

**СИСТЕМИ І ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА
УПРАВЛІННЯ**

УДК 528.235:681.3:628.1

В.Е. Бахрушин, Д.А. Миросенко

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ
ПОДСИСТЕМЫ ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ГОРОДСКОЙ СЕТИ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Введение

Управление сетью водоснабжения производится на основании гидравлического моделирования этой сети и сравнительного анализа расчетных и фактических значений расхода, напора и пьезометров в контрольных точках сети. Задачей поверочного расчета, как одной из задач гидравлического моделирования, является, согласно [1], определение потокораспределения в сети, подачи и напора источников при известных диаметрах труб и отборах воды в узловых точках. При поверочном расчете известными величинами являются: диаметры и длины всех участков сети, их гидравлические сопротивления, фиксированные узловые отборы воды, напорно-расходные характеристики всех источников, геодезические отметки всех узловых точек. В результате поверочного расчета должны быть определены: расходы и потери напора на всех участках сети, подачи источников, пьезометрические напоры во всех узлах системы.

Особенностью решения этой задачи для больших городов является значительный объем информации об объектах сети водоснабжения, расположенных на топографических картах местности, в библиотеках детализированных схем, атрибутивных базах данных объектов сети. Используемые в настоящее время компьютерные программы гидравлического моделирования не имеют возможности ввода и использования для расчетов такого большого объема информации различной структуры.

Задача может быть решена объединением методов геоинформационного и гидравлического моделирования с последующей разработкой компьютерных программ и электронных баз данных специализированной геоинформационной системы.

Актуальность автоматизации поверочного расчета средствами геоинформационных технологий заключается в необходимости компьютерных инструментальных средств проведения оперативной, в режиме реального времени, оценки состояния сети водоснабжения большой размерности, определения оптимальной энергосберегающей структуры, восстановление ее работоспособности при возникновении аварийных ситуаций.

Основанием для разработки геоинформационной подсистемы является классическая постановка задачи поверочного расчета [1] дополненная следующими, повышающими достоверность и точность результатов расчета, факторами:

- техническими характеристиками и текущим состоянием запорной арматуры узлов переключений;
- повременными графиками отбора воды абонентами;
- гидродинамической связью расчетных значений напора и расхода с их фактическими значениями в контрольных точках сети.

Целью исследований является разработка подсистемы поверочного расчета автоматизированной геоинформационной системы оперативного управления городской сетью водоснабжения. Материалы настоящей публикации являются продолжением работ авторов [2].

1. Методика исследования

Исследования и разработка геоинформационной подсистемы проводилась по следующей методике.

1. Определены основные носители информации о городских сетях водоснабжения и канализации - топографические карты М1:2000, содержащие городскую застройку совместно с сетями водоснабжения и канализации, и детализировочные планы колодцев и насосных станций. Решение об электронном картографировании и разработке электронной базы детализировочных планов позволило оперативно вносить изменения в структуру сетей и детализировок, вести базы данных атрибутов объектов сети. Электронная карта имеет оверлейную структуру в составе растровой подложки - плана местности без инженерных коммуникаций, а также условных знаков объектов сетей водоснабжения и канализации - участков водоводов и коллекторов, колодцев, насосных станций, задвижек, обратных клапанов и абонентов.

2. Определен способ управления сетью водоснабжения - оценка состояния сети путем гидравлического моделирования [1] в составе поверочного и конструкторского расчетов, анализа состояния сети при пожаротушении, аварийных ситуациях, контроль и управление качеством питьевой воды. Гидравлические расчеты базируются на математической модели - топологическом графе сети водоснабжения. Анализ структуры топологического графа определил структуру его цифровой модели.

3. На основе методики гидравлического моделирования [1] определен алгоритм оперативного автоматизированного поверочного расчета, использующего как характеристики объектов сети - координаты и значения атрибутов, так и взаимосвязи между объектами, заданные в цифровой модели топологического графа.

2. Структура цифровой модели местности

Цифровую модель местности составляют электронные топографические планы М1:500, 1:2000, 1:10 000, содержащие городскую застройку в системе условных знаков ДСТУ «Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» [3]. Городская сеть водоснабжения представлена на этих планах условными знаками следующих объектов сети - колодцы, участки водоводов, абоненты, задвижки, датчики автоматического контроля напора и расхода воды, насосные станции. Определен необходимый и достаточный состав атрибутов этих объектов, приведенный в табл. 1.

3. Структура цифровой модели топологического графа

Поверочный расчет производится на математической модели - топологическом графе, являющемся связным ориентированным планарным графом с помеченными ребрами и вершинами, адекватно представляющем на плоскости пространственную структуру городской сети водоснабжения. Топологический граф сети водоснабжения на цифровой модели карты представлен следующим образом:

а) вершинами графа являются условные знаки колодцев, абонентов, задвижек, датчиков автоматического контроля напора и расхода воды, насосных станций;

б) ребрами топологического графа являются участки водоводов;

в) метками вершин и ребер являются значения атрибутов объектов сети водоснабжения; при этом часть атрибутов расположена на цифровой модели карты, а остальные атрибуты каждого из объектов приводятся в диалоговом окне значений атрибутов.

Таблица 1

Основные объекты и их атрибуты

Колодец	Участок водовода	Задвижка
Условный знак: 	Условный знак: полилиния трассы участка водовода.	Условный знак:
Атрибуты: координаты расположения; геодезическая отметка земли; инвентарный номер; графическая схема детализовки колодца, содержащая наличие и схему соединения приборов и запорной арматуры.	Атрибуты: координаты линии трассы; геодезические отметки глубины прокладки труб; длина участка; количество труб в трассе; диаметр и материал трубы водовода; год и месяц постройки.	Атрибуты: марка; диаметр; рабочее давление P_r ; общее число витков; число витков закрытия.
Насосная станция	Датчик	Абонент
Условный знак:  НС-"Хортицкая"	Условный знак: 	Условный знак:
Атрибуты: координаты расположения; геодезическая отметка высоты; показания напора H и расхода Q на выходах насосной станции.	Атрибуты: координаты расположения; геодезическая отметка высоты; показания напора H и расхода Q .	Атрибуты: координаты расположения; отметка земли в месте врезки; высота здания; наименование абонента; фактическое потребление воды за указанный период.

Фрагмент цифровой модели карты - топографического плана с сетью водоснабжения и атрибутами объектов приведен на рис. 1.

Метки вершин и ребер на цифровой модели карты имеют следующую структуру:

- выходы насосной станции задают в виде: **Вых_1 Q=1020 H=37.6**, где приведен номер выхода, выходные значения расхода Q и напора H ;

- в метках участков кольцевых подграфов и магистральных водоводов размещается ключ расчетных данных в форме **Q245,556 л/с H38,6 П131,8**, где Q показывает расход на этом участке, H - напор (высота подъема столба воды) в м, Π - пьезометр (высотная отметка уровня земли + H);

- в метках участков, подключающих абонентов к кольцам или магистральным водоводам, размещается ключ расчетных данных в форме **F2,056 л/с Н38,6 П131,8**, где **F** показывает отбор абонента, **H** - напор в м, **П** - пьезометр в м;

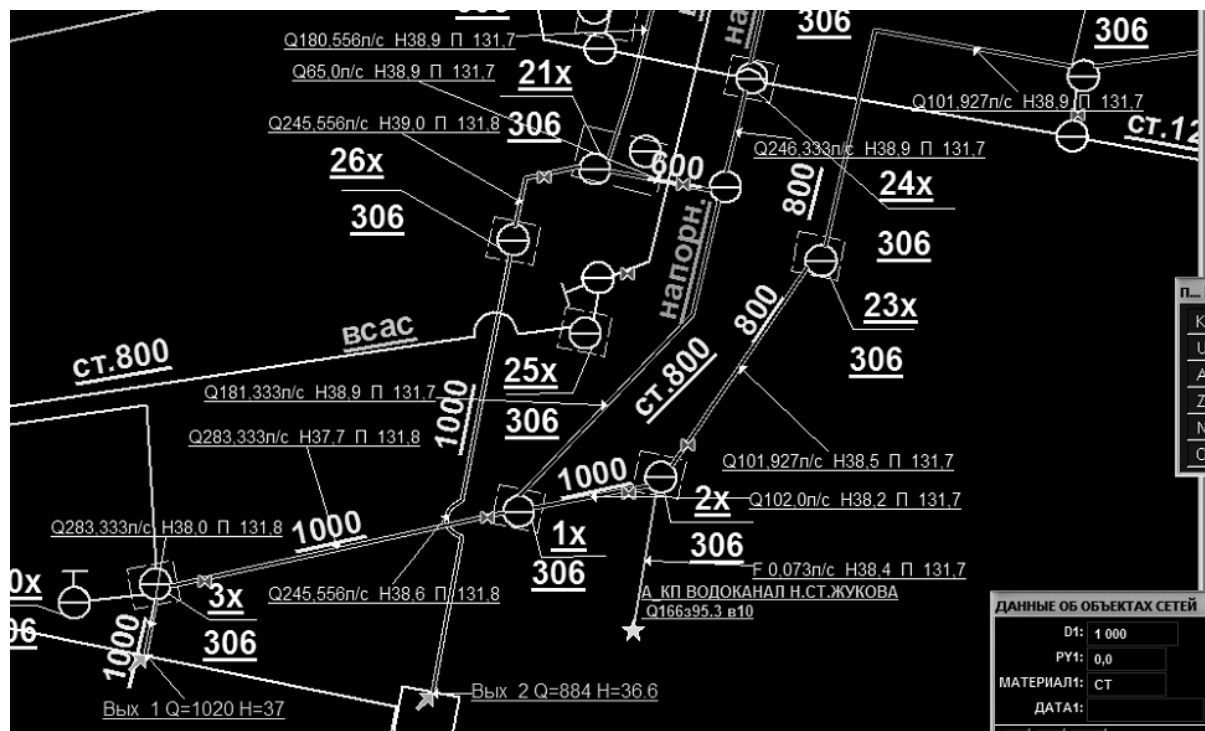


Рисунок 1 - Фрагмент цифровой модели карты сети водоснабжения

- метки абонентов содержат в форме **А ЖЭУ-31 пр.Советский 1 / Q1584 з84 в52**, где приведены данные абонентов: признак метки - буква **А**, наименование абонента, адрес (улица и номер дома), **Q** - месячный отбор м.куб, **з** - уровень поверхности земли, **в** - высота здания в метрах;

- в метках датчиков приведены фактические и расчетные данные в форме: **ДСоветский пр Н факт=46.7 Н расчет=46.6**, где буква **Д** - признак метки датчика, адрес расположения датчика, **Н факт** - показание напора датчика на момент расчета, **Н расчет** - расчетные значения напора.

Для проведения поверочного расчета на топологическом графе, отражающем текущее состояние сети водоснабжения, формируется матрица инцидентий вершин и контуров следующей структуры:

$$\begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1l} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2l} & v_{2\ l+1} \\ t_{31} & t_{32} & \dots & t_{3l} & v_{3\ l+1} \\ & & \dots & & \\ t_{k+1\ 1} & t_{k+1\ 2} & \dots & t_{k+1\ l} & t_{k+1\ l+1} \end{pmatrix}$$

где k - число вершин, l - число участков сети, $u_{1,j}$ ($j = 1, \dots, l$) - номера участков, $v_{i,l+1}$ ($i = 2, \dots, k + 1$) - номера вершин, $t_{i,j} = 1$, если участок $u_{1,j}$ соединен с вершиной $v_{i,l+1}$ и соединение нерегулируемое; $t_{i,j} = 2$, если участок $u_{1,j}$ соединен с вершиной $v_{i,l+1}$ и регулируется задвижкой; $t_{i,j} = 3$, если соединения нет (соединение нерегулируемое и неисправное); $t_{i,j} = \pm 4$, если участок $u_{1,j}$ соединен с вершиной $v_{i,l+1}$ и регулируется обратным клапаном. При направлении потока воды по участку к вершине клапан открыт ($t_{i,j} = +4$), при обратном направлении потока клапан закрывается ($t_{i,j} = -4$).

В матрице инцидентий устанавливается связь между участками и узлами сети с учетом состояния запорной арматуры, определяется ориентация топологического графа - направление потоков воды от выходов точки питания (насосной станции) к вершинам, непосредственно связанным с точкой питания ребрами. Направление потока указывается стрелкой над участком водовода от узла-истока (колодца) до узла-стока (колодца либо абонента).

4. Алгоритм автоматизированного поверочного расчета

Поверочный расчет производится в режиме реального времени диспетчером по следующему алгоритму.

1. По координатно-адресной привязке производится поиск плана местности с необходимым фрагментом сети.

2. Диспетчер производит запуск компьютерной программы поверочного расчета.

3. Компьютерная программа:

а) запрашивает текущие значения расхода Q и напора H выходов насосной станции, текущее время дня, день недели, число, месяц и год;

б) вычисляет фактическую площадь поперечного сечения водоводов, равную площади сечений $S(d, v, z)$ задвижек узлов переключений, где d - диаметр задвижки, v - число витков, z - число витков открытия;

в) определяет текущий на заданное время суток объем отбора Q куб.м/с каждого n -го абонента Q_n по формулам:

- для абонента жилого фонда: $Q_n = Q_{n,мес} / (3600 \cdot D \cdot H)$, где $Q_{n,мес}$ - месячный отбор абонента; D - число дней в месяце; H - коэффициент суточной почасовой неравномерности, определяющий долю потребления воды за час в указанное время суток по отношению к суточному объему потребления. Эти коэффициенты определяются эмпирически в привязке к особенностям потребления воды в городском районе и задаются в табличной форме с дискретностью в один час; 3600 - число секунд в одном часе;

- для абонента жилого фонда $Q_n = Q_{n,мес} / (3600 \cdot D \cdot (ВКОН - ВНАЧ))$, где ВКОН - время окончания рабочего дня; ВНАЧ - время начала рабочего дня;

г) по заданным напору/расходу точек питания производит поверочный расчет сети, результаты которого размещает в метках объектов в вышеприведенных форматах, отображая их в цифровой модели карты на экране дисплея и на бумажном носителе; устранение невязок кольцевых подграфов производится методом Лобачева-Кросса, гидравлический уклон определяется по формулам Ф.А. Шевелева [1].

4. Диспетчер оценивает состояние сети, принимает оперативные решения по нормализации работы сети при нештатных ситуациях.

Выводы

В результате исследований разработаны:

- структура цифровой модели местности, включая сети водоснабжения;
- сигнатура объектов сети и структура атрибутивной базы данных этих объектов;
- цифровая модель топологического графа сети водоснабжения;
- алгоритм проведения автоматизированного поверочного расчета;
- компьютерный программный комплекс геоинформационной подсистемы поверочного расчета городской сети водоснабжения.

Решение проблемы оперативного поверочного расчета городской сети водоснабжения методами геоинформационного моделирования позволяет осуществить комплексный подход при оценке состояния и

работоспособности сети водоснабжения, оптимизации ее структуры, устранении гидравлических нарушений.

В работе впервые реализован комплексный, базирующийся на точных аналитических расчетах, подход в решении задачи оперативного поверочного расчета сети водоснабжения. Разработана специализированная геоинформационная система, использующая комплексное - инфологическое, геоинформационное и гидравлическое моделирование и обеспечивающая оценку состояния сети в режиме реального времени на основании динамического изменения топологического графа актуального состояния сети, итеративного гидравлического моделирования и оперативных данных напора/расхода в контрольных точках городской сети водоснабжения.

Разработанная геоинформационная подсистема поверочного расчета совпадает по своим возможностям с аналогичной подсистемой математической модели сети водоснабжения г. Санкт-Петербурга [4,5], реализована типовой для математического моделирования сетей водоснабжения городов Украины любой размерности (г.Киев, областные центры,...), внедрена в КП «Водоканал» г.Запорожье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сироткин В.П. Схемы и расчет водоводов и водопроводных сетей. Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1968, С. 272.
2. Бахрушин В.Е., Миросенко Д.А., Савин В.В. Разработка и исследование геоинформационной системы обработки аварийных ситуаций городской сети водоснабжения // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. Вып. 1 (24). - Днепропетровск, 2003. - С. 62 - 68.
3. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. - К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001, С. 268.
4. Крицкий Г.Г., Аширов А.А. Эффективные решения для систем водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. Вып.12. - Москва, 2002. - С. 17 - 24.
5. Махнев П.П., Юдин М.Ю., Пиленкова Е.Е. Модель системы подачи воды Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. Вып.8, ч. 2. - Москва, 2004. - С. 28 - 29.

Получено __.__. 2006 г.