ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»



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

> РП VV.N 01.10-2012 Обозначение документа

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

VISUAL VECTOR. NETGUIDE

Система моделирования наружных сетей водопровода

ВЕРСИЯ 8.0

Петрозаводск

2012

СОДЕРЖАНИЕ

С	ОДЕР	ЖАНИЕ	2
1	ОБ	ЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ	3
	1.1	Назначение программы	3
	1.2	Демонстрационная версия	3
2	ПС	ОСТРОЕНИЕ ГРАФА СЕТИ	5
	2.1	Расчетная схема	5
	2.2	Формирование топологии (начертания) сети. Общие вопросы	5
	2.3	Установка новых узлов	6
	2.4	Установка новой дуги	7
	2.5	Сеточная привязка и растровая подложка	7
	2.6	Удаление и перемещение элементов графа сети	10
	2.7	Сохранение схемы	10
3	3A	ПОЛНЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПО УЗЛАМ И УЧАСТКАМ СЕТИ	12
	3.1	Заполнение исходных данных по расчетной схеме. Общие вопросы	12
	3.2	Ввод информации об участках сети	12
	3.3	Ввод информации по узлам сети	15
	3.4	Работа со справочниками программы	18
	3.5	Дополнительные функции, использующиеся при построении расчетной схемы	21
4	ОБ	ЩИЕ ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАРУЖНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ	В
Π	РОГР	AMME «VISUAL VECTOR. NETGUIDE»	23
	4.1	Дополнительные функции, использующиеся при построении расчетной схемы	23
	4.2	Дополнительные функции, использующиеся при построении расчетной схемы	24
	4.3	Математическая модель водопроводной сети для проведения поверочных расчетов	25
	4.4	Поверочные гидравлические расчеты для случая неустановившегося режима движен	ия
	жидк	ости (гидравлический удар)	30
	4.5	Расчет сетей на надежность	31
	4.6	Задачи оптимального синтеза СПРВ и конструкторский расчет	31
	4.7	Техническая диагностика и обратные задачи потокораспределения	32
5	ПРОН	ВЕДЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ПРОГРАММЕ	34
	5.1	Поверочный расчет сети с использованием «внутренней» увязки сети	34
	5.2	Поверочный расчет сети с использованием «внешней» увязки сети	41
	5.3	Упрощенный метод оптимизации диаметров сети	42
	5.4	Оптимальный синтез сети при использовании «внутренней» увязки	43
	5.5	Оптимальный синтез сети при использовании «внешней» увязки	45
	5.6	Обратные задачи, техническая диагностика	45
6	ПРИМ	МЕРЫ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ В ПРОГРАММЕ	48
	6.1	Задачи поверочного расчета	48
	6.2 3a	адачи синтеза	59
	6.3	Обратные задачи	63

2

1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1 Назначение программы

Программа моделирования систем подачи и распределения воды «Visual Vector. NetGuide» реализует положения СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» в отношении гидравлического расчета наружных водопроводных сетей; позволяет производить поверочные гидравлические расчеты наружных водопроводных сетей, решать задачи оптимального синтеза проектируемых и существующих сетей, получать решения обратных задач потокораспределения.

Программа поставляется в нескольких конфигурациях, отличающихся набором встроенных расчетов и максимальной размерностью решаемых задач:

1. Вариант «Базовый». Включает в себя средства для проведения внутренней увязки кольцевых сетей и упрощенного технико-экономического расчета (подбора экономически наивыгоднейших диаметров сети).

2. Вариант «Стандарт». Помимо средств для проведения внутренней увязки кольцевых сетей и упрощенного технико-экономического расчета укомплектован модулями построения пьезометрических линий и оптимизации диметров участков сети методом многопараметрической оптимизации.

3. Вариант «Диагностика». Наряду со всеми вышеперечисленными средствами, входящими в состав вариантов «Базовый» и «Стандарт», включает в себя модули для проведения внешней гидравлической увязки сетей, имитационного моделирования аварийных истечений, стохастического расчета, для решения обратных задач потокораспределения (диагностики существующих сетей).

4. Вариант «Пользовательская конфигурация». Разрабатывается на основании технического задания Заказчика и может быть укомплектован любыми модулями.

В настоящем документе приводится описание варианта «Диагностика», включающего в себя набор всех функций, необходимых для решения задач анализа и синтеза проектируемых и существующих наружных водопроводных сетей.

Поскольку программа постоянно развивается, дополняется новыми возможностями и функциями, то внешний вид отдельных функциональных элементов программы может отличаться от представленных в описании. Информация об особенностях отдельных конфигурациях программы и составе расчетных модулей, новых функциях и изменениях приводится на официальном сайте программы www.istok-soft.ru.

1.2 Демонстрационная версия

Программа «Visual Vector. NetGuide» предназначена не только для гидравлического расчета наружных водопроводных сетей, но и для моделирования их работы. Специальные возможности программы реализованы в виде модулей расширения, поставляемых отдельно, в их числе:

Полирежимное моделирование. Модуль предназначен для проведения расчетов системы на несколько расчетных случаев одновременно. Например, для исследования работы системы в течение суток с дискретным шагом по времени в один час.

Оптимальный синтез. Модуль позволяет решать разнообразные задачи параметрической оптимизации по нескольким встроенным сценариям, либо разработанным пользователем самостоятельно. Упрощенный вариант модуля, позволяющий решать задачу т.н. конструкторского расчета, включен в стандартные конфигурации программы.

Энергетический аудит. Модуль предназначен для получения информации об энергопотреблении моделируемой системы, а также выявления «узких» мест, необоснованно повышающих ее энергоемкость.

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 о 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 водопроводной 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, который доступен сразу после запуска программы (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 Главное окно программы

Безмасштабная схема сети строится в окне представления графа сети с использованием команд графического редактора. 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 длиной, внутренним диаметром, шероховатостью внутренней поверхности (либо потери энергии потока при движении по нему подчиняются одной зависимости). При этом совершенно необязательно, чтобы расчетный (в модели) участок совпадал 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 абонент или группа абонентов, 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 æ. Команда полидуга позволяет инструментальной панели «Рисование» пиктограмма 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, когда пользователь укажет в качестве узла полидуги существующий узел, либо при выборе пункта всплывающего (контекстного) меню «Завершить построение». Контекстное меню можно вызвать в любой момент с помощью щелчка правой кнопки мышки по окну представления графа сети (рисунок 2.2).

Найти узел Проверка данных по участкам сети Вспомогательная информация Завершить построение

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 \mathscr{D} . После перехода в режим «Установить новые дуги» программа ждет от пользователя указания по выбору 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 \mathscr{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 установить узлы графа сети можно только в узлах калибровочной сетки. Режим сеточной привязки включен по умолчанию при запуске программы. Включить или отключить его можно с помощью главного меню программы «Исходные данные» \rightarrow «Сетка», либо нажатием кнопки F7, либо с помощью пиктограммы \square , размещенной в правом верхнем углу главного окна программы.

Растровая подложка. Значительно ускорить процесс построения расчетной схемы можно с использованием картографических материалов, вспомогательных схем, данных аэрофотосъемки. При наличии оцифрованных материалов в формате Microsoft Bitmap их можно использовать в качестве подложки для подготовки расчетной схемы (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.

Специальные свойства моде								
сладнальные своиства Моде	ли							
Дополнительные сведения о водопотреблении								
Добавить распределенный по сети объем водопотребления в 0 указанном количестве, куб. м / час								
Раскраска графа сети								
📃 Отображать участки с с	коростями движения, выходящ	ими	за пределы реком	иендуемых				
Минимальная рекомендуем	ая скорость движения, м/с		0,2					
Максимальная рекомендуе	мая скорость движения, м/с		1,2					
🔲 Стратификация чэлов п	рафа сети по давлению							
	0		40	мво				
Чровень 2: давление от	40 MBC	. до	45	M.B.C.				
Чровень 3: давление от	45 MBC	. до	55	M.B.C.				
Чровень 4: давление свыше	, 55 MBC			14.0.0.				
0								
Отображение графа сети — Отображение текста —								
Отображение графа сети — Отображение текста — У Отображать текстовые и	тояснения на схеме							
Отображение графа сети — Отображение текста — Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать номераераера	пояснения на схеме ов сети инчие издоение отборы							
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован	пояснения на схеме ов сети нные узловые отборы нные узловые отборы							
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован Отображать узловые оти	пояснения на схеме ов сети нные узловые отборы ные узловые отборы метки и напоры							
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован Отображать узловые от Отображать материалы	пояснения на схеме ов сети нные узловые отборы иные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков							
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован Отображать узловые оти Отображать материалы Отображать расходы и о	тояснения на схеме ов сети нные узловые отборы ные узловые отборы четки и напоры труб и длины участков жорости движения потока на уч	астк	ах сети					
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован Отображать узловые от Отображать материалы Отображать расходы и с Растровая подложка и п	тояснения на схеме ов сети нные узловые отборы ные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков жорости движения потока на уч ривязочная сетка	астк	ах сети					
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован Отображать узловые оти Отображать материалы Отображать расходы и о Растровая подложка и п Нет	тояснения на схеме ов сети нные узловые отборы ные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков жорости движения потока на уч ривязочная сетка	астк	ах сети	Загрузить				
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован Отображать узловые оти Отображать материалы Отображать расходы и о Растровая подложка и п Нет Масштабный коэффициент	тояснения на схеме ов сети нные узловые отборы иные узловые отборы иетки и напоры труб и длины участков жорости движения потока на уч ривязочная сетка	астк	ах сети	Загрузить				
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые и Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован Отображать узловые оти Отображать материалы Отображать расходы и о Растровая подложка и п Нет	тояснения на схеме ов сети нные узловые отборы ные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков жорости движения потока на уч ривязочная сетка	астк	ах сети	Загрузить				

Рисунок 2.4. Окно «Свойства модели сети»

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 при помощи переключателя «Растровая подложка», доступного из главного меню «Исходные данные» → «Растровая подложка». С отключенным переключателем «Растровая подложка» связь графической схемы с растром будет сохранена, но растр отображаться не будет.

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 (узел или участок) 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 него.

При необходимости узлы графа сети можно перемещать вместе со связанными с ними дугами. Это операция осуществляется с помощью команды «Переместить объекты графа и его **6** инструментальной представления». Команде соответствует пиктограмма панели «Рисование». После перехода в данный режим программа ожидает от пользователя выбора узла графа водопроводной 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. Если в качестве объекта для перемещения выбран узел, то автоматически вместе с ним перемещаются и все 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	etc] home tmp usr				
Сетевое	Имя файла:	Untitled		v	Сохранить
окружение	<u>Т</u> ип файла:	Графическое описание сет	и		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 абонентов. В зависимости от типа решаемой задачи набор исходных данных может различаться. Например, при решении задачи оптимального синтеза существующей 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, напротив, важно задать все параметры системы «как есть». При расчете сетей с использованием «внешней увязки» требуется задавать технические характеристики водопитателей, а при использовании «внутренней увязки» только подачу водопитателей, 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

Обязательной информацией, вводимой по схеме для отдельного участка сети, являются:

- 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 может быть задан номинально, поскольку по результатам расчетов будет изменен (например, при решении задач оптимального синтеза). Для ввода данных по участкам сети могут быть использованы два способа.

Способ первый. С помощью команды «Исходные данные» \rightarrow «Сводная таблица исходных данных по участкам сети» (рисунок 3.1). Если был построен только граф сети и никакие дополнительные данные еще не вводились, в открывшемся окне («Сводной ведомости исходных данных по участкам сети») будут заполнены только первые три столбца (эти данные не подлежат редактированию). Остальные данные – внутренние диаметры, длины и материал участков трубопроводов – можно ввести непосредственно в таблицу.

Сводная ведомость исходных данных по участкам 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							



Способ второй. С помощью команды «Установить свойства элементов графа» инструментальной панели «Рисование», которой соответствует пиктограмма Р.

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 (рисунок 3.2).

NetGuide	X
Свойства участка	D a
Номер участка	1
Идентификатор в базе данных	<u>10</u>
Начальный узел	1
Конечный узел	2
Диаметр участка сети, мм	
Длина участка сети, м	
Материал труб	•
🔽 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. Это позволяет решать задачи оптимизации развивающихся сетей. 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 (рисунок 3.3).

NetGuide 🔀					
Свойства участка					
Номер участка	<u>5</u>				
Идентификатор в базе данных	<u>37</u>				
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 соответствовать всасу насоса.

Для решения обратных задач потокораспределения используется информация о фактическом состоянии участков сети (для проведения прочих расчетов она не используется и ее указывать не следует).

Для ввода этой информации необходимо установить совйства элементов графа для выбранного участка сети с помощью пиктограммы инструментальной панели «Рисование». В открывшемся окне нажать кнопку «D» в правом верхнем углу. При этом откроется окно для ввода статистической информации (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4. Заполнение статистических данных о состоянии участка сети

Для введения статистической информации по участку для большинства полей используется экспертное описание характеристик в специальной порядковой шкале в баллах. Для границ интервалов приводятся соответствующие пояснения (например, 0 соответствует малой интенсивности транспортных потоков в районе прокладки участка сети, а 10 – высокой (самой неблагоприятной)).

3.3 Ввод информации по узлам сети

Обязательной информацией, вводимой по схеме для отдельного узла сети, являются:

- величина фиксированного отбора или подачи,
- отметка поверхности земли в узле,
- тип узла в гидравлической модели,
- для внешнего узла дополнительно задается тип установленного в нем оборудования.

<u>Замечание 1:</u> В практике расчетов (особенно ручных) часто принимается, что глубина заложения труб для данной местности примерно одинакова и линии водопровода обычно следуют рельефу местности. Отсюда делается заключение, что пьезометрические напоры в ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

двух соседних узлах отличаются на величину потерь напора на соединяющем узлы участке и разницу отметок поверхности земли. Вообще говоря, линии водопровода не всегда параллельны поверхности земли. Для повышения точности расчетов в ряде случае, например, при моделировании существующих сетей, рекомендуется учитывать разность глубин заложения трубопроводов в разных узлах за счет введения некоторой фиктивной надбавки (со знаком «+» или «-») в значения отметок поверхности земли сотерхности земли.

Замечание 2: 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. С помощью команды «Исходные данные» → «Сводная таблица исходных данных по узлам сети» (рисунок 3.5).

Исходные данные 🛛 🛛										
Сводная ведомость исходных данных по узлам сети										
Узел №	Фиксированный отбор, куб. м/час	Поверхность земли, м	Свободный напор, м	~						
1	0	0	0							
2	0	0	0							
3	0	0	0							
4	0	0	0							
5	0	0	0							
				4						
	🗸 Закрыть окно									



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 может самостоятельно ввести значения фиксированных отборов или подач (фиксированный отбор – положительное число, фиксированная подача – отрицательное число, равное по модулю значению подачи), отметок уровня земли в узле, требуемых свободных напоров в узле. В ряде случае не обязательно или даже нецелесообразно изменять нулевые значения параметров. Например, при отсутствии отбора или подачи воды в сеть в узле поле ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

«Фиксированный отбор» не заполняется (указывается нулевое значение). Отметка поверхности земли в узлах может не задаваться, если производится расчет с использованием «внутренней увязки сети» и априори данный узел не является диктующим и не требуется знать расчетный свободный напор в данном узле. Требуемый свободный 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. Если же используется «внешняя увязка» сети и пользователь решает задачу оптимального синтеза сети с выбором диаметров, позволяющих приблизить фактические напоры в узлах указать необходимо.

Способ второй. С помощью команды «Установить свойства элементов графа» инструментальной панели «Рисование», которой 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 (рисунок 3.6) необходимо заполнить (или отредактировать) информацию об узловых отборах, отметке земли в узле, свободном напоре. Только при использовании данного способа ввода информации об узлах доступна возможность указать тип узла (по умолчанию все узлы относятся к «внутренним»; изменить тип узла и ввести информацию по «внешнему» узлу можно 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, 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».

NetGuide	×
🔿 Свойства узла	D 2
Номер узла	1
Идентификатор в базе данных	<u>0</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	0
Отметка земли, м	0
Свободный напор, м	0
Тип узла в гидравлической модели	Внутренняя задача 💌
Насосное оборудование	_
🗳 Установить 🦪 Дополнительн	о 🔊 Закрыть окно

Рисунок 3.6. Свойства узла сети

Если узел является «внешним», становится доступной кнопка «Дополнительно» окна «Свойства узла». При ее нажатии появится окно с описанием свойств нагнетателя или нефиксированного отбора (рисунок 3.7), где пользователь может указать дополнительные параметры нагнетательного оборудования: размер рабочего колеса и частоту его вращения. Эти ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»



данные будут использоваться при проведении гидравлических расчетов.

Рисунок 3.7. 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 и сосредоточенные, и узловые отборы). 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» → «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 используется некоторый массив данных, общий для любой системы. В числе этих данных: материал участков труб системы и соответствующая ему эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб, ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

технические характеристики нагнетательного оборудования (насосов) и резервуаров (при использовании «внешней увязки» сети). Эта информация (многократного использования) хранится в специальных базах данных – справочниках. Пользователь может корректировать информацию в справочниках и дополнять ее по своему усмотрению.

Для описания материалов труб и их гидравлических характеристик и особых гидравлических сопротивлений (местных, фиктивных, имитирующих, например, водопонижение при откачке воды из скважин и пр.) доступен специальный справочник, который можно открыть, воспользовавшись командой главного меню программы «Исходные данные» \rightarrow «Справочник материалов труб и специальных сопротивлений». В окне справочника (рисунок 3.8) можно добавлять новые материалы.

Для этого необходимо нажать на кнопку «Добавить». Автоматически появится новая пустая запись, доступная для заполнения.

Сг	Справочник										
C	Справочник материалов труб и специальных сопротивлений										
	N²	Описание	Название	Тип	ША						
	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							
	<										
		🗸 ОК 🖌 Добавить	🚫 Удалить								

Рисунок 3.8. Справочник материалов труб

В первом столбце таблицы указывается порядковый номер материала в справочнике, во втором – краткое описание материала, в третьем – наименование, которое будет использоваться на графической схеме сети и в отчетах. В четвертом столбце указывается тип сопротивления:

- труба – сопротивление моделируется как активное с указанной эквивалентной шероховатостью внутренней поверхности,

- сопротивление – для моделирования сопротивления используется полином $h = a \times Q^2 + b \times Q + c$, коэффициенты которого задаются в последующих столбцах данной таблицы.

В пятом столбце указывается эквивалентная шероховатость внутренней поверхности материала труб. Значения следующих трех столбцов используются для описания коэффициентов полинома $h = a \times Q^2 + b \times Q + c$, если тип установлен в положение «сопротивление».

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

Для описания нагнетателей и нефиксированных отборов (например, насосов или емкостного оборудования) доступен справочник, который можно открыть с использованием команды главного меню программы «Исходные данные» \rightarrow «Справочник насосного оборудования и нефиксированных отборов» (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9. Справочник насосного оборудования и активных сопротивлений

Для добавления нового оборудования в справочник необходимо нажать на кнопку «Добавить». Как и в предыдущем случае, автоматически появится новая пустая запись, доступная для заполнения. Технические характеристики оборудования описываются квадратными полиномами вида:

 $H = a - b \times Q^2$, КПД = $q + w \times Q^2$, где H - напор (давление), соответствующее подаче (расходу) Q, КПД - коэффициент

полезного действия нагнетателя, отвечающий подаче Q. Полиномами описываются и нефиксированные отборы (например, водонапорные башни), о которых речь пойдет ниже.

В общем случае для описания технической характеристики насосного и емкостного оборудования 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. Резервуары и башни могут описываться уравнением $H = a - b \times Q^2$ при b = 0. Например, для описания бака башни высотой 2 метра достаточно указать две произвольные подачи 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». После запуска данной команды программа проверит базу данных участков и в случае, если по отдельным участкам 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 водопроводной 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 (а это возможно, если узлы соединены между собой дугой-участком). С помощью команды «Проверить топологию схемы», которая вызывается из главного меню программы «Поиск», можно убедиться, что необходимые условия выполняются. Кроме того, при успешном завершении проверки программа выведет на экран количество 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 («Поиск» \rightarrow «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». В появившемся окне программы (рисунок 3.10) необходимо указать номер интересующего узла.



Рисунок 3.10. Поиск узлы на графе сети

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

23

4 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАРУЖНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ В ПРОГРАММЕ «VISUAL VECTOR. NETGUIDE»

Для более подробного изучения вопроса рекомендуется обратиться к специальной литературе. В данном разделе кратко описываются базовые принципы моделирования сетей, использующиеся в программе «Visual Vector. NetGuide». 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 Дополнительные функции, использующиеся при построении расчетной схемы

При описании возможностей программы Visual Vector. NetGuide, связанных с моделированием и расчетом СПРВ, будем придерживаться предложенной А.М. Кургановым классификации задач расчета напорных трубопроводных систем (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1. Классификация задач расчета систем подачи и распределения воды

В хронологическом отношении первыми в практике проектирования СПРВ стали проводиться гидравлические расчеты первого типа для случая установившегося движения жидкости, заключающиеся в поиске потокораспределения в сети при заданных узловых отборах и подачах.

Этот тип расчетов (так называемая внутренняя увязка кольцевой сети) и сегодня является наиболее часто применяемым как при проектировании новых, так и при эксплуатации существующих сетей.

Широкое применение вычислительной техники сделало возможным проведение гидравлических расчетов второго и третьего типов. При решении данных задач узловые подачи выражались через технические характеристики насосного оборудования (задачи второго типа – внешняя гидравлическая увязка кольцевой сети), а в ряде случаев, кроме того, отборы потребителей также считались функцией сетевого давления (задачи третьего типа).

Расчеты второго и третьего типа представляют больше интерес для специалистов эксплуатационных организаций, поскольку при проектировании все необходимые параметры

системы можно получить при проведении расчетов первого типа. Задачи первого и второго типов образуют группу расчетов, которые в терминологии программы Visual Vector. NetGuide называются поверочными.

4.2 Дополнительные функции, использующиеся при построении расчетной схемы

При описании возможностей программы Visual Vector. NetGuide, связанных с моделированием и расчетом СПРВ, будем придерживаться предложенной А.М. Кургановым классификации задач расчета напорных трубопроводных систем (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1. Классификация задач расчета систем подачи и распределения воды

В хронологическом отношении первыми в практике проектирования СПРВ стали проводиться гидравлические расчеты первого типа для случая установившегося движения жидкости, заключающиеся в поиске потокораспределения в сети при заданных узловых отборах и подачах.

Этот тип расчетов (так называемая внутренняя увязка кольцевой сети) и сегодня является наиболее часто применяемым как при проектировании новых, так и при эксплуатации существующих сетей.

Широкое применение вычислительной техники сделало возможным проведение гидравлических расчетов второго и третьего типов. При решении данных задач узловые подачи выражались через технические характеристики насосного оборудования (задачи второго типа – внешняя гидравлическая увязка кольцевой сети), а в ряде случаев, кроме того, отборы потребителей также считались функцией сетевого давления (задачи третьего типа).

Расчеты второго и третьего типа представляют больше интерес для специалистов эксплуатационных организаций, поскольку при проектировании все необходимые параметры системы можно получить при проведении расчетов первого типа. Задачи первого и второго типов образуют группу расчетов, которые в терминологии программы Visual Vector. NetGuide называются поверочными.

4.3 Математическая модель водопроводной сети для проведения поверочных расчетов

Развитие теории позволило формализовать модель водопроводной сети для проведения гидравлических расчетов. Структура водопроводной сети в самом общем случае решения задач третьего типа моделируется конечно ориентированным связным графом с *е* дугами и υ 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 μ 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 В.

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)

где Q' и B' - матрицы, обратные матрицам Q и B соответственно.

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

Это 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:

 $Q = \left\lfloor \frac{I}{Q_2} \right\rfloor,$ $B = \left\lfloor \frac{B_1}{I} \right\rfloor,$ (4.3)

где *I* - единичная матрица соответствующей размерности.

После подстановки (4.3) в (4.1) имеем

в (4.1) имеем
$$\left\lfloor \frac{I}{Q_2} \right\rfloor \left\lfloor \frac{B_1}{I} \right\rfloor^T = 0 \Rightarrow Q_2 + B_1^T = 0$$
. Из последнего
. (4.4)

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

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

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

$$\left| \begin{cases} \rho \\ q \\ q \\ p \\ h \\ p \\ h \\ p \\ h \\ p \\ h_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \left\{ \begin{bmatrix} I \\ Q_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{1} \\ P_{1} \\ Q_2 \end{bmatrix} = 0 \\ \left[\frac{P_{1}}{P_{2}} \right] = 0 \\ \left[\frac{P_{1}}{P_{2}} \right] = 0 \\ \left[\frac{P_{1}}{P_{2}} \right] \Rightarrow \left\{ \begin{bmatrix} P_{1} \\ P_{2} \\ p \\ h_2 \\ p \\ h_2 \end{bmatrix} = 0 \\ \left[\frac{P_{1}}{P_{2}} \right] \Rightarrow \left\{ \begin{bmatrix} P_{1} \\ P_{2} \\ p \\ h_2 \\ p$$

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 $2 \times e$.

Исследования в области моделирования гидравлических сопротивлений водопроводных линий в нашей стране регулярно проводились, начиная с середины двадцатых годов прошлого века. Широко известны и используются на практике модели Андрияшева, Шевелева, НИИ ВОДГЕО. Уделялось внимание и изучению изменений гидравлических сопротивлений металлических труб с течением времени. Рядом авторов были предложены эмпирические зависимости для определения фактических потерь напора. Например, для чугунных труб предлагалась следующая зависимость для определения гидравлического уклона:

$$i = \frac{0.00163 \times K_s \times Q^{1.81}}{d_p^{4.9}},$$

где
$$K_s = (1 + a_2 \times lg(T + 1)) \times \left(1 - \frac{0.00353 \times K_1^{0.33}}{d_p}\right)^{-2.45}$$
, *T* - срок эксплуатации в годах, d_p -

фактический диаметр трубопровода, K_s, K₁, a₂ - эмпирические коэффициенты.

Действующими нормативными документами рекомендуется использовать при проведении гидравлических расчетов различные эмпирические формулы, часто «оптимизированные» для ручного счета.

В соответствии со СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» коэффициент гидравлического сопротивления с учетом сопротивления стыковых соединений водопроводных труб следует определять по формуле:

$$\lambda = \frac{A_1 \times \left(A_0 + \frac{C}{\upsilon}\right)^m}{d^m},$$

где d - диаметр трубопровода; υ - скорость движения жидкости в трубопроводе; $A_1 A_0 C$, m - эмпирические коэффициенты для конкретного материала.

Указывается, что показатели степени и коэффициентов для стальных, чугунных, железобетонных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных труб должны приниматься, как правило, согласно таблице 1 обязательного приложения 10 СНиП 2.04.02-84*. Там же указывается, что значения этих коэффициентов соответствует современной технологии изготовления труб.

При проведении технико-экономических расчетов систем подачи и распределения воды потери напора на единицу длины трубопровода і рекомендуется определять по формуле:

$$i = K \times \frac{q^n}{d^p},$$

где d - диаметр трубопровода; q - расход жидкости в трубопроводе; K, n, p - эмпирические коэффициенты для конкретного материала.

Располагая информацией о коэффициенте трения (или гидравлическом уклоне), можно получить недостающие замыкающие соотношения.



Рисунок 4.2. Коэффициенты гидравлического трения, определенные по различным эмпирическим формулам

На рисунке 4.2 приведены зависимости $\lambda = \lambda \left(\text{Re}, \frac{\Delta}{d} \right)$, полученные a) по

полуэмпирическим формулам А.Д. Альтшуля и Кольбрука, б) формулам, рекомендуемым СНиП 2.04.02-84* при проведении гидравлических расчетов водопроводных сетей. Кривая «Новые» получена по формуле Кольбрука для трубы диаметром 100 мм с шероховатостью 0.1 мм, кривая «По В.И. Щербакову» – тоже через 20 лет, кривая «По А.Г. Камерштейну» – тоже через 20 лет.

Очевидно, что кривые типа (б) представляют собой достаточно грубую аппроксимацию первых (пересечение кривых между собой и кривыми первой группы явно не имеет физического смысла). Более того, вызывает большие сомнения точность гидравлических расчетов, произведенных по формулам, рекомендуемым действующим СНиП.

Применение вычислительной техники снимает любые ограничения, связанные с трудоемкостью гидравлических расчетов, а потому, на наш взгляд, сегодня совершенно необоснованно применение грубых и неадекватных моделей при наличии альтернативы. В качестве еще одного, возможно, наиболее убедительного, аргумента, стоит указать на следующую деталь – все зарубежные разработки в области моделирования систем подачи и распределения воды используют при определении гидравлических потерь формулу Кольбрука, которая применяется и в программе «Visual Vector. NetGuide»:

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

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

Данные о шероховатости труб, выполненных из различных материалов и различного возраста, приведены в таблице 4.1.

Материал и способ изготовления труб	Состояние трубы	<i>К</i> _Э , мм
	Новне	$0.03 \div 0.12$
	Повые	0.05
Станци на Басиновиц на		$0.01 \div 0.02$
Стальные осешовные		0.014
Стальные оцинкованные		$0.10 \div 0.20$
		0.15
		$0.10 \div 0.20$
	Со следами коррозии	0.15
	Creferenceuropauru	$0.15 \div 0.30$
	Слаоокорродированные	0.2
	<u>C</u>	$0.30 \div 0.70$
Стальные	Среднекорродированные	0.5
		5÷10
	Сильнокорродированные	7.5
	Заросшие (с большими	10÷20
	отложениями)	15
	С цементно-песчаным	$0.2 \div 0.4$
	покрытием	0.3
	Иариа	$0.001 \div 0.002$
из цветных металлов	повые	0.0015
	Новые с битумными	$0.08 \div 0.26$
	покрытиями	0.12
	Hanna Gan Hanna	$0.20 \div 0.50$
Чугунные	Новые оез покрытия	0.30
	Заросшие	До 3
		$5 \div 10$
	Сильно заросшие	7.5

Таблица 4.1. Эквивалентная шероховатость труб из различных материалов

ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»

29

	Новые	$0.184 \div 1.567$
	виброгидропрессованные	0.8
Жаларобатонина	Новые центрифугированные	$\frac{0.15 \div 0.30}{0.2}$
железоостонные	Заросшие	$\frac{0.30 \div 0.80}{0.5}$
	Бетонные	$1.0 \div 3.0$
Асбестоцементные	Новые	$\frac{0.05 \div 0.10}{0.085}$
Пластмассовые		$\frac{0.004 \div 0.04}{0.02}$

Примечание: В числителе указаны минимальные и максимальные значения шероховатости, в знаменателе – рекомендуемые средние.

4.4 Поверочные гидравлические расчеты для случая неустановившегося режима движения жидкости (гидравлический удар)

Гидравлическим расчетам водопроводных сетей при неустановившихся режимах посвящено гораздо меньшее число работ, и немногие расчетные программы позволяют моделировать соответствующие процессы. Это объясняется сложностью модели процессов, а также большим объемом вводимой информации, необходимой для проведения подобных расчетов. Модель неустановившегося потокораспределения (при сохранении сплошности потока) предусматривает решение системы дифференциальных уравнений

$$\begin{cases}
\frac{\partial h}{\partial t} + U \times \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{C^2}{g} \times \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \\
\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{U}{g} \times \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{g} \times \frac{\partial U}{\partial t} + \lambda \times \frac{U \times |U|}{2 \times g \times d} = 0
\end{cases},$$
(4.9)

где h, U - напор и скорость в точке сети, C - скорость распространения ударной волны, d - диаметр участка сети, λ - коэффициент гидравлического трения, g - ускорение свободного падения.

Поведение сооружений на сетях моделируется через введение соответствующих граничных условий для системы (4.9). В настоящее время расчеты СПРВ в условиях переходных процессов осуществляются достаточно редко. При необходимости программа «Visual Vector. NetGuide» может быть поставлена с дополнительным модулем, позволяющим исследовать неустановившиеся режимы движения воды в трубопроводах в соответствии с моделью (4.9).

4.5 Расчет сетей на надежность

Расчет сетей на надежность чаще всего реализуется посредством поверочных расчетов при исключении из работы одного или нескольких участков сети одновременно. Этот вариант расчета позволяют реализовать все модификации программы «Visual Vector. NetGuide».

Данный расчет проводится с помощью команды «Выбрать участок сети для отключения» инструментальной панели «Моделирование», которой соответствует пиктограмма после перехода в режим «Выбрать участок сети для отключения» необходимо выбрать нужный участок и щелкнуть по нему левой кнопкой мыши. Автоматически программа исключит выбранный участок из расчетной схемы.

4.6 Задачи оптимального синтеза СПРВ и конструкторский расчет

Отдельным направлением при расчете наружных водопроводных сетей является задача оптимального синтеза СПРВ (по классификации, приведенной на рисунке 4.1, оптимизационные задачи) при различных условиях (с учетом надежности, для условий развития и др.). Общим моментом при решении всех подобных задач является желание получить такую СПРВ, которая при удовлетворении ряда общих и специальных условий минимизировала бы значение удельных приведенных затрат, стоимость жизненного цикла или иного интегрального показателя. В тех частных случаях оптимизации, когда структура сети задана, а вариации подлежат параметры отдельных участков или узлов, говорят о задаче параметрической оптимизации.

В частности, можно для заданной структуры сети потребовать подобрать такие диаметры участков, которые позволили бы получить минимальные удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию трубопроводной системы:

$$C = \frac{\left(p+E\right) \times \sum_{i=1}^{n} \left(a+b \times D_{i}^{\alpha}\right) \times l_{i} + \left(H_{0} + \sum_{i=1}^{n} h_{i}\right) \times Q \times k}{Q(t)},$$
(4.10)

где p - нормативный процент ежегодных отчислений на амортизацию и ремонт сети, E - величина, обратная сроку окупаемости капиталовложений, k - коэффициент, учитывающий амортизационные расходы при эксплуатации системы, n - число участков трубопроводов, входящих в состав системы, D - диаметры участков сети, l - длины участков, H_0 - пьезометрическая высота в диктующей точке относительно уровня воды в источнике водоснабжения, h - потери энергии на участках сети, Q- полный расход воды, подаваемый в систему, Q(t) - расход воды за расчетный период, a, b, α - коэффициенты, учитывающие стоимость прокладки трубопроводов при различных условиях.

В работах П.Д. Хоружия, Г.П. Небольсина, А.С. Вербицкого, Н.А. Украинца указанная модель была тщательно исследована. Однако в настоящее время в связи с существенными изменениями в структуре экономики вообще и в коммунальном хозяйстве в частности целый ряд полученных ранее результатов потерял свою актуальность.

В целом можно констатировать, что большинство задач параметрического синтеза являются уникальными, т.е. ставятся для решения конкретных задач конкретной гидравлической цепи. По этой причине в практике часто приходится иметь дело с квазиоптимизационными задачами. В программе «Visual Vector. NetGuide» 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. Дополнительно, по согласованию с Заказчиком, могут быть поставлены модули, позволяющие использовать произвольные целевые функции (например, использовать в качестве критерия оптимизации стоимость жизненного цикла системы).

4.7 Техническая диагностика и обратные задачи потокораспределения

Отдельным направлением в области моделирования инженерных сетей, не отраженным в классификации на рисунке 4.1, являются обратные задачи потокораспределения, представляющие собой совокупность математических методов и моделей, с помощью которых можно определить фактические сопротивления и расходы на участках сети, расходы у потребителей, места аварий и величины утечек.

Обратные задачи изотермического и неизотермического потокораспределения рассмотрены в главе «Идентификация трубопроводных систем» докторской диссертации А.П. Меренкова «Математические модели и методы для анализа и оптимального проектирования трубопроводных систем» 1974 г. В ней были сформулированы также постановки задач для дальнейших исследований, включая учет и подавление влияния ошибок измерений, применение методов регуляризации, понижение размерности задач и т. д.

А.П. Меренков был идеологом и разработчиком сетевого подхода к проблеме идентификации трубопроводных систем, известного под названием «Метод математического расходомера» (авторское свидетельство № 283746, 1970 г., А.П. Меренков, В.Я. Хасилев, К.С. Светлов). Центральной идеей «математического расходомера» является использование сетевых уравнений потокораспределения в расчетах различных режимов работы СПРВ.

В общем случае задача по определению фактического потокораспределения (или гидравлических сопротивлений) сводится к минимизации функции, характеризующей отличия модельных и натурных давлений в узлах сети:

$$\begin{split} F(s, x^{(l)}) &= \sum_{l=1}^{p} (\sum_{i=1}^{k} (\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{j}^{(l)} - q_{i}^{(l)}) \cdot (\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{j}^{(l)} - q_{i}^{(l)}) + \\ &+ \sum_{i=k+1}^{n} (\sum_{j=1}^{n} c_{ij} s_{j} \mid x_{j}^{(l)} \mid^{\beta-1} - H_{j-k}^{(l)}) (\sum_{j=1}^{n} c_{ij} s_{j} \mid x_{j}^{(l)} \mid^{\beta-1} - H_{j-k}^{(l)}) + \\ &+ \sum_{i=k+n+1}^{n+R} (\sum_{j=1}^{n} c_{ij} s_{j} \mid x_{j}^{(l)} \mid^{\beta-1} x_{j}^{(l)} - \Delta h_{i-k-r}^{(l)}) \cdot (\sum_{j=1}^{n} c_{ij} s_{j} \mid x_{j}^{(l)} \mid^{\beta-1} x_{j}^{(l)} - \Delta h_{i-k-r}^{(l)})) \end{split}$$
(4.11)

где *с* - коэффициенты, определяемые по правилу знаков закона Кирхгофа, *s*, β - параметры закона гидравлического сопротивления, *H* - напоры в узлах сети, *x* - неизвестные расходы, *q* - узловые отборы, Δh - невязки, *l*, *i*, *j* - индексы режимов работы, участков, узлов; на первых *d* участках установлены датчики расходов.

Данная задача сложна в вычислительном отношении: плохо обусловленная матрица Якоби данной системы фактически не позволяет решать задачи большой размерности с помощью градиентных методов. Достоинство «математического расходомера» перед прочими

33

инженерными методами сетевой идентификации заключается в том, что он позволяет решать задачи по локализации аварийных ситуаций и вопросы рационального эквивалентирования.

Кроме методов сетевой идентификации, построенных на «математическом расходомере», известны и другие способы определения параметров системы. В работе П.Д. Хоружия описывается технология построения изолиний пьезометрических отметок как способа оценки сетевых параметров. Автором предложены эвристические алгоритмы оценки гидравлической загруженности сети по характеру распределения и густоте линий равных пьезометрических отметок. Верификация состояния оценивается по степени соответствия

предельным экономическим уклонам
$$I_{\min} = \frac{8 \times \lambda \times Q_{\min}^2}{\pi \times g \times d_p^2}$$
, $I_{\max} = \frac{8 \times \lambda \times Q_{\max}^2}{\pi \times g \times d_p^2}$,

где Q_{max} , Q_{min} - предельные экономические расходы воды, принимаемые в зависимости от материалов труб и условий работы.

В конце 90-х годов прошлого века появился ряд зарубежных публикаций (Tang K.W., Zhang F, Savic D.A., Walters G.A., Vitkovsky J.P., Simpson A.R., Murthy L.J.), в которых было предложено решать обратные задачи потокораспределения в рамках сетевого подхода с применением нейронных сетей и генетических алгоритмов. Это позволило исследователям решить ряд принципиальных сложностей, связанных с некорректностью обратной задачи. В программе Visual Vector. NetGuide (конфигурация Диагностика) имеется возможность решать особый тип обратных задач потокораспределения: по информационно неполному и недостоверному набору исходных данных, полученных по результатам пьезометрических съемок и статистических данных эксплуатационных организаций, оценить степень проявления технологических осложнений на участках сети.

Под технологическим осложнением понимается нежелательное отклонение одной или нескольких функциональных характеристик от своего нормального (проектного) положения. Классические постановки идентификационной задачи [24], [25], [98] предполагали выявление по данным пьезометрических съемок степени проявления какого-либо одного осложнения, чаще всего, изменения коэффициента гидравлического трения вследствие внутренней коррозии.

В программе «Visual Vector. NetGuide» выделяются три типа технологических осложнений при эксплуатации наружных водопроводных сетей: несанкционированные отборы, утечки, коррозионное зарастание.

Под несанкционированным отбором понимается превышение расходов воды у потребителей выше установленных норм, что может быть обусловлено: а) самовольным подключением абонентов к магистральным сетям, б) значительными утечками на внутренних сетях водопровода.

Утечки на наружных сетях представляют собой полностью неустранимые потери воды, связанные с частичным или полным нарушением герметичности системы подачи воды вследствие целого ряда факторов.

Коррозионное зарастание – изменение внутренней структуры участков трубопроводов вследствие коррозии, приводящее к увеличению сопротивления движению воды за счет изменения шероховатости труб.

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 ее участках и узлах.

Далее приводится описание доступных в конфигурации «Диагностика» расчетов с указанием необходимых для расчета исходных данных и пояснениями относительно интерпретации результатов расчетов.

5.1 Поверочный расчет сети с использованием «внутренней» увязки сети

<u>Цель расчета</u>: 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 свободных напоров в узлах сети напоры водопитателей.

<u>Исходные данные</u>: структура графа сети, диаметры, длины и материалы труб участков, подачи водопитателей, отборы водопотребителей, отметки поверхности земли в узлах сети, требуемые свободные напоры у потребителей

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

Для проведения расчета используется команда главного меню программы «Расчет» → «Гидравлический расчет» (кнопка для быстрого вызова F5), продублированная пиктограммой и 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» (рисунок 5.1).

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 – свободные напоры. В узлах подачи (узлах, в которых располагаются водопитатели) указываются минимальные напоры (отсчитываемые от поверхности земли), которые они должны развивать для обеспечения во всех узлах сети свободных напоров не менее заданных пользователем.

35

Pe	Результаты расчета							
	N Участка	Начальный узел	Конечный узел	Расход, (л/с)	Диаметр, (мм)	Скорость, (м/с)	Материал труб	^
	1	1	2	0	100	0	Металл	E
	2	3	2	19.84	100	2.53	Металл	
	3	3	4	9.92	100	1.26	Металл	
	4	5	4	9.92	100	1.26	Металл	
	5	5	1	19.84	100	2.53	Металл	
	6	6	3	59.52	100	7.58	Металл	
	7	7	5	59.52	100	7.58	Металл	
								_
								~
<								>

Рисунок 5.1. 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 воспринимаются программой как узлы подачи и 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» (кнопка для быстрого вызова Ctrl + Q). Общий вид отчета представлен на рисунке 5.2.

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 (свободных напорах) в узлах сети можно получить с использованием отчета «Результаты расчета по узлам сети», который вызывается с использованием команды главного меню программы «Результаты» (кнопка для быстрого вызова Ctrl + P). Просмотр и печать отчета осуществляется ранее описанным способом.

Очег						
\$	Область г	тросмотра				
Вперед						
Назад						
桷		DE2V			DACUETA	
В экран		FLOY	пыятытидгя		<u> </u>	
ССО По ширине			_			
4		№ узла	Поверхность земли, м	Требуемый напор, м	Располагаемый напор, м	
Печать		1	5	40	47.87	
		2	10	40	42.64	
D Qavin		3	4	40	48.87	
		4	7	40	45	
		5	12	40	40	
		6	3	0	57.44	
		7	5	0	55.44	
						~
						•

Рисунок 5.2. Окно отчета по узлам сети

Для построения пьезометрических графиков используется специальный модуль «Пьезометр». Во всех конфигурациях программы по умолчанию используется упрощенная версия модуля, вызываемая с помощью команды «Построить пьезометрический график» инструментального меню «Моделирование», которой соответствует пиктограмма макатия на нее программа переходит 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 изменит свой цвет. Двойной целчок 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 5.3.



Рисунок 5.3. 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 (рисунок 5.4), которое вызывается соответствующей пиктограммой В правом верхнем углу главного окна программы или командой главного меню «Исходные данные» → «Свойства модели сети».

37

пециальные свойства моде	вли			
Дополнительные сведе	ния о водопотреблении			
Добавить распределенный указанном количестве, куб.	по сети объем водопотребл м / час	ения в	0	
Раскраска графа сети				
📃 Отображать участки с о	скоростями движения, выхо	дящими	за пределы реком	іендуемых
Минимальная рекомендуем	ая скорость движения, м/с		0,2	
Максимальная рекомендуе	мая скорость движения, м/	c	1,2	
📃 Стратификация узлов г	рафа сети по давлению			
Уровень 1: давление от	0	4.B.C. 00	40	MBC
Уровень 2: давление от	40	и.в.с. до	45	M.B.C.
Уровень 3: давление от	45 1	ч.в.с. до	55	M.B.C.
Уровень 4: давление свыше	55	4.B.C.		
Отображение графа сети —				
Отображение графа сети — Этображение текста — Отображение текста рассторию				
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые Отображать номера узл	пояснения на схеме ов сети			
Отображение графа сети Отображение текста Отображать текстовые Отображать номера узл Отображать номера узл Отображать распределе	пояснения на схеме ов сети жные узловые отборы			
Отображение графа сети Этображение текста Отображать текстовые Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирован	пояснения на схеме ов сети инные узловые отборы чные узловые отборы			
Отображение графа сети • Отображение текста • Отображать текстовые • Отображать номера узл • Отображать фиксирован • Отображать фиксирован • Отображать фиксирован • Отображать узловые от	пояснения на схеме ов сети янные узловые отборы метки и напоры			
Отображение графа сети Тображение текста Отображать текстовые Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирова Отображать узловые от Отображать узловые от Отображать узловые от Отображать узловые от	пояснения на схеме ов сети янные узловые отборы нные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков			
Отображение графа сети — Тображение текста — У Отображать текстовые Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирова Отображать узловые от Отображать материалы Отображать расходы и о	пояснения на схеме ов сети нные узловые отборы нные узловые отборы ектки и напоры труб и длины участков жорости движения потока н	ю участк	ах сети	
Отображение графа сети Тображение текста Отображать текстовые Отображать номера узл Отображать распределе Отображать распределе Отображать узловые от Отображать узловые от Отображать узловые от Отображать расходы и о Растровая подложка и г	пояснения на схеме ов сети нные узловые отборы ные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков жорости движения потока н привязочная сетка	на участк	ах сети	
Отображение графа сети Тображение текста Отображать текстовые Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирова Отображать узловые от Отображать узловые от Отображать расходы и с Растровая подложка и г Нет	пояснения на схеме ов сети нные узловые отборы нные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков жорости движения потока н привязочная сетка	на участк.	ах сети	Загрузить
Отображение графа сети Тображение текста Отображать текстовые Отображать номера узл Отображать распределе Отображать фиксирова Отображать узловые от Отображать расходы и к Растровая подложка и г Нет Масштабный коэффициент	пояснения на схеме ов сети нные узловые отборы метки и напоры труб и длины участков жорости движения потока н привязочная сетка 100	на участк.	ах сети	Загрузить

Рисунок 5.4. 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 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. 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 ^(So)), либо с использованием главного меню программы «Результаты». После запуска генератора запросов появится окно (рисунок 5.5) с предложением указать критерии выбора узлов и участков сети.

енератор запросов				X
- Поиск узлов]
🔲 Подсвечивать на схеме узлы, удовлет	воряющие описанным ні	иже ус	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 напорам	۹			
Фактические напоры меняются от	0	до	50	M.B.C.
Поиск участков				
Подсвечивать на схеме участки, удовл	етворяющие описанным	1 ниже	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	×	Аять визуализацию	
• подсветить выоранные элем		^ '	лять визуализацию	

Рисунок 5.5. 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 5 м.в.с., необходимо установить следующие параметры запроса (рисунок 5.6).

Генератор запросов						
с Поиск узлов						
Подсвечивать на схеме узлы, удовлетворяющие описанным ниже условиям						
📃 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 напорам	1	_				
Фактические напоры меняются от	0	до	50	M.B.C.		
с Поиск участков						
🔽 Подсвечивать на схеме участки, удовл	етворяющие описанным	и ниже	е условиям			
📃 Условия по расходам		_				
Расходы меняются от	0	до	10	л/с		
Условия по скоростям						
Скорости меняются от	2	до	4	м/с		
Условия по потерям напора						
Потери напора меняются от	0	до	5	M.B.C.		
🗸 Подсветить выбранные элем	енты	Х (Снять визуализацию			

Рисунок 5.6. 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 снятия выделения необходимо 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»).

40

41

5.2 Поверочный расчет сети 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 поверхности земли в узлах сети.

<u>Результат расчета:</u> потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); фактические свободные напоры 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 «Гидравлический расчет» (кнопка для быстрого вызова F5), продублированная пиктограммой ан 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 ранее описанным. Сам тип увязки определяется 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 ^Г. 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 (рисунок 5.7), 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.



Рисунок 5.7. 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 и далее в зависимости от типа увязки. При использовании «внутренней» увязки сети: потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); свободные напоры в узлах сети; требуемые напоры водопитателей, при которых во всех узлах свободные напоры не менее заданных. При использовании «внешней увязки»: потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); фактические свободные напоры 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 соответствующую команду на 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 ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ» осуществляет гидравлическую увязку сети с принятыми на предыдущем этапе диаметрами.

5.4 Оптимальный синтез сети при использовании «внутренней» увязки

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

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

<u>Результаты расчета:</u> потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); свободные напоры в узлах сети; требуемые напоры водопитателей, при которых во всех узлах свободные 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, которые приближают свободные напоры в узлах к тем, которые заданы пользователем (требуемые свободные 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 5.8.

 $\Lambda\Lambda$

Процесс оптимизации							
Ход оптимизационного решения							
46 83% B	0						
	Итерация						
	Максимальная невязка — Минимальная невязка — Средняя	невязка					
· · · · ·							
 Настройка генетич 	еского алгоритма	ตา					
Количество экзем	ипляров в плане	1					
Козффициент выб	iopa	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
Количество экзем	пляров текущего плана, переносимых в следующий	U					
Вероятность ранд	омизации, %	10					
Козффициент пер	естановок	5					
Число итераций		20					
Нижняя граница (Нижняя граница скоростей движения в трубопроводах, м/с 0.5						
Верхняя граница о	Верхняя граница скоростей движения в трубопроводах, м/с 5						
✓ Оптимизация							

Рисунок 5.8. Настройка многопараметрического генетического оптимизатора при выполнении «конструкторского» расчета

В верхней части экрана располагается график, отображающий ход оптимизационного процесса. В нижней части – параметры, необходимые для работы генетического алгоритма, осуществляющего поиск оптимальных вариантов в пространстве возможных решений (задаются пользователем). 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 – локальный

оптимум, но при этом возрастает время работы программы), «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.

5.5 Оптимальный синтез сети при использовании «внешней» увязки

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

Исходные данные: структура графа сети, диаметры, длины и материалы труб участков, характеристики водопитателей, отборы водопотребителей, отметки поверхности земли в узлах сети, требуемые свободные напоры у потребителей, диапазоны скоростей движения жидкости.

<u>Результат расчета:</u> потокораспределение в сети (расходы, скорости и потери напора по участкам сети); фактические свободные 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 (свободные 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 свободные 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.

5.6 Обратные задачи, техническая диагностика

<u>Цель расчета</u>: по информационно неполному и недостоверному набору исходных данных, полученных по результатам пьезометрических съемок и статистических данных эксплуатационных организаций, оценить степень проявления технологических осложнений на участках сети: утечек, несанкционированных отборов, коррозионного зарастания. Расчеты

производятся как для схем с «внутренней» увязкой, так и с «внешней», однако идеологически более прозрачным является подход с использованием «внешней» увязки сети.

<u>Исходные данные:</u> те же, что и при проведении поверочных расчетов (с «внутренней» или «внешней» увязкой); фактические давления в узлах сети; статистическая информация о техническом состоянии отдельных участков сети.

<u>Результаты расчета:</u> те же, что и проведении поверочных расчетов, но дополнительно для каждого участка сети указываются степени проявления одного из трех или всех трех технологических осложнений (утечек, несанкционированных отборов и внутреннего коррозионного зарастания).

Для запуска модуля технической диагностики используются следующие команды главного меню программы:

«Расчет» → «Обратная задача: коррозионное зарастание трубопроводов»

«Расчет» → «Обратная задача: несанкционированные отборы»

«Расчет» → «Обратная задача: утечки»

«Расчет» → «Общая техническая диагностика»

Последняя команда, по сути, инкапсулирует в себя первые три, но не позволяет наглядно отобразить результат расчетов. Результатом общей технической диагностики является определение степени проявления на всех участках сети 3 технологических осложнений: утечек (индекс @A), несанкционированных отборов (индекс @S), коррозионного зарастания (индекс @C). После расчета на графе представления сети у каждого участка появляется надпись с указанием значений всех трех индексов. При этом, чем больше значения соответствующего индекса, тем вероятнее, что на данном участке имеет место данное технологическое осложнение. При использовании частных команд «Расчет» \rightarrow «Обратная задача: коррозионное зарастание трубопроводов», «Расчет» \rightarrow «Обратная задача: несанкционированные отборы», «Расчет» \rightarrow «Обратная задача: утечки» после решения обратной задачи запускается специальный эвристический алгоритм, формирующий набор поясняющих цветных маркеров для конкретного типа технологического осложнения. Белый цвет на диаграммах соответствует значениям индексов 0 – 2, зеленый 2 – 4, желтый 4 - 6, красный – более 6 (рисунок 5.9).



Рисунок 5.9. Результаты решения обратной задачи по параметру коррозионное зарастание

Отключить поянсяющие маркеры можно с помощью команды Расчет» → «Отключить визуализацию».

Достоверность результатов подобных расчетов определяется полнотой статистической информации по участкам сети и фактическим давлениям в узлах сети. Важно, чтобы данные пьезометрии были получены для всех узлов сети. В противном случае следует указать значение натурного свободного напора равным модельному (полученному по результатам предварительного расчета сети). Кроме того, рекомендуется учитывать разность глубин заложения трубопроводов в разных узлах за счет введения некоторой фиктивной надбавки (со знаком «+» или «-») в значения отметок поверхности земли в узлах сети.

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 водопроводных 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.) или предполагаемые значения подач водопитателей с указанием требуемых свободных 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} на 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 (отсчитываемые 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. NetGuide на конкретном примере.

■ <u>Пример 1.</u> Рассмотрим двухкольцевую сеть, запитанную от насосной станции (узел 1) по водоводу из двух параллельных линий диаметром 500 мм и длиной 500 метров. К узлу 8 примыкает водовод, соединяющий сеть с башней (узел 9).

Отборы воды производятся в узлах 4: 432 м³/час, 6: 288 м³/час, 7: 432 м³/час, 8: 432 м³/час. Кроме того, в соответствии с предварительно построенным графиком водопотребления предполагается, что в расчетный час водопотребления осуществляется наполнение башни (в узле 9). Таким образом, общая подача водоисточников должна составлять не менее 1584 м³/час. Информация об участках сети сведена в таблицу 6.1.

Участок	Диаметр, мм	Длина, м	Материал труб		
1-2	1000	1	Чугун		
2-3	500	1000	Чугун		
3-4	500	1000	Чугун		
2-4	500	1000	Чугун		
4-5	350	200	Чугун		
5-6	350	200	Чугун		
6-4	350	400	Чугун		
4-7	350	1300	Чугун		
6-7	300	1000	Чугун		
6-8	300	1200	Чугун		
7-8	300	100	Чугун		
8-9	250	200	Чугун		

Таблица 6.1. Исходные данные по участкам

Информация об узлах сети сведена в таблицу 6.2.

	Таблица 0.2. Исходиыс данные по				
Узел	Фиксированный	Поверхность земли,	Требуемый		
	сетевой отбор, куб.	М	(минимальный)		
	м/час		свободный напор, м		
1	0	30	0		
2	0	30	0		
3	0	30	0		
4	432	34	42		
5	0	28	42		
6	288	33	42		
7	432	28	42		
8	432	30	42		
9	0	30	75 (высота башни)		

Таблица 6.2. Исходные данные по узлам



исунок о.1. Схема водопроводной сети из примера ГРУППА КОМПАНИЙ «КОММУНЖИЛПРОЕКТ»



Рисунок 6.2. Вид графа сети в программе Visual Vector для водопроводной сети из примера 1

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 1, осуществим «внутреннею» увязку сети. Зафиксируем подачу в узле 1 на уровне 1700 м³/час, а отбор в узле 9 (башня) на уровне 1700 – 1584 = 116 м³/час.

NetGuide	×
Свойства узла	2
Номер узла	1
Идентификатор в базе данных	<u>0</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	-1700
Отметка земли, м	30
Свободный напор, м	0
Тип узла в гидравлической модели	Внутренняя задача 💌
Насосное оборудование	
🗣 Установить 💡 Дополнительн	о 🔊 Закрыть окно

Рисунок 6.3. Установка параметров водопитателя (насосной станции)

NetGuide	X
Свойства узла	n 2
Номер узла	9
Идентификатор в базе данных	<u>70</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	116
Отметка земли, м	30
Свободный напор, м	75
Тип узла в гидравлической модели	Внутренняя задача 💌
Насосное оборудование	Башня
🗣 Установить 🍞 Дополнительн	о 🔊 Закрыть окно



После проведения поверочного гидравлического расчета было установлено следующее: - диктующим является узел №9,

- для обеспечения требуемого свободного напора в узле №9 напор, развиваемый нагнетателями в узле №1, должен составлять не менее 88.2 м.в.с,

- свободный напор в узле размещения водонапорной башни №9 в этом случае составляет около 75 м.в.с.

Для проведения «внешней» увязки с учетом результатов решения «внутренней» задачи примем следующие параметры нагнетательного и емкостного оборудования. В качестве рабочего насоса для узла №1 выберем насос типа 14 НДС, а в узле 9 установлена башня высотой 75 м.

NetGuide	×
Свойства узла	p 2
Номер узла	1
Идентификатор в базе данных	<u>0</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	d
Отметка земли, м	30
Свободный напор, м	0
Тип узла в гидравлической модели	Внешняя задача 💌
Насосное оборудование	14 НДС 💌
🛛 🗣 Установить 🦪 Дополнительн	ю 🔊 Закрыть окно

Рисунок 6.5. Установка параметров водопитателя (насосной станции) при использовании процедуры «внешней» увязки

NetGuide	X
Свойства узла	n 2
Номер узла	9
Идентификатор в базе данных	<u>67</u>
Величина фиксированного отбора, куб. м/час	0
Отметка земли, м	30
Свободный напор, м	0
Тип узла в гидравлической модели	Внешняя задача 💌
Насосное оборудование	Башня
🗳 Установить 🥇 Дополнительн	о 🔊 Закрыть окно

Рисунок 6.6. Установка параметров водонапорной башни в режиме аккумулирования при использовании процедуры «внешней» увязки

По результатам моделирования установлено, что фактическая подача насоса 14 НДС составит 1690.4 м³/час при развиваемом им напоре 87.94 м.в.с. Кроме того, результаты расчета свидетельствуют, что при заданной нагрузке вода будет поступать в башню. Расход воды, поступающей в башню, составит 106.4 м³/час. ■

■ <u>Пример 2.</u> Рассмотрим скважинную систему водоснабжения на рисунке 6.7. В этой системе вода из скважин (узлы 12, 14, 16, 18, 20, 22) забирается центробежными насосами и подается в общий сборный трубопровод 3-2, а затем изливается в резервуар (в узле 1). На основании гидрогеологических исследований установлено, что отметка статического уровня воды в скважинах, забирающих воду из одного водоносного пласта, равна 267 м. Отметка поверхности земли в узле размещения резервуара чистой воды – 305 м. В качестве погружных насосов в скважинах приняты насосы типа ЭЦВ-10-120-60.



Рисунок 6.7. Схема скважинной системы водоснабжения

При моделировании понижение динамического уровня во всех скважинах описывается уравнением $h_n = S_n \times q$,

где $S_{_{\pi}} = \frac{1}{q_{_{y\partial}}}$ - удельное сопротивление скважины, причем $q_{_{y\partial}}$ - удельный дебит скважины, т.е.

расход из скважины, при котором падение динамического уровня составляет 1 метр.

В конкретном случае при проведении экспериментальных откачек было установлено, что $h_{_{\rm I}} = 0.078 \times q$, где q - расход из скважины в м³/час.

Информация об участках сети сведена в таблицу 6.3.

Участок	Диаметр, мм	Длина, м	Материал труб
1-2	350	1	Сталь
2-3	350	100	Сталь
3-4	350	7.5	Сталь
4-5	350	5	Сталь
5-6	300	25	Сталь
6-7	200	25	Сталь
3-8	350	7.5	Сталь
8-9	350	5	Сталь
9-10	300	25	Сталь
10-11	200	25	Сталь
12-13	200	200	Сталь
14-15	200	200	Сталь
16-17	200	200	Сталь
18-19	200	200	Сталь
20-21	200	200	Сталь
22-23	200	200	Сталь
7-13	100	1	Сталь
6-15	100	1	Сталь
5-17	100	1	Сталь
9-19	100	1	Сталь
10-21	100	1	Сталь
11-23	100	1	Сталь

Таблица 6.3. Исходные данные по участкам

Информация об узлах сети сведена в таблицу 6.4.

		таолица 0.4. И	сходные данные по уз.
Узел	Фиксированный	Поверхность земли,	Требуемый
	сетевой отбор, куб.	М	(минимальный)
	м/час		свободный напор, м
1	0	305	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	267	0
13	0	0	0
14	0	267	0
15	0	0	0

Таблица 6.4. Исходные данные по узлам

Узел	Фиксированный	Поверхность земли,	Требуемый		
	сетевой отбор, куб.	Μ	(минимальный)		
	м/час		свободный напор, м		
16	0	267	0		
17	0	0	0		
18	0	267	0		
19	0	0	0		
20	0	267	0		
21	0	0	0		
22	0	267	0		
23	0	0	0		

Во многих случаях динамическое понижение уровня воды при откачке можно зафиксировать на уровне отметок узлов, в которых размещается насосное оборудование (узлы 12, 14, 16, 18, 20, 22). Например, зная величину удельного дебита скважины и число рабочих скважин, можно заранее определить подачу от одной скважины (в первом приближении). Зная подачу одной скважины можно зафиксировать значения понижения уровня воды в скважине. Если понижение динамического уровня составит при известной подаче 10 м, то можно было бы задать для узлов отметку «поверхности земли» не 267, а 257 метров.

В рассматриваемом же случае водопонижение моделировалось с использованием «активных» гидравлических сопротивлений на участках 13-7, 15-6, 17-5, 19-9, 21-10, 23-11. Для использования такого активного гидравлического сопротивления необходимо создать в справочнике материалов труб и специальных сопротивлений сопротивление «Скважина», описывающее понижение уровня воды при ее откачке из скважины.

Для моделирования понижения уровня воды в скважине необходимо создать сопротивление «скважина» в справочнике материалов труб и специальных сопротивлений. При использовании базой версии справочника для описания уравнения $h_{_{
m J}} = 0.078 \times q$ необходимо задать сопротивление «Водопонижение скважины».

C	Справочник										
C	Справочник матер	иалов труб и специалы	ных сопротивл	ений —							
	Название	Тип	Шероховатос	A	В	С	*				
	Сталь	Труба	0.7								
	Полимер	Труба	1.5								
	Штукатурка	Труба	0.3								
	Дерево	Труба	2.5								
	Чугун	Труба	0.92								
	• Скважина	Сопротивление	1	0	280.8	0					
	<										
		🗸 ок	🏑 🎺 Доб	авить	0 y,	далить					

Рисунок 6.8. Создание активного сопротивления «Скважина» для моделирования понижения динамического уровня

Сопротивление «Водопонижение скважины» моделируется полиномом $h_{_{_{_{_{}}}}} = 0 \times q \times q + 280.8 \times q + 0$ (q в м³/с). Здесь «280.8» - коэффициент в уравнении $h_{_{_{_{}}}} = 0.078 \times q$, переведенный для измерения расхода q в м³/с.

Для участков с активными сопротивлениями (13-7, 15-6, 17-5, 19-9, 21-10, 23-11; необходимо указать тип сопротивления «Скважина», длина участка и его диаметр в данном случае не имеют значения, поэтому могут задаваться произвольно.

NetGuide	×
Свойства участка	D
Номер участка	17
Идентификатор в базе данных	<u>164</u>
Начальный узел	13
Конечный узел	7
Диаметр участка сети, мм	<u>•••</u>
Длина участка сети, м	1
Материал труб / сопротивление	Скважина
🔽 Фиксировать участок	
🕄 Установить	崎 Закрыть окно

Рисунок 6.9. Свойства участка с активным сопротивлением «Скважина» для моделирования понижения динамического уровня

Для моделирования отборов в данной расчетной схеме целесообразно использовать нефиксированные отборы: в узле 1 для моделирования истечения жидкости в атмосферу установлен нефиксированный отбор «Излив в атмосферу» (характеристика H = 3). Для наглядности рядом с узлом 1 установлен маркер резервуара (никакой дополнительной смысловой нагрузки для расчетной схемы он не несет).

С	Справочник насосного оборудования и активных сопротивлений 🛛 🛛 🔀											X		
Каталог машин Техническая характеристика														
	Наименование машины	^						Q-	н					
	Hacoc-1													- II
Г	Hacoc-2			ப்										
	Башня			M.B.										
	14 НДС			8-3-										
Г	Скважина			Tan			-							
Þ	Излив в атмосферу			-									1	
	ЭЦВ 8-25-100			c) 100	200	300	400	500	600	700	800	900	
	ЭЦВ 10-120-60	~					П	одача	, куб.	м / ча				

Рисунок 6.10. Нефиксированный отбор для моделирования истечения в атмосферу

Результаты моделирования скважинной системы представлены на рисунках ниже.

Результаты расчета свидетельствуют о том, что условия работы насосных станций зависят от их местоположения в системе «насосы – водоводы». ■

№ участка	Начало	Конец	Диаметр, мм	Длина, м	Расход, л/с	Скорость, м/с	Материал коммуникаций	Диссипация, м.в.с
1	2	1	350	1	223,4	2,32	Сталь	0,02
2	3	2	350	100	223,4	2,32	Сталь	1,85
3	4	3	350	7,5	111,7	1,16	Сталь	0,03
4	5	4	350	5	111,7	1,16	Сталь	0,02
5	6	5	300	25	74,39	1,05	Сталь	0,12
6	7	6	200	25	37,14	1,18	Сталь	0,24
7	8	3	350	7,5	111,7	1,16	Сталь	0,03
8	9	8	350	5	111,7	1,16	Сталь	0,02
9	10	9	300	25	74,39	1,05	Сталь	0,12
10	11	10	200	25	37,14	1,18	Сталь	0,24
11	12	13	200	200	37,14	1,18	Сталь	1,95
12	14	15	200	200	37,25	1,19	Сталь	1,96
13	16	17	200	200	37,3	1,19	Сталь	1,96
14	18	19	200	200	37,3	1,19	Сталь	1,96
15	20	21	200	200	37,25	1,19	Сталь	1,96
16	22	23	200	200	37,14	1,18	Сталь	1,95
17	13	7	100	1	37,14	4,73	Скважина	10,43
18	15	6	100	1	37,25	4,74	Скважина	10,46
19	17	5	100	1	37,3	4,75	Скважина	10,48
20	19	9	100	1	37,3	4,75	Скважина	10,48
21	21	10	100	1	37,25	4,74	Скважина	10,46
22	23	11	100	1	37,14	4,73	Скважина	10,43

РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Рисунок 6.11. Потокораспределение в схеме



Рисунок 6.12. Рабочая точка насоса в узле 12



Рисунок 6.13. Рабочая точка насоса в узле 16

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 подачи воды). Большинство задач параметрического синтеза являются уникальными, т.е. ставятся для решения конкретных задач конкретной гидравлической цепи.

В программе Visual Vector. NetGuide 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											
g												
889												
Ť												
0 Итерация												
	— Максимальная невязка — Минимальная невязка –	Средняя невязка										
- Настройка генетического алгоритма												
 Настройка генети 	ческого алгоритма	20										
 Настройка генети Количество экзе 	ческого алгоритма мпляров в плане бора	20										
Настройка генети Количество экзен Коэффициент вы Количество экзен	ческого алгоритма мпляров в плане бора мпляров текчшего плана, переносимых в следчюший	20 1 0										
Настройка генети Количество экзен Коэффициент вы Количество экзен Вероятность раң	ческого алгоритма мпляров в плане бора мпляров текущего плана, переносимых в следующий домизации, %	20 1 0 10										
Настройка генети Количество экзеи Коэффициент вы Количество экзеи Вероятность раң Коэффициент пер	ческого алгоритма мпляров в плане бора мпляров текущего плана, переносимых в следующий домизации, % рестановок	20 1 0 10 5										
Настройка генети Количество экзеи Козффициент вы Количество экзеи Вероятность рани Козффициент пер Число итераций	ческого алгоритма мпляров в плане бора мпляров текущего плана, переносимых в следующий домизации, % рестановок	20 1 0 10 5 20										
Настройка генети Количество экзен Козффициент вы Количество экзен Вероятность ран Козффициент пер Число итераций Нижняя граница	ческого алгоритма мпляров в плане бора мпляров текущего плана, переносимых в следующий домизации, % рестановок скоростей движения в трубопроводах, м/с	20 1 0 10 5 20 0.5										
Настройка генети Количество экзеи Коэффициент вы Количество экзеи Вероятность рани Коэффициент пер Число итераций Нижняя граница	ческого алгоритма мпляров в плане бора мпляров текущего плана, переносимых в следующий домизации, % рестановок скоростей движения в трубопроводах, м/с скоростей движения в трубопроводах, м/с	20 1 0 10 5 20 0.5 5										
Настройка генети Количество экзеи Коэффициент вы Количество экзеи Вероятность рани Коэффициент пер Число итераций Нижняя граница Верхняя граница	ческого алгоритма мпляров в плане бора мпляров текущего плана, переносимых в следующий домизации, % рестановок скоростей движения в трубопроводах, м/с скоростей движения в трубопроводах, м/с	20 1 0 10 5 20 0.5 5 5										

Рисунок 6.7. Настройка многопараметрического генетического оптимизатора при выполнении «конструкторского» расчета аккумулирования при использовании процедуры «внешней» увязки

■ <u>Пример 3</u> (рассматривается сеть из примера 1). Для примера 1 с помощью процедуры оптимизации удалось максимально близко (при сохранении условия подачи воды в башню) приблизится к «желаемым» напорам. Оптимизатор работает как с «внутренней», так и «внешней» увязкой. Результаты оптимизации по данным примера в условиях «внешней» увязки приведены ниже. Гидравлическая цепь до оптимизации.



Рисунок 6.8. Давления в узлах моделируемой сети до оптимизации

Область	просмотра									
	<u>РЕЗУЛ</u>	ЬТАТ	ы ги,	ДРАВЛИЧ	ECKOF	О РАСЧЕ	<u>TA</u>			
	№ участка	Начало	Конец	Диаметр, мм	Длина, м	Расход, л/с	Скорость, м/с	Материал коммуникаций	Диссипация, м.в.с	
	1	1	2	1000	1	454.33	0.58	Чугун	0	
	2	2	3	500	1000	187.89	0.96	Чугун	2.17	
	3	2	4	500	1000	266.43	1.36	Чугун	4.34	
	4	3	4	500	1000	187.89	0.96	Чугун	2.17	
	5	4	5	350	200	110.67	1.15	Чугун	0.98	
	6	5	6	350	200	110.67	1.15	Чугун	0.98	
	7	4	6	350	400	110.42	1.15	Чугун	1.94	
	8	6	7	300	1000	72.38	1.02	Чугун	4.7	
	9	7	8	300	100	65.62	0.93	Чугун	0.39	
	10	8	9	250	200	14.33	0.29	Чугун	0.1	
	11	4	7	350	1300	113.24	1.18	Чутун	6.64	
	12	6	8	300	1200	68.71	0.97	Чугун	5.08	

Рисунок 6.9. Расходы и скорости движения жидкости на участках моделируемой сети до оптимизации

Гидравлическая цепь после оптимизации (при зафиксированных участках 1-2, 2-3, 3-4, 2-4, 8-9; на этих участках диаметры не изменяются при оптимизации . ■

61

Отчет						
\$	Область просмо	тра				
Вперед						Â
Назад						
<i>8</i> 4		PE3V	пьтаты гипра	BUNALCKOLC	PACYETA	
В экран		1 2077	виланди			
По ширине		№ узпа	Поверхность земли, м	Требуемый напор. м	Располагаемый напор, м	
-		N= y 3070				-
Печать		1	30	0	85.59	
В файл		2	30	0	85.59	
		3	30	0	83.33	
		4	34	42	77.07	
		5	28	42	81.78	
		6	33	42	72.64	
		7	28	42	77.65	
		8	30	42	75.27	
		9	30	75	75	

Рисунок 6.10. Давления в узлах моделируемой сети после оптимизации

Отчет											×
a	Область прос	мотра									
Вперед											×
4											
Назад					полопии	ECVOR		TA			
<i>8</i> 6		FESSI	DIAI	ויי וום	цгарлич		JFACHE	IA			
В экран					0	0	0	Commenter auto	M ×	0	
côn		№ участка	пачало	конец	диаметр, мм	длина, м	Packoo, Ji/c	скорость, м/с	материал коммуникации	диссипация, м.в.с	
По ширине		1	1	2	1000	1	463.61	0.59	Чугун	0	
4		2	2	3	500	1000	191.74	0.90	чугун	2.20	
Печать		4	3	4	500	1000	191 74	0.98	Чугун	2.26	
		5	4	5	250	200	52.57	1.07	Читин	1.29	
В файл		6	5	6	200	200	52.57	1.67	Чугун	4.14	
		7	4	6	175	400	29.95	1.25	Чугун	5.43	
		8	7	6	250	1000	1.85	0.04	Чугун	0.01	
		9	7	8	400	100	139.24	1.11	Чугун	0.38	
		10	8	9	250	200	23.61	0.48	Чугун	0.27	
		11	4	7	500	1300	261.09	1.33	Чугун	5.42	
		12	6	8	175	1200	4.37	0.18	Чугун	0.37	E
											*

Рисунок 6.11. Расходы и скорости движения жидкости на участках моделируемой сети после оптимизации

6.3 Обратные задачи

В конфигурации «Диагностика» имеется возможность получать решения для особого типа обратных задач потокораспределения: по информационно неполному и недостоверному набору исходных данных, полученных по результатам пьезометрических съемок и статистических данных эксплуатационных организаций, оценить степень проявления технологических осложнений на участках сети: утечек, несанкционированных отборов, коррозионного зарастания. Рассмотрим возможности программы на простом примере.

■ <u>Пример 4</u>. Рассмотрим кольцевую сеть, в которой осуществляется транспортировка воды под высоким давлением от узла 1 (насос 14НДС) в узел 4 (абонент с фиксированным отбором в 800 м³/час). Отметки поверхности земли в узлах сети известны: 1 – 50 м, 2 – 48 м, 3 – 45 м, 4 – 44 м, 5 – 47 м. Все участки сети выполнены из стальных труб, длина всех участков 200 м, диаметр труб участка 1-2 – 600 мм, остальных участков – 400 мм.



Рисунок 6.12 Схема моделируемой сети

По данным пьезометрической съемки известны фактические давления в узлах сети для рассматриваемого режима нагрузки (при фиксированном отборе в 800 м³/час); они составляют: узел 2 – 104. 7 м.в.с., узел 3 – 106.5 м.в.с, узел 4 – 107 м.в.с., узел 5 – 105.3 м.в.с. Статистическая информация о состоянии участков трубопроводной системы приведена в таблице 6.5.

Показатель	Участок 1-2	Участок 2-3	Участок 3-4	Участок 4-5	Участок 5-2
Год укладки	0	5	5	5	5
трубопровода (0-					
недавно, 10 – давно)					
Толщина стенки	0	0	0	0	0
трубы (0 – большая,					
10 – малая)					
Нарушения в стыках	0	4	4	0	0
(0-отсутствуют, 10					
– выражены)					
Дефекты внутренней	0	2	0	0	0
поверхности (0 –					
отсутствуют, 10 –					
выражены)					
Нарушение	0	5	0	0	0
герметичности (0 –					
отсутствуют, 10 –					
выражена)					
Деформация тела	0	0	2	0	0
трубы (0 –					
отсутствуют, 10 –					
выражена)					
Глубина заложения	5	5	5	5	5
трубы (0 – малая, 10					
– большая)					
Состояние грунтов	0	5	2	2	2
вокруг трубопровода					
(0 –					
удовлетворительное,					
10 - не					
удовлетворительное	0	0	0	0	0
Наличие грунтовых	0	0	0	0	0
вод $(U - OTCYTCTBYЮТ, 10 - $					
Интенентер	0	5	5	5	5
интенсивность	0	3	3	3	3
транспортных					
10 manage					
10 – высокая)					

Таблица 6.5. Исходные данные по участкам сети

После ввода информации о структуре сети (см. раздел 2 описания), заполнения данных по узлам и участкам сети (см. раздел 3 описания), в том числе с указанием фактических давлений в узлах сети и статистической информации о состоянии отдельных участков, можно переходить непосредственно к моделированию.

Для решения общей обратной задачи (определения степени проявления технологических осложнений на отдельных участках сети) используется команда «Расчет» → «Общая техническая диагностика». По результатам этого расчета на графе сети у каждого участка будут

подписаны значения трех индексов, характеризующих проявления каждого технологического осложнения (@A - утечки, @S – несанкционированные отборы, @C – коррозионное зарастание). Чем больше значение, тем больше (с точки зрения расчетной модели) вероятность проявления данного технологического осложнения. По результатам расчета для данных примера программа в качестве основной причины несоответствия расчетных и фактических давлений в узлах сети указала на утечки на всех участках сети(@A=9 для всех участков) и не исключила возможность несанкционированных отборов на участке 1-2 (@S=6), коррозионное зарастание внутренней поверхности трубопроводов программой исключено.

При решении частных задач программа «раскрашивает» граф сети маркерами, позволяющими более наглядно оценить степень проявления какого-либо одного осложнения (см. рисунок 6.13). Белый цвет на диаграммах соответствует значениям индексов 0 – 2, зеленый 2 – 4, желтый 4 - 6, красный – более 6. ■



Рисунок 6.13 Результаты выявления участков с наличием несанкционированных отборов (Расчет» → «Обратная задача: несанкционированные отборы»)