ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»



тел/факс 8 (812) 602-78-97 contact@kommproekt.ru www.kommproekt.ru

> РП VV.S 01.10-2012 Обозначение документа

## РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

## VISUAL VECTOR. SPRINKLER

Программа расчета систем автоматического водяного пожаротушения

ВЕРСИЯ 7.0

Петрозаводск

2012

## СОДЕРЖАНИЕ

C	ОДЕРЖАНИЕ	2
1	ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ	3
	1.1 Назначение программы	3
	1.2 Демонстрационная версия	3
2	ПОСТРОЕНИЕ ГРАФА СЕТИ	3
	2.1 Расчетная схема	3
В	данном разделе приводится описание процедуры формирования топологии сети.	3
	2.2 Формирование топологии (начертания) сети. Общие вопросы	4
	2.3 Установка новых узлов	5
	2.4 Установка новой дуги	5
	2.5 Сеточная привязка и растровая подложка	6
	2.6 Удаление и перемещение элементов графа сети	9
	2.7 Сохранение схемы	9
3	ЗАПОЛНЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПО УЗЛАМ И УЧАСТКАМ СЕТИ	10
	3.1 Заполнение исходных данных по расчетной схеме. Общие вопросы	10
	3.2 Ввод информации об участках сети	10
	3.3 Ввод информации по узлам сети	13
	3.4 Работа со справочниками программы	16
	3.5 Дополнительные функции, использующиеся при построении расчетной схемы	19
4	ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ	20
	4.1 Математическая модель для проведения гидравлических расчетов	20
5	ПРОВЕДЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ПРОГРАММЕ	23
	5.1 Поверочный расчет сети с использованием «внутренней» увязки сети	25
	5.2 Поверочный расчет с использованием «внешней» увязки сети	32
	5.3 Упрощенный метод оптимизации диаметров сети	33
	5.4 Оптимальный синтез сети при использовании «внутренней» увязки	34
	5.4 Оптимальный синтез сети при использовании «внешней» увязки	36
6	ПРИМЕРЫ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ В ПРОГРАММЕ	37
	6.1 Задачи поверочного расчета	37
	6.2 Задачи синтеза	44

## 1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

## 1.1 Назначение программы

Программа для расчета систем автоматического водяного пожаротушения «Visual Vector. Sprinkler» реализует положения СП 5.13130.2009 в отношении гидравлического расчета автоматических систем водяного пожаротушения; при этом на конфигурацию самой сети не накладываются никакие специальные ограничения: сеть может быть произвольным образом закольцована, количество узлов отбора (точек истечения) и узлов подачи (точек поступления воды) не ограничено.

Программа позволяет работать с двумя типами расчетных схем: схемами с внутренней или внешней гидравлической увязкой, позволяет решать некоторые оптимизационные задачи, имеет встроенные средства визуализации и анализа результатов гидравлических расчетов.

Поскольку программа постоянно развивается, дополняется новыми возможностями и функциями, то внешний вид отдельных функциональных элементов программы может отличаться от представленных в описании. Информация о новых функциях и изменениях приводится на официальном сайте программы.

## 1.2 Демонстрационная версия

Демонстрационная версия программы предназначена исключительно для ознакомления с «идеологией» моделирования, внешним видом программы, а также с проведением ограниченных численных экспериментов с несколькими примерами, поставляемыми с программой. Из демонстрационной версии удалена вся функциональная часть, отвечающая за построения пользовательских расчетных схем, отсутствуют некоторые расчетные функции. Перечень демонстрационных примеров, поставляемых с программой, приведен ниже:

1) Exam001. Спринклерная сеть из примера №1 (раздел 6); вариант расчета с фиксированными отборами и внутренней гидравлической увязкой.

2) Exam002. Спринклерная сеть из примера №1 (раздел 6); вариант расчета с нефиксированными отборами и внешней гидравлической увязкой.

3) Ехат003. Спринклерная сеть из примера №2 (раздел 6); результаты оптимизационного расчета спринклерной сети.

## 2 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФА СЕТИ

#### 2.1 Расчетная схема

Расчетная схема – совокупность информации о топологии (начертании) сети, длинах, диаметрах, материалах труб отдельных участков, отборах потребителей и подачах водопитателей, а также высотном положении узлов сети. В зависимости от типа решаемой задачи набор исходных данных при построении расчетной схемы может различаться, но в целом процедура создания расчетной схемы остается постоянной и включает в себя несколько этапов, основными из которых являются:

- этап формирования топологии (начертания) сети в графическом редакторе программы,

- этап заполнения исходных данных по узлам и участкам сети.

В данном разделе приводится описание процедуры формирования топологии сети.

## 2.2 Формирование топологии (начертания) сети. Общие вопросы

Структура сети моделируется конечно ориентированным связным графом. Граф состоит из отдельных узлов и соединяющих их между собой дуг (участков). Для формирования графа, описывающего топологическую структуру сети, в программе используется собственный графический редактор. Графический редактор доступен сразу же после запуска программы (см. рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 Главное окно программы

Схема сети строится в окне представления графа сети с использованием команд графического редактора. При использовании средств выделения расчетных площадей схема должна быть построена в условном масштабе (с использованием сеточной привязки); при самостоятельном выборе «включенных» оросителей схема (см. раздел 5) может быть построена без масштаба. Основные функции графического редактора доступны из инструментальной панели «Рисование», которая по умолчанию расположена в левой части главного окна программы. Для построения графа сети необходимо установить узлы сети и соединить их дугами (участками). Участок сети определяется как гидравлически однородный элемент, в том смысле, что он обладает фиксированной длинной, внутренним диаметром, шероховатостью внутренней поверхности (либо потери энергии потока при движении по нему подчиняются одной зависимости) при этом совершенно необязательно, что расчетный (в модели) участок совпадает с реальным участком на сети. Один расчетный участок в модели может описывать сразу несколько последовательно или параллельно соединенных натурных участков. Принципы подобного эквивалентирования определяются самим пользователем. Участок сети в модели ограничен двумя узлами (начальным и конечным). Установка нового узла обычно является

следствием следующих причин: изменяется диаметр трубопроводов или материал труб, к сети подключается потребитель (пожарный кран, ороситель и т.д.), требуется промоделировать активное гидравлическое сопротивление (например, повышающий насос).

## 2.3 Установка новых узлов

Установить узел на сети можно двумя способами.

Способ первый. Использовать команду «Установить новый узел», которой соответствует в инструментальной панели «Рисование» пиктограмма \*. После перехода в режим установки узла необходимо выбрать соответствующее ему место в окне представления графа сети и щелкнуть левой кнопкой мышки. Для перемещения по пространству модели в окне представления графа сети могут быть использованы полосы прокрутки, команды «Показать все» и «Просмотр представления графа сети» инструментальной панели, а также масштабный бегунок. Увеличить масштаб отображения графа сети можно также с помощью команды «Включить режим масштабирования представления графа», которой соответствует пиктограмма . После перехода в этот режим при каждом щелчке левой кнопки мышки в окне представления графа сети масштаб отображения будет увеличиваться.

Способ второй. Использовать команду «Провести полидугу», которой соответствует в P. инструментальной панели «Рисование» пиктограмма Команда полидуга позволяет построить совокупность узлов, уже соединенных между собой участками (дугами). После перехода в режим «Провести полидугу» программа ждет от пользователя указания по установке первого узла полидуги. Это может быть уже существующий узел: в этом случае пользователь указывает его курсом мышки и щелкает левой кнопкой мышки. Если узел новый, то необходимо выбрать соответствующее ему место в окне представления графа сети и щелкнуть левой кнопкой мышки. После установки первого узла программа ожидает от пользователя выбора следующего узла, местоположение которого также определяется левым щелчком мышки по месту предполагаемой установки узла. Он также может быть уже существующий: в этом случае после выбора его курсором с последующим щелчком левой кнопкой мышки программа соединит дугой первый и второй узел. В случае, когда второй узел новый, программа соединит дугой первый и второй узел и будет ждать от пользователя выбора следующих узлов. Процесс построения полидуги прерывается в том случае, если пользователь укажет в качестве узла полидуги существующий узел, либо при выборе пункта «Завершить построение» всплывающего (контекстного меню). Контекстное меню можно вызвать в любой момент с помощью щелчка правой кнопки мышки по окну представления графа сети (см. рисунок 2.2).



Рисунок 2.2. Контекстное меню графического редактора

## 2.4 Установка новой дуги

Соединить два узла между собой можно либо с помощью команды «Провести полидугу» описанной ранее, либо с использованием команды «Установить новые дуги», которой соответствует в инструментальной панели «Рисование» пиктограмма Э. После перехода в режим «Установить новые дуги» программа ждет от пользователя указания по выбору ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

начального узла дуги. Это должен быть обязательно уже установленный ранее узел. После щелчка левой кнопкой мышки по существующему узлу программа перейдет в режим ожидания выбора пользователем конечного узла сети. Выбор этого узла делается аналогичным образом – с помощью щелчка левой кнопки мышки. Кроме дуг, моделирующих т.н. «пассивные» сопротивления, существуют дуги для моделирования «активных» гидравлических сопротивлений. Таковыми являются, например, повысительные насосные станции. Для создания участка с «активным сопротивлением» необходимо перейти в режим «Установить активное сопротивление» (ему соответствует пиктограмма  $\mathfrak{D}$ ) и указать начальный и конечный (уже ранее установленные) узлы сети.

## 2.5 Сеточная привязка и растровая подложка

Для облегчения задачи построения графа сети могут быть использованы следующие вспомогательные инструменты.

Сеточная привязка. При включенном режиме сеточной привязки любые графические построения производятся с учетом расположения узлов калибровочной сетки. В этом случае, например, установить узлы графа сети возможно только в узлах калибровочной сетки. Режим сеточной привязки включен по умолчанию при запуске программы. Отключить / Включить его можно с помощью главного меню программы «Исходные данные»  $\rightarrow$  «Сетка», либо нажатием кнопки F7, либо с помощью пиктограммы (при построении схем с соблюдением масштаба) в окне «Свойства модели сети» (см. ниже, также на рисунке 2.4.).

Растровая подложка. Значительно ускорить процесс построения расчетной схемы можно с использованием графических материалов и вспомогательных схем. При наличии оцифрованных материалов в формате Microsoft Bitmap их можно использовать в качестве подложки для подготовки расчетной схемы (см. рисунок 2.3).



Рисунок 2.3. Использование растровой подложки для построения модели сети

Информация о подложке для текущей схемы хранится вместе со схемой (в одном каталоге!), т.е. один раз загруженная в схему растровая подложка будет открываться и в последующие сеансы работы с данной схемой. Для загрузки растра в схему используется окно «Свойства модели сети», которое можно открыть, воспользовавшись соответствующей пиктограммой В правом верхнем углу главного окна программы или командой главного меню «Исходные данные» → «Свойства модели сети».

Общий вид окна «Свойства модели сети» представлен на рисунке 2.4.

Visual Vector				
Свойства модели сети				
Дополнительные сведен	ия о водопотреблени	ни		
Добавить распределенный г указанном количестве, куб.	10 сети объем водопотре м / час	бления в	0	
Раскраска графа сети				
📃 Отображать участки с сі	коростями движения, вь	ходящими	за пределы рекомендуе	мых
Минимальная рекомендуема	ая скорость движения, м	ı/c	0,2	
Максимальная рекомендуем	иая скорость движения,	м/с	1,2	
📃 Стратификация узлов гр	афа сети по давлению			
Уровень 1: давление от	0	м.в.с. до	10	M.B.C.
Уровень 2: давление от	10	М.В.С. ДО	40	M.B.C.
Уровень 3: давление от	40	м.в.с. до	60	M.B.C.
Уровень 4: давление свыше	60	M.B.C.		
Отображение текста –				
<ul> <li>Отображать текстовые и</li> <li>Отображать номера узл</li> <li>Отображать распределе</li> <li>Отображать фиксирован</li> <li>Отображать узловые оти</li> <li>Отображать материалы</li> <li>Отображать расходы и о</li> </ul>	пояснения на схеме ов сети иные узловые отборы нные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков жорости движения потою	ка на участи	ках сети	
Растровая подложка и п	ривязочная сетка –			
Цех-планы_ВК_29.10.bmp			Загруз	ить
Масштабный коэффициент	10			
Шаг сетки, м	0,25			
	🗸 ок			

### Рисунок 2.4. Окно «Свойства модели сети»

Не останавливаясь здесь подробно на настройках, связанных с визуализацией расчетной схемы и результатов расчетной схемы, отметим, каким образом осуществляется связь текущей расчетной схемы с растром. Для загрузки растра используется кнопка «Загрузить», после нажатия на которую, открывается стандартное диалоговое окно Windows, а программа ждет от пользователя выбора графического файла. Программой поддерживаются основные типы растровых изображений в формате .bmp, .jpg. При включенной растровой подложке ее можно отключить двумя способами.

Способ первый. При нажатии кнопки «Загрузить» и выборе несуществующего графического файла программа отключит связь графической схемы с растром;

Способ второй. С использованием переключателя «Растровая подложка», доступного из главного меню «Исходные данные» → «Растровая подложка». С отключенным переключателем «Растровая подложка» связь графической схемы с растром будет сохранена, но отображения растра будет выключено.

## 2.6 Удаление и перемещение элементов графа сети

Для удаления элементов графа сети используется команда «Удалить объекты графа и его представления», которой соответствует пиктограмма инструментальной панели «Рисование». После перехода в режим удаления следует выбрать элемент гидравлической цепи и щелкнуть левой кнопкой мышки, после чего данный элемент будет из цепи удален. Обратите внимание на порядок удаления из схемы элементов: любой узел цепи не может быть удален до тех пор, пока существует, по крайней мере, одна дуга, входящая или исходящая из данного узла.

При необходимости узлы графа сети можно перемещать вместе со связанными с ними дугами. Это операция осуществляется с помощью команды «Переместить объекты графа и его представления». Команде соответствует пиктограмма инструментальной панели «Рисование». После перехода в данный режим программа ожидает от пользователя выбора узла графа сети или объектов его представления (поясняющих надписей, маркеров и пр.), для которых будет производиться операция перемещения. Выбор узла или объекта осуществляется с помощью щелчка левой кнопки мышки. На следующем этапе следует выбрать новое месторасположения объекта и зафиксировать его также щелчком левой кнопки мышки. В том случае, если в качестве объекта для перемещения выбран узел, то автоматически вместе с ним перемещаются связанные с ним дуги.

## 2.7 Сохранение схемы

На любом этапе построения схемы ее можно сохранить с помощью команды главного меню «Файл»  $\rightarrow$  «Сохранить схему» или «Файл»  $\rightarrow$  «Сохранить схему как». Во втором случае в любом случае откроется стандартное диалоговое окно «Windows» с предложением выбрать папку и название для созданного проекта (см. рисунок 2.5).

После нажатия кнопки «Сохранить» будет создан файл с описанием расчетной схемы и сопутствующие базы данных. Таким образом, каждой модели сети соответствует один файл с описанием и несколько (в зависимости от конфигурации программы) файлов баз данных. Для удобства работы рекомендуется для каждой модели сети создавать свой отдельный каталог; в нем же должна храниться (если есть) растровая подложка к схеме.

При использовании команды «Файл»  $\rightarrow$  «Сохранить схему» программа сохраняет изменения в текущей схеме. В том случае, если пользователь работает со схемой ранее сохраненной на диске, то происходит ее обновление. Если схема еще не сохранялась на диск, то при выборе данной команды откроется стандартное диалоговое окно «Windows» с предложением выбрать папку и название для созданного проекта.

Сохранить к	ак					? 🔀
<u>П</u> апка:	🍛 ДИСК 1 (Z:)	[	•	🕁 🔁	) 💣 🎟 🗸	
Недавние документы Рабочий стол Мои документы Мой компьютер	in the test of tes					
Сетевое	<u>И</u> мя файла:	Untitled			×	Сохранить
окружение	<u>Т</u> ип файла:	Графическое описание сети			~	Отмена

Рисунок 2.5. Выбор названия схемы для ее сохранения на диск

## 3 ЗАПОЛНЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПО УЗЛАМ И УЧАСТКАМ СЕТИ

## 3.1 Заполнение исходных данных по расчетной схеме. Общие вопросы

После того как расчетная схема построена необходимо описать ее отдельные участки и узлы. На этом этапе вводится информация о длинах, диаметрах, гидравлических сопротивлениях участков, подачах водопитателей и отборов из узлов (истечения). В зависимости от типа решаемой задачи набор исходных данных может различаться. Например, при решении задачи оптимизации сети необязательно точно указывать диаметры всех участков сети – в общем случае они могут быть любые, а требуемые определяются по результатам расчетов. При моделировании действующих сетей наоборот важно задать все параметры системы «как есть». При расчете сетей с использованием «внешней увязки» требуется задавать технические характеристики водопитателей и коэффициенты расходов оросителей, а при использовании «внутренней увязки» только подачу водопитателей и фиксированные отборы оросителей при этом требуемый напор нагнетателей программа определяет самостоятельно.

Более подробно вопрос о требуемых для различных расчетов наборах исходных данных обсуждается в разделе 5. Здесь же остановимся на механизме ввода данных по узлам и участкам сети.

## 3.2 Ввод информации об участках сети

В качестве обязательной информации, вводимой по схеме для отдельного участка сети, является:

- внутренний диаметр участка сети,

- длина участка сети,

- материал труб участка сети.

Эту информацию пользователь должен задать перед проведением любых расчетов. В ряде случаев внутренний диаметр участка сети задается номинально, поскольку по результатам расчетов будет изменен (например, при решении задач оптимизации диаметров участков сети). Для ввода данных по участкам сети могут быть использованы два способа.

Способ первый. Использование сводной таблицы исходных данных (см. рисунок 3.1). При использовании данного способа можно ввести информацию по всем участкам сети. С помощью команды «Исходные данные» → «Сводная таблица исходных данных по участкам сети» можно открыть окно «Исходные данные», содержащее «Сводную ведомость исходных данных по участкам сети». Если был построен только граф сети и никакие дополнительные данные еще не вводились, то в «Сводной ведомости исходных данных по участкам сети» будут заполнены только первые три столбца (эти данные не подлежат редактированию). Пользователь должен самостоятельно заполнить столбцы с указанием внутренних диаметров участков трубопроводов, протяженности участка и материала труб.

Исходны	е данные	•			
Сводная в	едомость і	исходных д	анных по уча	асткам сети	
Участок №	Начало	Конец	Диаметр, мм	Протяженность трубопровода, м	Материал коммуникаций
1	1	2			
2	2	3			
3	3	4			
4	5	4			
5	6	5			
6	7	6			
7	1	7			
8	6	8			
9	8	3			
10	9	8			
11	3	10			
12	5	11			
13	11	12			
			<ul> <li>✓</li> </ul>	Закрыть окно	

#### Рисунок 3.1. Сводная таблица исходных данных по участкам сети

Способ второй. Использование команды «Установить свойства элементов графа» инструментальной панели «Рисование».

При использовании данного способа пользователь выбирает конкретный участок сети и устанавливает данные только для него. Для изменения (или ввода впервые) данных о конкретном участке сети необходимо воспользоваться командой «Установить свойства элементов графа» с инструментальной панели «Рисование». Этой команде соответствует пиктограмма *P*. После перехода в режим «Установить свойства элементов графа» следует выбрать нужный участок сети и щелкнуть по нему левой кнопкой мышки. В появившемся окне необходимо заполнить (или отредактировать) информацию о длине трубопровода, внутреннем диаметре трубы и ее материала (см. рисунок 3.2).

NetGuide	
Свойства участка ———	<b>D</b>
Номер участка	1
Идентификатор в базе данных	<u>10</u>
Начальный узел	1
Конечный узел	2
Диаметр участка сети, мм	<b></b>
Длина участка сети, м	
Материал труб	<b>_</b>
🔽 Фиксировать участок	
🗣 Установить	🔊 Закрыть окно

## Рисунок 3.2. Свойства участка сети

При использовании данного режима доступна дополнительная функция «Зафиксировать участок» (поставить галочку у поля «Фиксировать участок» в окне «Свойства участка»). Зафиксированный участок – это особый участок сети, обладающий специальными (в зависимости от расчетной задачи) свойствами. Например, при решении задачи оптимального синтеза на зафиксированных участках сети диаметры остаются такими, какими они были заданы пользователем изначально. Более подробно о возможностях фиксации участков можно прочитать в разделе, посвященному моделированию сетей.

Для дуг сети имитирующих активные гидравлические сопротивления (нагнетатели) вид окна «Свойства участка» будет несколько иной (см. рисунок 3.3).

NetGuide	×
Свойства участка	
Номер участка	<u>5</u>
Идентификатор в базе данных	37
Начальный узел	1
Конечный узел	5
Тип сопротивления	Hacoc-1
Узел входа	1
🗣 Установить 🍞 Допо	лнительно 🏼 🍽 Закрыть окно

## Рисунок 3.3. Свойства участка сети с «активным» гидравлически сопротивлением

В поле «Тип сопротивления» пользователь указывает характеристику сопротивления из справочника насосного оборудования и активных сопротивлений. Значение в поле «Узел входа» определяет знак условных потерь напора при движении жидкости по данному участку. Например, если активным сопротивлением является нагнетатель, то узел входа – должен ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

соответствовать всасу насоса.

## 3.3 Ввод информации по узлам сети

В качестве обязательной информации, вводимой по схеме для отдельного узла сети, является:

- величина фиксированного отбора или подачи,

- отметка поверхности земли в узле,
- тип узла в гидравлической модели,
- для внешнего узла дополнительно задается установленное в нем оборудование.

Замечание 1: В программе предусмотрено использование узлов двух типов: внутренних и внешних. Внешние узлы используются при моделировании сетей с использованием «внешней» увязки, т.е. расчета производимого с учетом фактической работы имеющегося нагнетательного оборудования. Для узлов с типом «внешний» необходимо указать тип нагнетательного (или емкостного) оборудования из справочника программы. Справочник программы можно дополнять новым оборудованием; этот вопрос будет рассматриваться далее.

Ввод информации по узлам также может осуществляться двумя способами с использованием сводной таблицы исходных данных или с помощью команды «Установить свойства элементов графа» инструментальной панели «Рисование».

Способ первый. Использование сводной таблицы исходных данных (см. рисунок 3.4). При использовании данного способа можно ввести информацию по всем участкам сети. С помощью команды «Исходные данные»  $\rightarrow$  «Сводная таблица исходных данных по узлам сети» можно открыть окно «Исходные данные», содержащее «Сводную ведомость исходных данных по узлам сети».

Исходные	данные			×
Сводная в	едомость исходных данных по	узлам сети		
Узел №	Фиксированный отбор, куб. м/час	Отметка узла, м	Свободный напор, м	
				-
1				
	🗸 🗸 Зак	рыть окно		

Рисунок 3.4. Сводная таблица исходных данных по узлам сети

14

Если был построен только граф сети и никакие дополнительные данные еще не вводились, то в «Сводной ведомости исходных данных по узлам сети» во всех столбцах, кроме первого, где отображается номер узла сети, будут выставлены значения по умолчанию (нули). Пользователь должен самостоятельно заполнить столбцы с указанием фиксированных отборов или подач (фиксированный отбор – положительное число, фиксированная подача – отрицательное число, равное по модулю значению подачи), отметкой уровня в узле, требуемым напором в узле. В ряде случае не обязательно или даже нецелесообразно изменять нулевые значения параметров. Более подробно этот вопрос рассматривается в разделах описания, посвященных проведению расчетов, здесь же приведем несколько частных примеров. При отсутствии отбора/подачи воды в сеть в узле поле «Фиксированный отбор» не заполняется (указывается нулевое значение). Отметка узлах может не задаваться, если производится расчет с использованием «внутренней увязки сети» и априори данный узел не является диктующим и не требуется знать расчетный напор в данном узле. Требуемый напор можно не вводить, если решается задача поверочного расчета с использованием «внешней увязки сети», поскольку в этом случае программа определяет фактические напоры в узлах сети с учетом указанного пользователем нагнетательного оборудования. В том же случае, когда используется «внешняя увязка сети» и пользователь решает задачу оптимального синтеза сети с выбором таких диаметров, когда требуется приблизить фактические напоры к требуемым, то требуемые напоры в узлах необходимо указать.

Способ второй. Использование команды «Установить свойства элементов графа» инструментальной панели «Рисование». При использовании данного способа пользователь выбирает конкретный узел сети и устанавливает данные только для него. Для изменения (или ввода впервые) данных о конкретном узле сети необходимо воспользоваться командой «Установить свойства элементов графа» с инструментальной панели «Рисование». Этой команде соответствует пиктограмма Г. После перехода в режим «Установить свойства элементов графа» следует выбрать нужный узел сети и щелкнуть по нему левой кнопкой мышки. В появившемся окне (см. рисунок 3.5) необходимо заполнить (или отредактировать) информацию об узловых отборах, отметке узла, свободном напоре. Только при использовании данного способа ввода информации об узлах доступна возможность указать тип узла (по умолчанию все узлы относятся «внутренние»; изменить тип узла и ввести информацию по «внешнему» узлу возможно только в окне «Свойства узла»). Значение в поле «Тип узла в гидравлической модели» «Внутренняя задача» означает, что в данном узле осуществляется фиксированный отбор потребителями либо фиксированная подача водопитателями. Если для всех узлов системы данное поле выставлено со значением «Внутренняя задача», то при моделировании сети будет использоваться процедура «внутренней увязки». При выставленном в поле «Тип узла в гидравлической модели» значении «Внешняя задача» пользователь должен выбрать в поле «Насосное оборудование» тип нагнетателя, тип водонапорной башни, резервуара или нефиксированного отбора из пополняемого справочника программы. Если в схеме есть хотя бы один узел с выставленным в данном поле значением «Внешняя задача», то при моделировании сети будет использоваться процедура «внешней увязки».

Visual Vector	×
Свойства узла	<b>n</b> 2
Номер узла	28
Идентификатор в базе данных	<u>249</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	0
Отметка узла, м	0
Свободный напор, м	0
Тип узла в гидравлической модели	Вкл. ороситель 💌
Насосное оборудование	Атмосфера 💌
🕄 Установить 📝 Дополнительн	о 🔊 Закрыть окно

## Рисунок 3.5. Свойства узла сети

В том случае, если узел является «внешним» становится доступной кнопка «Дополнительно» окна «Свойства узла». При ее нажатии появится окно с описанием свойств нагнетателя или нефиксированного отбора (см. рисунок 3.6), где пользователь может указать дополнительные параметры нагнетательного оборудования: размер рабочего колеса и частоту его вращения. Эти данные будут использоваться при проведении гидравлических расчетов.



### Рисунок 3.6. Окно свойств нагнетателя или нефиксированного отбора

Замечание 1. Данное окно может также использоваться для определения фактических подач и напоров нагнетателей с указанием рабочей точки на характеристике насосного оборудования, но только после проведения расчетов. Если расчеты не произведены, то в графах «Подача», «Напор», «КПД» будет указано «Нет данных».

Дополнительно в программу включена возможность задать расход потребителей, равномерно распределенный по длине сети. При этом такой способ задания узловых отборов может быть как единственный (узловые отборы не задаются), так и дополнительный (учитываются как узловые отборы, так и сосредоточенные). Указать распределенный по длине сети отбор можно из окна «Свойства модели сети», которое можно открыть, воспользовавшись соответствующей пиктограммой 🗐 в правом верхнем углу главного окна программы или командой главного меню «Исходные данные»  $\rightarrow$  «Свойства модели сети». Распределенный по длине отбор указывается в поле «Добавить распределенный по сети объем водопотребления в указанном количестве».

## 3.4 Работа со справочниками программы

При заполнении данных об участках системы и ее узлах используются некоторый массив данных, общий для любой системы. В числе этих данных: материал участков труб системы и отвечающая материалу эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб, сопротивления оросителей, фиктивные и местные гидравлические сопротивления, технические характеристики нагнетательного оборудования и резервуаров (при использовании «внешней ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

увязки» сети). Эта информация (многократного использования) хранится в специальных базах данных – справочниках. Пользователь может корректировать информацию в справочниках и дополнять ее по своему усмотрению. Добавленные материалы труб, сопротивления или нагнетатели становятся доступными при задании характеристик узлов и участков сети.

Для описания материалов труб и их гидравлических характеристик и особых гидравлических сопротивлений (местных сопротивлений, оросителей, фиктивных сопротивлений, имитирующих, например, водопонижение при откачке воды из скважин и пр.) доступен специальный справочник, который можно открыть с использованием команды главного меню программы «Исходные данные»  $\rightarrow$  «Справочник материалов труб и специальных сопротивлений». В окне справочника (см. рисунок 3.7) можно добавлять новые материалы и новые типы сопротивлений.

Для добавления нового материала в справочник необходимо с помощью курсоров опуститься в самый низ таблицы или нажать на кнопку «Добавить». Автоматически появится новая пустая запись, которую пользователь должен заполнить.

Cr	травочник					×
ſ	Справочник	материалов труб и специальных сопротивлений -				
	N≗	Описание	Название	Тип	Ш	
	1	Металлические водопроводные трубы	Сталь	Труба		
	2	Исключительно гладкие поверхности	Полимер	Труба		
	3	Обычная цементная штукатурка	Штукатурка	Труба		
	4	Деревянные лотки из досок	Дерево	Труба		
	5	Чугун	Чугун	Труба		
	• 6	Водопонижение скважины	Скважина	Сопротивление		
	<				4	•
		🗸 ОК 📝 Добавить	🚫 Удалить			

## Рисунок 3.7. Справочник материалов труб

В первом столбце указывается порядковый номер материала или гидравлического сопротивления в справочнике, во втором – краткое описание, в третьем – наименование, которое будет использоваться на графической схеме сети и в отчетах, в четвертом столбце указывается тип сопротивления (труба – в этом случае сопротивление моделируется как активное сопротивление с указанной эквивалентной шероховатостью внутренней поверхности, сопротивление – в этом случае для моделирования сопротивления используется полином  $h = a \times Q^2 + b \times Q + c$ , коэффициенты которого задаются в последующих столбцах данной таблицы, либо соотношение  $h = \frac{Q^2}{K}$ , где К - коэффициент производительности оросителя), в пятом столбце указывается эквивалентная шероховатость внутренней поверхности материала труб, значения следующих трех столбцов используется для описания коэффициентов полинома

 $h = a \times Q^2 + b \times Q + c$ , и значения коэффициента производительности оросителя K, если тип установлен в положение «сопротивление». Таким образом, сопротивление может быть задано с помощью коэффициентов полинома  $h = a \times Q^2 + b \times Q + c$ , либо с помощью коэффициента производительности оросителя K. Если заданы значения коэффициентов *a*, *b*, *c*, то задавать значения коэффициента производительности оросителя K не требуется и наоборот.

При нажатии на кнопку «Удалить» текущая запись в справочнике будет удалена.

Для описания нагнетателей и нефиксированных отборов (например, нагнетателей или емкостного оборудования) доступен справочник, который можно открыть с использованием команды главного меню программы «Исходные данные»  $\rightarrow$  «Справочник насосного оборудования и нефиксированных отборов» (см. рисунок 3.8).

![](_page_17_Figure_4.jpeg)

Рисунок 3.8. Справочник насосного оборудования и активных сопротивлений

Для добавления нового оборудования в справочник необходимо с помощью курсоров опуститься в самый низ таблицы «Наименования нагнетателя или отбора» или нажать на кнопку «Добавить». Автоматически появится новая пустая запись, которую пользователь должен заполнить. В описываемой версии программы технические характеристики оборудования описываются квадратными полиномами вида

 $H = a - b \times Q^2$ , КПД =  $q + w \times Q^2$ ,

где *H* - напор (давление) отвечающее подаче (расходу) *Q*, КПД - коэффициент полезного действия нагнетателя отвечающий подаче *Q*. Полиномами описываются нагнетательное оборудование, а также нефиксированные отборы (например, водонапорные башни). Более подробно вопрос об описании нефиксированных подач и отборов рассматривается далее.

В общем случае для описания технической характеристики используются как минимум две точки на сортаментной кривой (аппроксимация осуществляется по методу наименьших квадратов). Для каждой точки указывается подача и соответствующий ей напор, КПД и кавитационный запас. В целом для нагнетателя необходимо указать номинальный размер рабочего колеса насоса, его частоту вращения, коэффициент действия для обычных насосов устанавливается в 1. Для моделирования истечений жидкости в атмосферу можно использовать уравнения  $H = a - b \times Q^2$  при b = 0. Например, для описания истечения под уровень 2 метра достаточно указать два произвольных расхода с фиксированным напором в 2 метра.

Для работы специальных модулей программы может потребоваться более точное описание характеристик нагнетательного оборудования и дополнительные параметры. Для этого в специальных конфигурациях программы (например, при решении задач анализа энергопотребления) используется расширенный справочник нагнетательного оборудования, описание которого приводится отдельно.

## 3.5 Дополнительные функции, использующиеся при построении расчетной схемы

Проверка полноты массива исходных данных. После того как граф сети построен, информация по узлам и участкам введена можно произвести предварительный анализ схемы на предмет наличия всей необходимой для проведения расчетов информации. В частности, можно воспользоваться командой «Проверить исходные данные», которую можно вызвать из главного меню программы: «Исходные данные»  $\rightarrow$  «Проверить исходные данные». После запуска данной команды программа проверит базу данных участков и в случае, если по отдельным участкам информация введена (или введена не полностью) предложит ее заполнить. Заполнение информации производится в стиле команды «Установить свойства элементов графа» инструментальной панели «Рисование» для каждого участка, для которого введена не вся необходимая информация. Прервать процесс дополнения базы данных необходимыми сведениями можно в любой момент. Для этого в окне «Свойства участка» необходимо нажать на кнопку «Закрыть окно».

Проверка графа сети. Граф сети должен обладать некоторым набором свойств связности. В частности должно выполняться условие, в соответствии с которым, из любого узла в построенной сети, можно было бы попасть в любой другой (попасть из одного узла в другой можно, если узлы соединены между собой дугой-участком). С помощью команды «Проверить топологию схемы», которая вызывается из главного меню программы: «Исходные данные» → «Проверить топологию схемы» можно убедиться, что необходимые условия выполняются. Кроме того, при успешном завершении проверки программы выведет на экран выявленных ею циклов (колец) в графе сети. Эта информация может представлять отдельный

интерес для анализа гидравлической цепи. Можно также подсветить выделенные циклы на графе сети («Исходные данные» → «Подсветить выделенные циклы»). Прервать процесс подсветки можно в любой момент нажатием клавиши «Esc».

Поиск узла на схеме по номеру. Для поиска узла сети можно воспользоваться командой «Найти узел», которая вызывается нажатием клавиш «Ctr+S», либо из главного меню программы «Исходные данные» → «Найти узел». В появившемся окне программы (см. рисунок 3.9) необходимо указать номер интересующего узла.

Поиск узла	X
Укажите номер чала	
	-
-	
OK Cancel	

Рисунок 3.9. Поиск узлов на графе сети

Если указанный узел существует в схеме, то он отобразиться в центре окна представления графа сети.

## 4 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Для более подробного изучения вопроса рекомендуется обратиться к специальной литературе. В данном разделе кратко описываются базовые принципы моделирования сетей, использующиеся в программе Visual Vector. Sprinkler. При первом знакомстве с программой этот раздел можно пропустить, поскольку ниже вопросы моделирования сетей в программе будут рассматриваться на конкретных примерах, которые легко проследить при работе с программой.

## 4.1 Математическая модель для проведения гидравлических расчетов

Структура сети моделируется конечно ориентированным связным графом с *е* дугами и  $\upsilon$  вершинами. Математически линейный граф отображается  $\upsilon \times e$  матрицей инциденций *A*. Элемент  $a_{ki}$  матрицы *A* равен  $\mu 1$  в том случае, если i-я дуга инцидентна вершине k (правило знаков использует направленность дуги по отношению к инцидентной вершине) и 0 в том случае, если i-я дуга неинцидентна вершине k.

Деревом графа называется подграф, содержащий все вершины графа и не образующий ни одного замкнутого цикла. Дуги, входящие в дерево, называются ветвями дерева, остальные – хордами. Цикломатическое число, определяющее число хорд, находится по формуле  $\mu = (e - \upsilon + 1)$ . Любому произвольно выбранному дереву графа однозначно соответствует  $\upsilon - 1$  главное сечение и фундаментальная система  $\mu$  циклов.

Главное сечение представляет собой подмножество дуг графа, содержащее ветвь дерева и хорды, соединяющие два поддерева графа, которые образуются из рассматриваемого дерева после удаления этой ветви дерева; фундаментальный цикл – подмножество ребер графа, содержащее хорду и ветви графа, образующие единственную простую цепь, соединяющую

концевые точки этой хорды. Для ориентированного графа  $\upsilon - 1$  главное сечение математически записывается матрицей главных сечений Q, а система главных циклов – цикломатической матрицей B.

Элемент  $q_{ki}$  матрицы Q равен  $\mu 1$  в том случае, если i-я дуга принадлежит k-му сечению (правило знаков использует направленность дуги по отношению к направлению ветви дерева), и 0 в том случае, если i-я дуга не принадлежит k-му сечению.

Элемент  $b_{ki}$  матрицы *B* равен  $\mu 1$  в том случае, если i-я дуга входит в k-й фундаментальный цикл (правило знаков использует направленность дуги по отношению к направлению хорды цикла), и 0 в том случае, если i-я дуга не входит в k-й цикл.

Между матрицами A, Q, B существует взаимосвязь, матрица Q – может быть получена путем элементарных преобразований матрицы A, взаимосвязь между матрицами Q, B определяется основной теоремой топологии сетей: BQ' = QB' = 0. (4.1)

Последнее соотношение при некоторых условиях может быть представлено в более удобной для практического применения форме. Этим условием может быть, например, требование (4.2), чтобы в графе представления сети первые  $\upsilon - 1$  дуг являлись ветвями дерева сети, остальные  $\mu$  - хордами (ветвями антидерева).

Это условие может быть выполнено всегда при помощи перенумерации дуг графа. Преобразуем (4.1) при выполнении условия (4.2). Представим матрицы фундаментальных циклов и главных сечений в виде

$$Q = \begin{bmatrix} I \\ Q_2 \end{bmatrix},$$
  

$$B = \begin{bmatrix} B_1 \\ I \end{bmatrix},$$
(4.3)

где *I* - единичная матрица соответствующей размерности.

После подстановки (4.3) в (4.1) имеем  $\left[\frac{I}{Q_2}\right] \left[\frac{B_1}{I}\right]^T = 0 \Rightarrow Q_2 + B_1^T = 0$ . Из последнего

соотношения следует  $Q_2 = -B_1^T$ .

Рассмотрение законов движения воды в кольцевой сети дает два условия, позволяющие составить некоторое число уравнений для определения искомых неизвестных стационарной модели, описывающей мгновенное распределение потоков в сети:

1. Сумма линейных расходов, приходящих к любому узлу, равна сумме линейных расходов, уходящих от этого узла, плюс узловой расход;

2. В каждом замкнутом контуре сети (кольце) сумма потерь напора на участках h, где движение воды совершается по часовой стрелке (по отношению к данному контуру), равна сумме потерь напора на участках, на которых вода движется против часовой стрелки.

В матричной форме эти законы (законы Кирхгофа) могут быть сформулированы следующим образом

$$\begin{cases} Q \times \overset{\mathsf{p}}{q} = 0\\ \overset{\mathsf{p}}{B \times h} = 0 \end{cases}$$
(4.5)

Законы Кирхгофа при выполнении требования (4.2) из стандартной формы (4.5) могут быть преобразованы во вспомогательную (4.6):

ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

(4.4)

$$\left| \begin{cases} \rho \\ q = \begin{bmatrix} \rho \\ q_1 \\ p \\ q_2 \end{bmatrix} \\ \rho \\ h = \begin{bmatrix} \rho \\ h_1 \\ p \\ h_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} \left[ \frac{I}{Q_2} \right] \times \begin{bmatrix} \rho \\ q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} = 0 \\ \left[ \frac{B_1}{I} \right] \times \begin{bmatrix} \rho \\ h_1 \\ p \\ h_2 \end{bmatrix} = 0 \\ \Rightarrow \begin{cases} \rho \\ p \\ h_2 = -B_1 \times h_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \rho \\ q_1 = -Q_2 \times \rho \\ p \\ h_2 = -B_1 \times h_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \rho \\ q_1 = B_1^T \times \rho \\ p \\ h_2 = -B_1 \times h_1 \end{cases} \right.$$
(4.6)

Форма (4.6) наиболее удобна при реализации программного обеспечения для моделирования работы напорных сетей.

Система уравнений (4.5) не является определенной, порядок системы равен  $b = e = (v + \mu - 1)$ , число же неизвестных  $-2 \times e$ . Недостающие замыкающие соотношения можно получить из гидравлических соображений в виде характеристики гидравлических сопротивлений или насосного оборудования  $\tilde{h} = f(q)$ . В результате имеем систему уравнений порядка  $a = 2 \times e = 2 \times (v + \mu - 1)$  и числом неизвестных, равных  $2 \times e$ .

Для определения гидравлических потерь по длине трубопроводов используется соотношение Кольбрука:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = -2\lg\left(\frac{K_3}{3.7d} + \frac{2.51}{\operatorname{Rex}\sqrt{\lambda_1}}\right),\tag{4.7}$$

где  $K_{\mathfrak{I}}$ ,  $\Delta = \frac{K_{\mathfrak{I}}}{d}$  - абсолютная и относительная шероховатость трубы соответственно; d диаметр трубы;  $\lambda$  - коэффициент гидравлического трения;  $\operatorname{Re} = \frac{v \times d}{\zeta}$  - критерий Рейнольдса для соответствующего режима движения жидкости в трубе;  $\zeta$  - кинематическая вязкость воды для данных условий;  $v = \frac{4 \times q}{\pi \times d^2}$  - скорость движения жидкости в трубе.

Для моделирования истечения жидкости из оросителей используется соотношение из НПБ 88-2001  $Q_d = k \times \sqrt{H}$ , (4.8)

где *k* - коэффициент производительности оросителя, принимаемый по технической документации на изделие, *H* - напор перед оросителем.

Для моделирования технических характеристик насосного оборудования используются полиномы  $H = a - b \times Q^2$ , (4.9)

где a, b - некоторые коэффициенты, определяющие техническую характеристику нагнетателя. Для моделирования истечений жидкости в атмосферу можно использовать уравнения  $H = a - b \times Q^2$  при b = 0.

В наиболее общем случае программа «Visual Vector. Sprinkler» реализует алгоритм расчета системы уравнений (4.6) с замыкающими соотношениями (4.7)-(4.9) по следующей схеме («внешняя увязка»):

- все оросители рассматриваются как нефиксированные отборы, т.е. расход воды (отбор) через ороситель определяется по формуле (4.8) и зависит от фактического напора у оросителя,

- напор и подача водопитателя (насоса) определяется технической характеристикой нагнетателя и до проведения расчета неизвестны (известна только техническая характеристика),

- для моделирования расходов на внутреннее пожаротушения используются фиксированные отборы, т.е. для узлов отбора воды устройствами внутреннего пожаротушения (пожарными кранами) указываются требуемые расходы.

ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

22

В отдельных случаях целесообразен подход с использованием «внутренней увязки» сети, при котором расходы воды через ороситель задаются пользователем (считается, что они не зависят от напора у оросителя), подачи водопитателей также фиксированы (равным сумме отборов воды через оросители, пожарные краны и прочих потребителей). Такой расчет может быть полезен при предварительном изучении расчетной схемы, выборе оросителей и нагнетательного оборудования.

Оба подхода реализованы в программе и могут использоваться при расчетах систем.

## 5 ПРОВЕДЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ПРОГРАММЕ

Для проведения расчетов и представления результатов используются команды из разделов главного меню «Расчет», «Результаты» и инструментальной панели «Моделирование» (по умолчанию размещается в левой верхней части главного окна программы). Перед проведением любых расчетов пользователем должна быть построена расчетная схема графа сети с указанием необходимых данных об участках сети и узлах.

При расчете систем целесообразно работать с упрощенной расчетной моделью, но полностью эквивалентной в гидравлическом отношении исходной. Упрощение (свертка) возможны за счет исключения из расчетной схемы участков с неработающими в расчетном режиме оросителями. Например, схему на рисунке 5.1 целесообразно свести к расчетной схеме, приведенной на рисунке 5.2, в которой оставлены участки с оросителями только в границах расчетной площади, расположенной в наиболее невыгодной в гидравлическом отношении части сети.

24

![](_page_23_Figure_1.jpeg)

Рисунок 5.1. Исходная модель сети

![](_page_24_Figure_1.jpeg)

## Рисунок 5.2. Эквивалентная модель сети, подлежащая расчету

Далее приводится описание доступных в программе «Visual Vector. Sprinkler» расчетов с указанием необходимых для расчета исходных данных и пояснениями относительно интерпретации результатов расчетов.

## 5.1 Поверочный расчет сети с использованием «внутренней» увязки сети

**Цель расчета**: для заданных фиксированных подач водопитателей, отборов водопотребителей и при указанных длинах участков, их диаметрах и шероховатостях внутренней поверхности материала труб определить потокораспределение в сети, а также требуемые для обеспечения указанных пользователем минимальных напоров в узлах сети напоры водопитателей.

<u>Исходные данные</u>: структура графа сети, диаметры, длины и материалы труб участков, подачи водопитателей, отборы водопотребителей, отметки узлов сети, требуемые напоры у потребителей.

<u>Результат расчета</u>: потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); напоры в узлах сети; требуемые напоры водопитателей, при которых во всех узлах напоры не менее заданных.

Для проведения расчета используется команда главного меню программы «Расчет» -> «Гидравлический расчет» (кнопка для быстрого вызова F5), продублированная пиктограммой

ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

25

« на инструментальной панели «Моделирование». Если весь необходимый массив исходных данных введен, программа начнет гидравлический расчет и в случае успешного его завершения выведет на экран окно «Результаты расчета» (см. рисунок 5.3).

В данном окне указывается полученная по результатам расчетов информация о расходах, скоростях движения жидкости и диссипации энергии (потерях напора) на участках сети. На графе сети кроме того стрелками указываются направления движения жидкости, у каждого участка подписываются расходы, скорости, потери напора, а в узлах сети – напоры. В узлах подачи (узлах, в которых располагаются водопитатели) указываются минимальные напоры (отчитываемые от отметки узла), которые должны они развивать для того, чтобы обеспечить во всех узлах сети напоры не менее тех, которые заданы пользователем.

P	езультаты	і расчета						×
	N Участка	Начальный узел	Конечный узел	Расход, (л/с)	Диаметр, (мм)	Скорость, (м/с)	Материал труб	~
	1	2	1	0.65	20	2.07	Спринклер	
	2	3	2	1.57	25	3.19	Сталь	
	3	4	3	2.78	25	5.66	Сталь	
	4	5	4	4.63	32	5.75	Сталь	
	5	5	6	4.33	32	5.38	Сталь	
	6	6	7	2.45	25	5	Сталь	
	7	7	8	1.04	20	3.32	Сталь	
	8	9	5	8.95	50	4.56	Сталь	
	9	10	9	21.5	50	10.95	Сталь	
	10	11	10	21.5	50	10.95	Сталь	
	11	12	11	21.5	50	10.95	Сталь	
	12	13	12	38.3	50	19.51	Сталь	
	13	9	14	6.36	32	7.91	Сталь	
	14	14	15	3.35	25	6.82	Сталь	
	15	15	16	1.47	25	3	Сталь	
	16	16	17	0.58	20	1.86	Сталь	
	17	18	10	0	32	0	Сталь	
	18	19	18	0	25	0	Сталь	
	19	20	19	0	25	0	Сталь	
	20	21	20	0	20	0	Сталь	
	21	22	11	0	32	0	Сталь	
	22	23	22	0	25	0	Сталь	
	23	24	23	0	25	0	Сталь	
	24	25	24	0	20	0	Сталь	~
<	[]						>	

## Рисунок 5.3. Окно результатов гидравлического расчета сети

<u>Замечание 1.</u> Заметим еще раз, что при использовании «внутренней увязки» сети пользователь самостоятельно задает подачи водопитателей. Для того чтобы отличать подачи от отборов программа использует отрицательные значения отборов, для моделирования подач водопитателей. Узлы с отрицательными отборами (т.е. подачами) обозначаются кружками без заливки (узлы белого цвета), узлы с неотрицательными отборами обознаются кружками зеленого цвета).

После того, как гидравлический расчет проведен, становятся доступными средства анализа результатов расчета. Информацию о потокораспределении в сети можно получить с использованием отчета «Результаты расчета по участкам сети», который вызывается с использованием команды главного меню программы «Результаты» Э «Результаты расчета по ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

участкам сети» (кнопка для быстрого вызова Ctrl + Q). Общий вид отчета представлен на рисунке 5.4.

Пбласть	просмотра									
	просмотра									
	<u>РЕЗУЛ</u>	ЬТАТ	Ы ГИ,	ДРАВЛИЧ	<u>ЕСКОГ(</u>	<u> ЭРАСЧЕ</u>	<u>TA</u>			
	№ участка	Начало	Конец	Диаметр, мм	Длина, м	Расход, л/с	Скорость, м/с	Материал коммуникаций	Диссипация, м.в.с	
	1	2	1	20	3	1.2	3.82	Сталь	5.35	
	2	3	2	25	3	2.4	4.89	Сталь	6.62	
	3	4	3	25	3	3.6	7.33	Сталь	14.87	
	4	5	4	32	1.5	4.8	5.97	Сталь	3.62	
	5	5	7	32	1.5	3.0	4.40	Сталь	2.04	
	7	7	8	20	3	2.4	4.09	Сталь	5.35	
	8	9	5	50	3	8.4	4.28	Сталь	2.13	
	9	10	9	50	3	16.8	8.56	Сталь	8.5	
	10	11	10	50	3	16.8	8.56	Сталь	8.5	
	11	12	11	50	3	16.8	8.56	Сталь	8.5	
	12	13	12	50	3	16.8	8.56	Сталь	8.5	
	13	9	14	32	1.5	4.8	5.97	Сталь	3.62	
	14	14	15	25	3	3.6	7.33	Сталь	14.87	
	15	15	16	25	3	2.4	4.89	Сталь	6.62	
	10	10	1/	20	3	1.2	3.82	Сталь	5.35	
	18	19	18	25	3	0	0	Сталь	0	
	19	20	19	25	3	ő	ő	Сталь	0	
	20	21	20	20	3	0	0	Сталь	0	
	21	22	11	32	1.5	0	0	Сталь	0	
	22	23	22	25	3	0	0	Сталь	0	
	23	24	23	25	3	0	0	Сталь	0	
	24	25	24	20	3	0	0	Сталь	0	
	25	26	12	32	1.5	0	0	Сталь	0	
	26	27	26	25	3	U	U	Сталь	0	
	2/	20 29	28	20	3	0	0	Сталь	0	
	29	9	30	32	1.5	3.6	4.48	Сталь	2.04	
	30	30	31	25	3	2.4	4.89	Сталь	6.62	
	31	31	32	20	3	1.2	3.82	Сталь	5.35	
	32	33	10	32	1.5	0	0	Сталь	0	
	33	34	33	25	3	0	0	Сталь	0	
	34	35	34	20	3	0	0	Сталь	0	
	35	36	11	32	1.5	0	0	Сталь	0	

## Рисунок 5.4. Окно отчета по узлам сети

Для просмотра отчета используется кнопки «Вперед» и «Назад», для печати отчета на принтере кнопка «Печать», а для сохранения отчета в файл кнопка «В файл». После ее нажатия в рабочем каталоге программы будут созданы два текстовых файла «Узлы.txt» и «Дуги.txt», которые могут быть просмотрены с использованием любого текстового редактора.

Информацию о давлении (напорах) по узлам сети можно получить с использованием отчета «Результаты расчета по узлам сети», который вызывается с использованием команды главного меню программы «Результаты» -> «Результаты расчета по узлам сети» (кнопка для быстрого вызова Ctrl + P). Просмотр и печать отчета осуществляется аналогичным образом.

Для построения пьезометрических графиков используется специальный модуль «Пьезометр». Во программе «Visual Vector. Spinkler» используется упрощенная версия модуля, вызываемая с помощью команды «Построить пьезометрический график» инструментального меню «Моделирование», которой соответствует пиктограмма 2. После нажатия на пиктограмму (при использовании упрощенного модуля «Пьезометр») программа переходит ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

в режим ожидания указания пользователем тех узлов гидравлической сети, которые войдут в пьезометрический график. Выбор узла осуществляется щелчком по нему правой кнопки мышки. После выбора узла он должен изменить свой цвет. Двойной щелчок по одному и тому же узлу указывает программе, что список узлов составлен. После этого на экран будет выведено окно с пьезометрическим графиком; общий вид пьезометрического графика представлен на рисунке 5.5.

![](_page_27_Figure_2.jpeg)

Рисунок 5.5. Результат построения пьезометрического графика

При анализе результатов расчетов могут быть полезны функции по раскрашиванию элементов графа сети. В простейшем случае можно воспользоваться окном настроек модели сети (см. рисунок 5.6), которое вызывается соответствующей пиктограммой в правом верхнем углу главного окна программы или командой главного меню «Исходные данные» → «Свойства модели сети».

NetGuide								
- Свойства модели сети								
Дополнительные сведени	ия о водопотреблени	и						
Добавить распределенный по сети объем водопотребления в 500 указанном количестве, куб. м / час								
Раскраска графа сети								
📃 Отображать участки с ск	оростями движения, вы	ходящими з	за пределы рекомендуем	иых				
Минимальная рекомендуема	я скорость движения, м	/c	0.2					
Максимальная рекомендуем	ая скорость движения, і	м/с	1.2					
📃 Стратификация узлов гра	афа сети по давлению							
Уровень 1: давление от	0	м.в.с. до	10	M.B.C.				
Уровень 2: давление от	10	м.в.с. до	40	M.B.C.				
Уровень 3: давление от	40	м.в.с. до	60	M.B.C.				
Уровень 4: давление свыше	Уровень 4: давление свыше 60 м.в.с.							
Отображение текста —								
<ul> <li>Отображать текстовые пояснения на схеме</li> <li>Отображать номера узлов сети</li> <li>Отображать распределенные узловые отборы</li> <li>Отображать фиксированные узловые отборы</li> <li>Отображать фиксированные узловые отборы</li> <li>Отображать узловые отметки и напоры</li> <li>Отображать материалы труб и длины участков</li> <li>Отображать расходы и скорости движения потока на участках сети</li> </ul>								
Растровая подложка —								
Нет			Загруз	ить				
	🗸 ок							

## Рисунок 5.6. Окно настроек модели сети

Для отображения участков сети, скорости движения жидкости на которых выходят за пределы заданных пользователем интервалов, необходимо установить переключатель «Отображать участки со скоростями движения, выходящими за пределы рекомендуемых» в активное положение, а в полях «Минимальная рекомендуемая скорость движения» и «Максимальная рекомендуемая скорость движения» задать интервал скоростей. Например, при указанном интервале 0.2 – 1.2 все участки, скорости движения жидкости на которых превысят 1.2 м/с или будут составлять величины менее 0.2 м/с, отобразятся на графе сети красным цветом.

Для ранжирования узлов графа сети по давлению следует установить переключатель «Стратификация узлов графа сети по давлению» в активное положение и задать интервалы давлений (свободных напоров) в узлах.

<u>Замечание 1.</u> Функция раскраски сети доступна только после выполнения гидравлического расчета. Кроме того, после выполнения нового расчета раскраска графа сети автоматически отключается.

Дополнительно при работе с графом сети может быть удобна функция отключения отдельных (или всех) текстовых объектов. Для этой цели используются переключатели группы «Отображение текста».

Для подсветки узлов или участков сети, отвечающих определенным условиям, можно использовать генератор запросов, доступ к которому возможен с помощью команды «Запустить генератор отчетов» инструментальной панели «Моделирование» (пиктограмма <sup>∞</sup>), либо с использованием главного меню программы «Результаты» → «Генератор запросов». После запуска генератора запросов появится окно (см. рисунок 5.7) с предложением указать критерии выбора узлов и участков сети.

Генератор запросов				>
Поиск узлов				
🔲 Подсвечивать на схеме узлы, удовлет	зоряющие описанным ні	иже у	словиям	
🔲 Условия по сетевым отборам				
Узловые отборы меняются от	0	до	10	куб. м/час
🦳 Условия по отметкам поверхност	и			
Отметки поверхности меняются от	0	до	10	м
🔲 Условия по требуемым напорам				
Требуемые напоры меняются от	0	до	50	M.B.C.
Условия по фактическим напорат	1			
Фактические напоры меняются от	0	до	50	M.B.C.
Подсвечивать на схеме участки, удовл	етворяющие описанным	и ниж	е условиям	
Условия по расходам				
Расходы меняются от	0	до	10	л/с
Условия по скоростям				
Скорости меняются от	0	до	10	м/с
Условия по потерям напора				
Потери напора меняются от	0	до	10	M.B.C.
🗸 Подсветить выбранные элем	енты	<b>X</b> (	Снять визуализацию	

## Рисунок 5.7. Окно генератора отчета

Для подсветки узлов графа сети необходимо установить переключатель «Подсвечивать на схеме узлы, удовлетворяющие описанным ниже условиям» в активное положение. Напротив каждого условия, которое требуется учитывать при выборе узлов, также необходимо установить переключатель в активное положение и откорректировать (при необходимости интервал параметров). Аналогичным образом задаются критерии выбора участков графа сети.

Например, если необходимо подсветить те участки сети, на которых скорости движения жидкости меняются в интервале от 2 до 4 м/с, а потери напора не превышают 10 м.в.с., необходимо установить следующие параметры запроса (см. рисунок 5.8).

#### Генератор запросов Поиск узлов 🔲 Подсвечивать на схеме узлы, удовлетворяющие описанным ниже условиям: 🦳 Условия по сетевым отборам 0 10 Узловые отборы меняются от лο күб. м/час 🦳 Условия по отметкам поверхности 10 0 Отметки поверхности меняются от до м 🦳 Условия по требуемым напорам 0 50 Требуемые напоры меняются от до м.в.с. 🦳 Условия по фактическим напорам 50 0 Фактические напоры меняются от до м.в.с. Поиск участков 🔽 Подсвечивать на схеме участки, удовлетворяющие описанным ниже условиям 🦳 Условия по расходам 0 10 Расходы меняются от до л/с Условия по скоростям. 2 4 Скорости меняются от м/с лo 🔽 Условия по потерям напора 0 5 Потери напора меняются от до M.B.C. 🗸 Подсветить выбранные элементы X Снять визуализацию

## Рисунок 5.8. Настройки окно генератора отчета для выделения участков

После нажатия на кнопку «Подсветить выбранные элементы» окно генератора запросов закроется, а отвечающие критериям поиска узлы и участки сети будут выделены. Для того чтобы снять выделение с узлов или участков следует нажать на кнопку «Снять визуализацию». Следует иметь в виду, что генератор запросов становится доступным только после проведения гидравлического расчета, а раскраска графа сети сохраняется до повторного расчета (принудительно удалить ее можно нажатием на кнопку «Снять визуализацию»).

## 5.2 Поверочный расчет с использованием «внешней» увязки сети

<u>Цель расчета:</u> для заданных технических характеристик водопитаталей, отборов водопотребителей и при указанных длинах участков, их диаметрах и шероховатостях внутренней поверхности материала труб определить потокораспределение в сети, а также фактические свободные напоры в узлах сети, фактические подачи и напоры водопитателей.

<u>Исходные данные:</u> структура графа сети, диаметры, длины и материалы труб участков, характеристики водопитателей, отборы водопотребителей, отметки узлов сети.

<u>Результат расчета:</u> потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); фактические напоры и нефиксированные отборы (расходы оросителей) в узлах сети; фактические подачи и напоры водопитателей;

Для проведения расчета используется команда главного меню программы «Расчет» > «Гидравлический расчет» (кнопка для быстрого вызова F5), продублированная пиктограммой « на инструментальной панели «Моделирование». Если весь необходимый массив исходных данных введен, программа начнет гидравлический расчет и в случае успешного его завершения выведет на экран окно «Результаты расчета». В целом процедура расчета и возможности анализа полученных результатов аналогичны при проведении поверочного расчета с использованием «внутренней» тип увязки определяется увязки. Сам только наличием/отсутствием «внешних» узлов (более подробно этот вопрос рассматривался в разделе, посвященном построению расчетной схемы).

После проведения поверочного расчета при использовании «внешней» увязки можно получить более подробную информацию о подачах водопитателей с помощью команды «Установить свойства элементов графа» с инструментальной панели «Рисование». Этой команде соответствует пиктограмма <sup>Г</sup>. После перехода в режим «Установить свойства элементов графа» следует выбрать узел подачи и щелкнуть по нему левой кнопкой мышки. В появившемся окне нажать на кнопку «Дополнительно», после чего появится окно с описанием свойств нагнетателя или нефиксированного отбора (см. рисунок 5.9), где отображается техническая характеристика водопитателя с указанием рабочей точки; пользователь может указать дополнительные параметры нагнетательного оборудования: размер рабочего колеса и частоту его вращения. Эти данные будут использоваться при проведении последующих гидравлических расчетов.

![](_page_32_Figure_1.jpeg)

# Рисунок 5.9. Окно свойств нагнетателя с указанием положения рабочей точки на технической характеристике

## 5.3 Упрощенный метод оптимизации диаметров сети

<u>Цель расчета</u>: в соответствии с интервалом рекомендуемых «экономичных» скоростей движения жидкости определить диаметры участков сети. Исходные данные: те же, что и при проведении поверочных расчетов.

<u>Результат расчета:</u> диаметры участков сети; в зависимости от типа увязки. При использовании «внутренней» увязки сети: потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); напоры в узлах сети; требуемые напоры водопитателей, при которых во всех узлах напоры не менее заданных. При использовании «внешней увязки»: потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); фактические напоры и нефиксированные отборы (расходы оросителей) в узлах сети; фактические подачи и напоры водопитателей;

Для запуска расчета можно использовать команду главного меню программы «Расчет» → «Упрощенный метод оптимизации диаметров по Л.Ф. Мошнину» (кнопка для быстрого вызова F6), либо команду Упрощенный метод оптимизации диаметров по Л.Ф. Мошнину» инструментальной панели «Моделирование» (пиктограмма ). Независимо от используемого метода увязки сети команда «Упрощенный метод оптимизации диаметров по Л.Ф. Мошнину» на первом этапе определяет диаметры участков сети, исходя из интервалов «рекомендуемых» скоростей движения, на втором этапе осуществляет гидравлическую увязку сети с принятыми ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ» на предыдущем этапе диаметрами. В ходе оптимизационного процесса варьируются только диаметры тех участков сети, которые не обозначены пользователем как «зафиксированные».

## 5.4 Оптимальный синтез сети при использовании «внутренней» увязки

<u>Цель расчета</u>: подобрать такие диаметры сети, при которых давления в узлах сети (напоры) приближаются (сверху) к тем, которые заданы пользователем. При проведении расчета напоры водопитателей обеспечивают требуемый напор в узлах сети.

<u>Исходные данные</u>: структура графа сети, диаметры, длины и материалы труб участков, подачи водопитателей, отборы водопотребителей, отметки в узлах сети, требуемые напоры у потребителей, диапазоны скоростей движения жидкости.

<u>Результаты расчета:</u> потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); напоры в узлах сети; требуемые напоры водопитателей, при которых во всех узлах напоры не менее заданных; при этом диаметры сети, введенные пользователем, заменяются на определенные программой.

Для решения задачи используется многопараметрический оптимизатор, позволяющий решать разнообразные задачи параметрической оптимизации. Базовая версия многопараметрического оптимизатора позволяет решать задачу конструкторского расчета сети: подбирать такие диаметры участков сети, которые приближают напоры в узлах к тем, которые заданы пользователем (требуемые напоры). В ходе оптимизационного процесса варьируются только диаметры тех участков сети, которые не обозначены пользователем как «зафиксированные».

Для запуска процедуры оптимизации можно использовать команду главного меню программы «Расчет» → «Многопараметрическая оптимизация», либо команду «Запустить мастер многопараметрической оптимизации» инструментальной панели «Моделирование» (пиктограмма 🌮). Главное окно многопараметрического оптимизатора представлено на рисунке 5.10.

![](_page_34_Figure_1.jpeg)

Рисунок 5.10. Настройка многопараметрического генетического оптимизатора при выполнении «конструкторского» расчета

В верхней части экрана располагается график, отображающий ход оптимизационного процесса. В нижней части – пользователем должны быть заданы параметры, необходимые для работы т.н. генетического алгоритма, осуществляющего поиск оптимальных вариантов в пространстве возможных решений. Генетический алгоритм – поисковая процедура, использующаяся для решения многопараметрических задач оптимизация, сочетающая методы градиентного и случайного (ненаправленного) поиска. Большую часть указанных в разделе «Настройка генетического алгоритма» параметров изменять не рекомендуется, поскольку это может привести к значительному снижению эффективности работы генетического алгоритма. Обратить особое внимание следует на следующие поля:

«Количество экземпляров в плане» - данный параметр определяет ширину поиска в пределах одной итерации (чем параметр больше, тем эффективнее исследуется пространство возможных решений, снижается риск выхода на субоптимальное решение – локальной

оптимум, но при этом растет время работы), «Число итераций» - данный параметр определяет глубину поиска, «Нижняя и Верхняя граница скоростей движения в трубопроводах» определяют границы изменения скоростей движения жидкости в трубопроводах - технические условия оптимизации.

После нажатия на кнопку «Оптимизация» начнется процесс определения диаметров сети, которые позволяют приблизиться к тем напорам в узлах сети, которые при построении схемы были заданы пользователем.

Пользоваться процедурой оптимизации следует достаточно аккуратно, поскольку оптимальность решения по напорам не гарантирует обеспечение требуемой степени надежности системы и ее технической реализуемости.

## 5.4 Оптимальный синтез сети при использовании «внешней» увязки

**Цель расчета:** подобрать такие диаметры сети, при которых давления в узлах сети (напоры) приближаются (сверху или снизу) к тем, которые заданы пользователем (при этом напоры в узлах могут быть меньше минимально необходимых).

<u>Исходные данные:</u> структура графа сети, диаметры, длины и материалы труб участков, характеристики водопитателей, отборы водопотребителей (в т.ч. и нефиксированные отборы оросителей), отметки в узлах сети, требуемые напоры у потребителей, диапазоны скоростей движения жидкости.

**Результат расчета:** потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); фактические напоры в узлах сети; фактические подачи и напоры водопитателей; при этом диаметры сети, введенные пользователем, заменяются на определенные программой.

Отличия данной постановки от описанной в предыдущем разделе заключается в следующем. При решении оптимизационной задачи с использованием «внутренней» увязки сети процесс улучшения соответствия модельных давлений в узлах сети тем, которые были заданы пользователем, осуществляется сверху, т.е. давления (напоры) во всех узлах сети не ниже, чем указал пользователь при заполнении данных по узлам сети. Это объясняется тем, что про «внутренней» увязки программа самостоятельно определяет такие напоры у водопитателей, которые обеспечивают напоры в узлах не меньше требуемых, а при оптимизации подбирает диаметры таким образом, чтобы фактические и заданные пользователем свободные напоры приближались друг к другу не только в диктующих узлах, но и в остальных. При использователь указал как минимальные, поскольку в этом случае программа определяет фактические подачи и напоры нагнетательного оборудования. Разумеется, возможности нагнетательного оборудования могут и не обеспечить требуемых напоров у потребителей.

## 6 ПРИМЕРЫ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ В ПРОГРАММЕ

## 6.1 Задачи поверочного расчета

Напомним, что задача поверочного расчета заключается в определении расходов воды на участках сети при заданных диаметрах труб, а также в определении подач Q и напоров Н всех водопитателей и нефиксированных отборов воды из сети при известных характеристиках этих водопитателей и отборов.

Заданными при поверочном расчете являются: а) диаметры, длины и гидравлические сопротивления всех трубопроводных линий, б) фиксированные узловые отборы воды и геометрические отметки узлов, в) напорно-расходные характеристики Q-H всех водопитателей (насосных станций, резервуаров, башен и т.д.) и потребителей (оросителей) или предполагаемые значения подач водопитателей с указанием требуемых напоров в узлах сети.

В зависимости от набора исходных данных по пункту в) задачи гидравлического расчета подразделяются на задачи «внешней» и «внутренней» увязки.

Формально при поверочном расчете рассматривается кольцевая сеть, имеющая р участков, т узлов, п колец и е водопитателей и нефиксированных отборов. Неизвестными при поверочном расчете сети являются: а) расходы  $q_{i-k}$  и потери напора  $h_{i-k}$  во всех участках системы, б) пьезометрические напоры во всех узлах системы, для задачи «внешней» увязки дополнительными неизвестными являются еще и в) подачи водопитателей и нефиксированные отборы.

Число неизвестных расходов для задачи «внешней» увязки составляет p+e, где p - количество расходов на участках сети, е - число подач водопитателей и нефиксированных отборов. Для их нахождения могут быть построены следующие системы уравнений:

a) т узловых уравнений  $\sum q_{i-k} + Q_i = 0$  для всех узлов сети;

б) п контурных уравнений  $\sum s_{i-k} \times q_{i-k}^{\beta} = 0$  для всех колец сети;

для случая «внешней» увязки

в) е-1 уравнений, связывающих между собой е водопитателей и нефиксированных отборов  $F(Q)_{I} - F(Q)_{K} = (\sum h)_{I-K}$ . Уравнения этой группы связывают попарно напоры водопитателей, отчитываемые от геометрической отметки произвольного узла сети, (выраженные в функции подачи Q) через потери напора в цепи соединяющих их линий (I, K - номера соответствующих узлов).

Для случая «внутренней» увязки известными являются подачи водопитателей, а потому количество неизвестных будет на е меньше, соответственно для решения задачи достаточно уравнений групп а) и б).

После определения расходов на участках сети могут быть определены пьезометрические напоры во всех узлах системы.

Для задачи «внешней» увязки после решения системы уравнений а), б), в) напоры водопитателей уже автоматически известны, поскольку выражены в функциях подачи Q. Двигаясь от выбранного (произвольного) водопитателя к соседним узлам сети определяются пьезометрические напоры в других узлах сети (пьезометрический напор в смежном узле отличается на известную по результатам увязки величину потерь напора на участке сети, связывающем два смежных узла).

Для задачи «внутренней» увязки определяется такие напоры водопитателей, которые обеспечивают минимально допустимые свободные напоры в узлах сети. Двигаясь от

произвольно выбранного узла сети к соседним, определяются условные пьезометрические высоты в других узлах сети (условная пьезометрическая высота в смежном узле отличается на известную по результатам увязки величину потерь напора на участке сети, связывающем два смежных узла). Располагая информация об условных пьезометрических высотах и геометрических отметках узлов сети, можно найти «диктующий» узел в гидравлической сети с минимальным значением условного свободного напора. Варьируя напор любого водопитателя, вычислительный алгоритм обеспечивает выполнение требования по минимальному свободному напору в «диктующем» узле. Все описанные вычислительные операции программа выполняет самостоятельно.

Формально «внешняя» задача решается после проведения «внутренней» увязки сети, поскольку до осуществления последней насосное оборудование, как правило, подобрать затруднительно.

Поясним процедуру осуществления поверочных расчетов с использованием программы Visual Vector. Sprinkler на конкретном примере.

■ <u>Пример 1.</u> Предусматривается противопожарная защита помещений торгового центра с нормативной интенсивностью орошения помещений 0.08 л/с, расчетная площадь орошения 120 м<sup>2</sup>. Ширина помещений, подлежащих противопожарной защите составляет 21 метр. В качестве оросителей приняты оросители типа CBH-10 с коэффициентом производительности 0.35.

Расстояние между оросителями принимается равным 3 метрам. Общее число оросителей в рядке в этом случае составит 7. Число оросителей в левой части рядка – 4, в правой – 3. Схема спринклерной сети, построенная в программе Visual Vector. Sprinkler приведена на рисунке 6.1.

![](_page_38_Figure_1.jpeg)

## Рисунок 6.1. Схема сети из примера 1

Расстояния между узлами рядков составляет 3 метра, т.е. длина участка 1-2 равна 3 метрам, расстояние между узлами 1-17 равно 3 метрам. Диаметры левых ветвей распределительного трубопровода принимаются перед проведением расчетов конструктивно равными 20, 25, 25, 32 мм, т.е.  $d_{12} = 20(MM)$ ,  $d_{23} = 25(MM)$ ,  $d_{34} = 25(MM)$ ,  $d_{45} = 32(MM)$ . Диаметры правых ветвей распределительного трубопровода принимаются аналогично:  $d_{56} = 32(MM)$ ,  $d_{67} = 25(MM)$ ,  $d_{78} = 20(MM)$ . Диаметры магистрального трубопровода от узла 12 до узла 5 принимаются равными 50 мм. Высота подъема воды от входа в спринклерную сеть (узел 13) до распределительной сети (узел 12) составляет 4 метра. Минимальное давление перед оросителем принимается равными 21 м.в.с.

После построения графа сети (см. раздел 2), ввода информации об участках сети и узлах можно сразу же переходить к проведению гидравлических расчетов.

Для выбора параметров насосного оборудования, размещенного в узле 12, осуществим «внутреннею» увязку сети. Зафиксируем подачу в узле 12 на уровне 0.08 х 120 = 9.6 л/с = 34.56 м<sup>3</sup>/час.

Visual Vector	
	<u> </u>
- Своиства узла	<b>D</b> 2
Номер узла	13
Идентификатор в базе данных	<u>93</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	-34.56
Отметка узла, м	-4
Свободный напор, м	0
Тип узла в гидравлической модели	Внутренняя задача 💌
Насосное оборудование	
🗣 Установить 💡 Дополнительн	🛛 🔊 Закрыть окно

Рисунок 6.3. Установка параметров водопитателя (насосной станции)

«Диктующая» площадь орошения образована оросителями в узлах 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 17, 16, 15, 14, 30, 31, 32. Производительность одного оросителя в первом приближении при проведении «внутренней» увязки сети можно принять равной 9.6 / 14 = 0.69 л/с = 2.48 м<sup>3</sup>/час. В указанных узлах выставляются отборы, равным 2.48 м<sup>3</sup>/час

Visual Vector	$\sim$
Свойства узла	D 2
Номер узла	1
Идентификатор в базе данных	<u>0</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	2.48
Отметка узла, м	0
Свободный напор, м	21
Тип узла в гидравлической модели	Внутренняя задача 🔻
Насосное оборудование	
🗣 Установить 💡 Дополнительн	о 🔊 Закрыть окно

Рисунок 6.4. Установка параметров оросителя в узле 1

После проведения поверочного гидравлического расчета было установлено следующее: - диктующим является узел №1,

- для обеспечения требуемого о напора в узле №1 (21 м.в.с.) напор, развиваемый нагнетателями в узле №1, должен составлять не менее 52.7 м.в.с,

Для проведения «внешней» увязки с учетом результатов решения «внутренней» задачи примем следующие параметры нагнетательного оборудования. В качестве насосного оборудования для узла №13 была выбрана комплектная автоматическая установка пожаротушения Hydro MX-45 (на базе инлайн насосов CR). Для аппроксимации технической характеристики используются следующие значения пар подача (м<sup>3</sup>/час) – напор (м.в.с.): 23-75, 40-72, 50-70. Эти данные заполняются в справочнике насосного оборудования (см. рисунок 6.5), а затем в узле 13 переключается тип на «Внешняя задача» и выбирается в поле «Насосное оборудование» установка Hydro MX-45 (см. рисунок 6.6)

Для проведения «внешней» увязки, кроме того, необходимо трансформировать расчетную схему: заменить все фиксированные расходы на расходы оросителей. Для этого во всех узлах, соответствующих оросителям, выставляются нулевые отборы, а из самих этих узлов проводятся дополнительные «фиктивные» участки, имитирующие истечение жидкости через оросители как это сделано на рисунке 6.7. Данные участки замыкаются на внешние узлы, имитирующие истечение в атмосферу (тип узла «вкл. ороситель», насосное оборудование «излив в атмосферу). После установки узлов с типом «вкл. ороситель» все оросители в системе включены и при расчете будет считаться, что истечение жидкости будет осуществляться через каждый из них. Для включения только тех оросителей, которые находятся в границах расчетной площади, используется команда «Указать расчетную площадь» с инструментальной панели «Рисование». Расстояние между узлами привязочной сетки задается в окне «Свойства модели сети», которое можно открыть, воспользовавшись соответствующей пиктограммой 🧾 в правом верхнем углу главного окна программы или командой главного меню «Исходные данные» → «Свойства модели сети». Для рассматриваемого примера это параметр должен быть равен 0.5 м. После выбора команды «Указать расчетную площадь» откроется окно, в котором нужно установить параметры длины и ширины для расчетной площади. Для рассматриваемого примера установим длину расчетного прямоугольника в 21 метр, ширину в 6 метра.

равочник насосного (	оборудования и нефикс	ированных отборов				
аталог						
		Общие данные –				
Наименование нагн	етателя или отбора 🔺	Номинальный диаметр колеса, мм				
ЭЦВ 8-25-100				2900		
ЭЦВ 10-120-60		Номинальная част	ота вращения, осоротов	в минуту		
Атмосфера		Коэффициент дейс	ствия			
Напор		E E	агнетатель	•		
Hydro MX-45	•	Визуализация (***				
очки на технической	характеристике					
Q, куб. м / час	Н, м.в.с.	К.П.Д.	Кавитационный запас, м.в.с.			
23	75	100				
40	72	100				
50	70	100				
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
	<u>_</u>					
	I					
ехнические характерист	ики					
	Q-H		Q-К.П.Д			
	0 25 30 35 40 45 50 одача, куб. м / час		5 10 15 20 25 3	0 35 40 45 50 55 6		
	✓ ОК	🖌 Добавить	🚫 Удалить	7		

Рисунок 6.5. Добавление в справочник насосного оборудования установки Hydro MX-45

Visual Vector	×
Свойства узла	
Номер узла	13
Идентификатор в базе данных	<u>93</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	d
Отметка узла, м	-4
Свободный напор, м	0
Тип узла в гидравлической модели	Внешняя задача 💌
Насосное оборудование	Hydro MX-45 💌
🗣 Установить 🍞 Дополнительн	о 🌇 Закрыть окно

Рисунок 6.6. Установка параметров водопитателя (насосной станции) при

![](_page_42_Figure_3.jpeg)

Рисунок 6.7. Модель спринклерной сети для проведения гидравлического расчета с группа компаний «коммунжилпроект»

## использованием «внешней увязки» сети

После задания ширины и длины расчетной зоны требуется указать местоположение расчетной зоны на схеме (заштрихованный прямоугольник). После щелчка левой кнопки мышки все оросители в расчетной зоне автоматически будут включены (тип узла «Вкл. ороситель»), а оросители вне расчетной зоны будут отключены (тип узла «Выкл. ороситель»), при условии, конечно, что при построении расчетной схемы узлы были заданы как оросители.

Выбрав в качестве расчетных два ряда наиболее удаленных от нагнетателя оросители, произведем гидравлический расчет. По результатам моделирования установлено, что фактическая подача насоса насосной установки Hydro MX-45 составит 62.42 м<sup>3</sup>/час при развиваемом им напоре 66.35 м.в.с. При этом минимальное давление в узле 1 составляет всего 5.5 м.в.с. Результаты расчета свидетельствуют о необходимости корректировки расчетной схемы: изменении диаметров магистральной, распределительных линий и нагнетателя. Более подробно данный вопрос рассматривается в следующем разделе.

## 6.2 Задачи синтеза

При проведении поверочных гидравлических расчетов диаметры участков были зафиксированы, и задача расчета сводилась к определению потокораспределения в сети. При решении задач параметрического синтеза считается, что отдельные параметры элементов сети (диаметры участков, технические характеристики нагнетателей, размеры емкостей и т.д.) заданы в первом приближении, и задача расчета заключается в том, чтобы определить эти параметры при выполнении ряда дополнительных условий. Формально дополнительные условия могут быть заданы в виде уравнений, неравенств или требований оптимизации значений одной или нескольких целевых функций (например, функции стоимости жизненного цикла системы). Большинство задач параметрического синтеза являются уникальными, т.е. ставятся для решения конкретных задач конкретной гидравлической цепи.

В программе Visual Vector. Sprinkler имеются базовые средства для решения наиболее распространённой задачи, называемой иногда задачей конструкторского расчета сети: определить диаметры участков сети (всех или указанных специально) таким образом, чтобы фактические давления в узлах были близки к заданным. Одним из инструментов синтеза трубопроводных систем является параметрический генетический оптимизатор, позволяющий получить систему максимально соответствующую представлениям и требованиям инженера.

Процесс оптимизации									
Ход оптимизационного решения									
a X									
8 0 9									
_									
	9								
	Итерация								
	— Максимальная невязка — Минимальная невязка — Сре	едняя невязка							
<ul> <li>Настройка генетичи</li> </ul>	еского алгоритма								
Количество экзем	пляров в плане	20							
Коэффициент выб	opa	1							
Количество экзем	пляров текущего плана, переносимых в следующий	0							
Вероятность ранд	омизации, %	10							
Козффициент пер	естановок	5							
Число итераций	20								
Нижняя граница (	скоростей движения в трубопроводах, м/с	5							
верхняя граница с	жоростеи движения в трубопроводах, м/с								
🗸 Оптимизация									

Рисунок 6.8. Настройка многопараметрического генетического оптимизатора при выполнении «конструкторского» расчета аккумулирования при использовании процедуры «внешней» увязки

45

■ <u>Пример 2</u> (рассматривается сеть из примера 1 для варианта «внешней увязки» сети).

На первом этапе зафиксируем все участки схемы, кроме магистрали, после чего многопараметрической оптимизации» (кнопка находится запустим «Мастер на инструментальной панели «Моделирование»). Интервал скоростей движения установим от 2 до 10 м/с. После чего запустим процесс оптимизации. Программа подберет диаметры магистрали таким образом, чтобы минимизировать разность давлений (расчетного и требуемого) в узлах спринклерной системы. В данном случае программа предложила заменить диаметр магистральной линии на 80 мм (для последнего участка 50 мм; конструктивно принимаем диаметр этого участка также 80 мм). Давление у спринклера в узле 4 при этом составляет 40.88 м.в.с, далее по направлению к оросителю 1 давление значительно падает (6.7 м.в.с. у диктующего оросителя в узле 1). Таким образом, требуется корректировка диаметров распределительной линии. В виду относительно простой структуры сети в данном случае быстрее и проще откорректировать диаметры самостоятельно: участок 1-2, 7-8, диаметр 25 мм, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7 диаметры 32 мм. Аналогичным образом меняются диаметры на всех остальных распределительных линиях. После такой корректировки давления во всех узлах спринклерной сети составляет не менее 20.5 м.в.с. ■

Отчет							
\$	Область п	росмотра					•
Вперед							-
Назад							
#4		PE3V	ΠΑΤΔΤΑΙ ΓΜΠΕ	PARTINUECKOLC	PACYETA		
В экран		<u>1 L077</u>	ыланынд				
ори По ширине			0	Trof	НЕСКОГО РАСЧЕТА          иый напор, м       Располагаемый напор, м         21       20.5         21       23.33         21       26.63         21       34.57         0       42.42         21       36.89         21       32.3         21       28.38         0       44.65         0       44.65         0       44.66         0       44.6         0       44.6         0       44.6         0       44.6         0       44.6         0       44.6		
6		№ узла	Отметка узла, м	треоуемый напор, м	Располагаемый напор, м		
Печать		1	0	21	20.5		
🖬 В файл		2	0	21	23.33		
		3	0	21	26.63		
		4	0	21	34.57		
		5	0	0	42.42		
		6	0	21	36.89		
		7	0	21	32.3		_
		8	0	21	28.38		
		9	0	0	42.85		
		10	0	0	44.6		
		11	0	0	46.34		
		12	0	0	48.08		
		13	-4	0	53.82		
		14	0	21	34.92		
		15	0	21	26.89		
		16	0	21	23.56		
		17	0	21	20.7		
		18	0	0	44.6		
		19	0	0	44.6		
		20	0	0	44.6		
		21	0	0	44.6		-

Рисунок 6.9. Давления в узлах моделируемой сети после оптимизации

Отчет											
4	Область про	смотра									-
Вперед											▲ I
~											
Назад								<b>T</b> 4			
88		РЕЗУЛ	ЫАТ	ыти,	ЦРАВЛИЧ	ECROIC	<u>) PACHE</u>	<u>1A</u>			
Baraav											
o aspan		№ участка	Начало	Конец	Диаметр, мм	Длина, м	Расход, л/с	Скорость, м/с	Материал коммуникаций	Диссипация, м.в.с	
<u></u>		1	2	1	25	3	1.57	3.19	Сталь	2.82	
по ширине		2	3	2	32	3	3.24	4.03	Сталь	3.3	
8		3	4	3	32	3	5.03	6.25	Сталь	7.94	
Печать		4	5	4	32	1.5	7.07	8.79	Сталь	7.85	
		5	5	6	32	1.5	5.93	7.38	Сталь	5.52	
В файл		6	6	7	32	3	3.82	4.75	Сталь	4.59	
		7	7	8	25	3	1.85	3.76	Сталь	3.93	
		8	9	5	80	3	13.01	2.59	Сталь	0.43	
		9	10	9	80	3	26.08	5.19	Сталь	1.74	
		10	11	10	80	3	26.08	5.19	Сталь	1.74	
		11	12	11	80	3	26.08	5.19	Сталь	1.74	
		12	13	12	80	3	26.08	5.19	Сталь	1.74	
		13	9	14	32	1.5	7.11	8.84	Сталь	7.93	
		14	14	15	32	3	5.06	6.29	Сталь	8.03	
		15	15	16	32	3	3.26	4.05	Сталь	3.34	
		16	16	1/	25	3	1.58	3.21	Сталь	2.86	
		17	10	10	32	1.5	0	0	Сталь	0	
		10	19	10	25	2	0	0	Crans	0	
		19	20	20	25	2	0	0	Сталь	0	
		20	21	20	20	1.5	0	0	Cran	0	
		21	22	22	25	3	0	0	Сталь	0	
		22	24	22	25	3	0	0	Сталь	0	
		23	25	23	20	3	0	0	Сталь	0	
		25	26	12	15	1.5	ő	ő	Сталь	ů.	
		26	27	26	15	3	0	0	Сталь	0	
		27	28	27	15	3	0	0	Сталь	0	
		28	29	28	15	3	0	0	Сталь	0	
		29	9	30	32	1.5	5.97	7.42	Сталь	5.58	
		30	30	31	32	3	3.84	4.78	Сталь	4.64	
		31	31	32	25	3	1.86	3.79	Сталь	3.97	
		32	33	10	32	1.5	0	0	Сталь	0	
		33	34	33	25	3	0	0	Сталь	0	-

Рисунок 6.10. Расходы и скорости движения жидкости на участках моделируемой сети после оптимизации

47