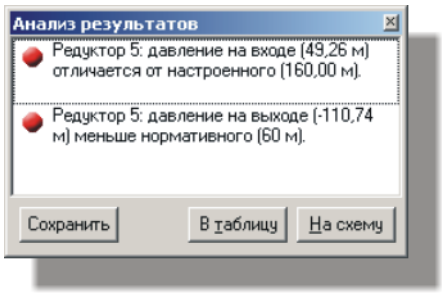


Рис. 4.21. Сообщения в окне «анализ результатов»

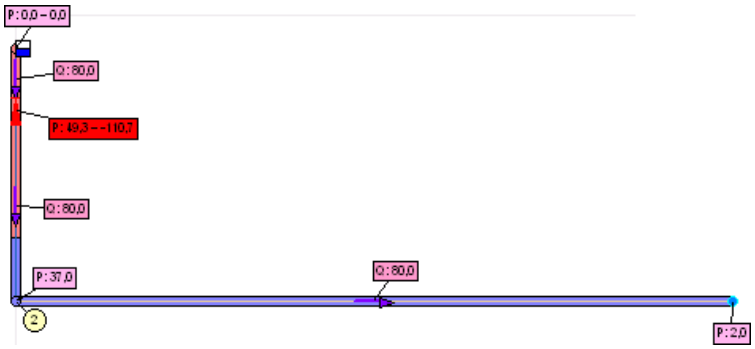


Рис. 4.22. Поиск «нулевой» точки путем включения окраски по давлениям

Появление положительного давления в узле 2 означает, что труба в вертикальной выработке обладает достаточной пропускной способностью, создаваемый в ней напор воды больше потерь на трение.

Решение проблемы: переустановить гидроредуктор 5 на расстояние около 160 м от резервуара 4.

Приложение 1. СНИП 2.04.02-84

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

1. Потери напора в трубопроводах систем подачи и распределения воды вызываются гидравлическим сопротивлением труб и стыковых соединений, а также арматуры и соединительных частей.

2. Потери напора на единицу длины трубопровода («гидравлический уклон») *i* с учетом гидравлического сопротивления стыковых соединений следует определять по формуле

$$i = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{A_1}{2g} \cdot \frac{\left(A_0 + \frac{C}{v}\right)^m}{d^{m+1}} \cdot v^2, \qquad (1)$$

Где λ — это коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый по формуле (2)

$$\lambda = \frac{A_1}{d^m} \cdot \left(A_0 + \frac{B_0 \cdot d}{\mathrm{Re}}\right)^m = \frac{A_1}{d^m} \cdot \left(A_0 + \frac{C}{v}\right)^m, \qquad (2)$$

где d — внутренний диаметр труб, м;

v — средняя по сечению скорость движения воды, м/с;

g — ускорение силы тяжести, м/с ;

$Re = vd/v$ — число Рейнольдса;

$B_0 = CRe/vd;$

v — кинематический коэффициент вязкости транспортируемой жидкости, м^2/с.

Значения показателя степени т и коэффициентов Ао, А\ и С для стальных, чугунных, железобетонных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных труб должны приниматься, как правило, согласно табл. 1.

Таблица 1.

№ п.п.	Вид труб		*m*	A_0	1000 A_1	1000 $A_1/2g$	*C*
1	Новые стальные без внутреннего защитного покрытия или с битумным защитным покрытием		0,226	1	15,9	0,810	0,684
2	Новые чугунные без внутреннего защитного покрытия или с битумным защитным покрытием		0,284	1	14,4	0,734	2,360
3	Неновые стальные и неновые чугунные без внутреннего защитного покрытия или с битумным защитным	v < 1,2 м/с	0,30	1	17,9	0,912	0,867
		v > 1,2 м/с	0,30	1	21,0	1,070	0
4	Асбестоцементные		0,19	1	11,0	0,561	3,51

№ п.п.	Вид труб	*m*	A_0	1000 A_1	1000 $A_1/2g$	*C*
5	Железобетонные виброгидропрессованные	0,19	1	15,74	0,802	3,51
6	Железобетонные центрифугированные	0,19	1	13,85	0,706	3,51
7	Стальные и чугунные с внутренним пластмассовым или полимерцементным покрытием, нанесенным методом центрифугирования	0,19	1	11,0	0,561	3,51
8	Стальные и чугунные с внутренним цементно-песчаным покрытием, нанесенным методом набрызга с последующим заглаживанием	0,19	1	15,74	0,802	3,51
9	Стальные и чугунные с внутренним цементно-песчаным покрытием, нанесенным методом цен-	0,19	1	13,85	0,706	3,51
10	Пластмассовые	0,226	0	13,44	0,685	1
11	Стеклянные	0,226	0	14,61	0,745	1

Примечание. Значение *C* дано для $\nu = 1{,}3 \cdot 10^{-6}$ м^2/с (вода, t=10°С).

Эти значения соответствуют современной технологии их изготовления.

Если гарантируемые заводом-изготовителем значения A_0, A_1 и С отличаются от приведенных в табл. 1, то они должны указываться в ГОСТ или технических условиях на изготовление труб.

3. При отсутствии стабилизационной обработки воды или эффективных внутренних защитных покрытий гидравлическое сопротивление новых стальных и чугунных труб быстро возрастает. В этих условиях формулы для определения потерь напора в новых стальных и чугунных трубах следует использовать только при проверочных расчетах в случае необходимости анализа условий работы системы подачи воды в начальный период ее эксплуатации.

Стальные и чугунные трубы следует, как правило, применять с внутренними полимер-цементными, цементно-песчаными или полиэтиленовыми защитными покрытиями. В случае их применения без таких покрытий и отсутствия стабилизационной обработки к значениям A_1 и С по табл. 1 и значению *K* по табл. 2 следует вводить коэффициент (не более 2), величина которого должна быть обоснована данными о возрастании потерь напора в трубопроводах, работающих в аналогичных условиях.

4. Гидравлическое сопротивление соединительных частей следует определять по справочникам, гидравлическое сопротивление арматуры — по паспортам заводов-изготовителей.

При отсутствии данных о числе соединительных частей и арматуры, устанавливаемых на трубопроводах, потери напора в них допускается учитывать дополнительно в размере 10 — 20 % величины потери напора в трубопроводах.

5. При технико-экономических расчетах и выполнении гидравлических расчетов систем подачи и распределения воды на ЭВМ потери напора в трубопроводах рекомендуется определять по формуле

$$i = \frac{K \cdot q^n}{d^p}, \qquad (3)$$

где q — расчетный расход воды, л/с;

d — расчетный внутренний диаметр труб, м.

Значения коэффициента К и показателей степени *n* и *p* следует принимать согласно табл. 2.

Таблица 2.

№ п.п.	Вид труб	1000 *K*	*p*	*n*
1	Новые стальные без внутреннего защитного покрытия или с битумным защитным покрытием	1,790	5,1	1,9
2	Новые чугунные без внутреннего защитного покрытия или с битумным защитным покрытием	1,790	5,1	1,9
3	Неновые стальные и неновые чугунные без внутреннего защитного покрытия или с битумным защитным покрытием	1,735	5,3	2
4	Асбестоцементные	1,180	4,89	1,85
5	Железобетонные виброгидропрессованные	1,688	4,89	1,85
6	Железобетонные центрифугированные	1,486	4,89	1,85
7	Стальные и чугунные с внутренним пластмассовым, или полимерцементным покрытием, нанесенным методом центрифугирования	1,180	4,89	1,85
8	Стальные и чугунные с внутренним цементно-песчаным покрытием, нанесенным методом набрызга с последующим заглаживани-	1,688	4,89	1,85
9	Стальные и чугунные с внутренним цементно-песчаным покрытием, нанесенным методом центрифугирования	1,486	4,89	1,85
10	Пластмассовые	1,052	4,774	1,774
11	Стеклянные	1,144	4,774	1,774