

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ГОРОДСКОЙ СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Введение

Задача оперативной обработки и устранения аварийных ситуаций городской сети водоснабжения является актуальной технической проблемой. Она может быть решена с помощью специализированной геоинформационной системы (ГИС), работа которой базируется на использовании комплекса математических моделей. Теоретические основы решения подобных задач средствами геоинформационного моделирования изложены в [1, 2]. Анализ состояния разработок геоинформационных систем, решающих задачи управления сетями водоснабжения, показал, что на сегодняшний день в Украине такие системы отсутствуют, а в России – находятся в стадии разработки [3, 4]. Поставленная задача в известных разработках решена только в части учета и анализа аварийности на основе датаграфической СУБД MS ACCESS, не обеспечивающей интерактивного интерфейса с электронными планами местности.

В связи с этим целью нашей работы была разработка геоинформационной системы городской сети водоснабжения, обеспечивающей комплексное решение задач обработки аварийных ситуаций в режиме реального времени.

Оперативное, в режиме реального масштаба времени, принятие решений основывается на цифровых моделях местности, гидравлическом моделировании, инфологической модели городской сети водоснабжения. В основу системы положены электронные планы местности в масштабах 1:500 - 1:10000, топологический граф городской сети водоснабжения, используемый в качестве математической модели этой сети, гидравлические расчеты объемов и направлений потоков водоснабжения, концептуальная модель предметной области, графические и даталогические базы данных объектов и субъектов городской сети водоснабжения.

Система электронного картографирования формирует цифровую модель местности путем проведения следующих операций:

- сканирования топографической подосновы и расположения на картограмме цифровой модели местной системы координат;

- векторизации растровых планшетов векторными условными знаками объектов и субъектов городской сети водоснабжения [5, 6];

- координатно-адресной привязки к векторным условным знакам дополнительных фактографических и графических атрибутов объектов сети водоснабжения;

- поиска и вызова, согласно номенклатуре, электронного планшета требуемого масштаба по указанным координатам, адресу, имени объекта сети водоснабжения.

Электронные планы местности содержат всю городскую застройку, изображенную векторными условными знаками топографических планов, включая наземные и подземные коммуникации. Результатом концептуального моделирования сети водоснабжения является определение объектов сети, их атрибутов и отношений между объектами. Объектами сети водоснабжения являются насосные станции, участки водоводов, колодцы/камеры, задвижки, обратные клапаны, абоненты, расходомеры. Объекты сети изображаются на электронных планах местности условными знаками, приведенными ниже в порядке их перечисления:



Фрагмент топографического плана с сетями водоснабжения и канализации приведен на рис. 1.

Принятие решений при обработке аварийной ситуации принимается на математической модели - топологическом графе, являющемся связным ориентированным планарным графом с помеченными ребрами и вершинами, адекватно представляющем на плоскости пространственную структуру городской сети водоснабжения [7]. Вершинами графа являются следующие объекты сети водоснабжения:

а) точка питания - насосная станция, представленная векторным условным знаком - шестигранником с надписью НС-пп, где pp - инвентарный номер. Меткой вершины являются значения атрибутов - координат расположения условного знака в местной системе координат и геодезической отметкой высоты в городской системе высот, максимальной производительностью, м³/час, типом - первого подъема, второго подъема, подкач-

ки, оперативными показаниями напора/расхода на выходах насосной станции;

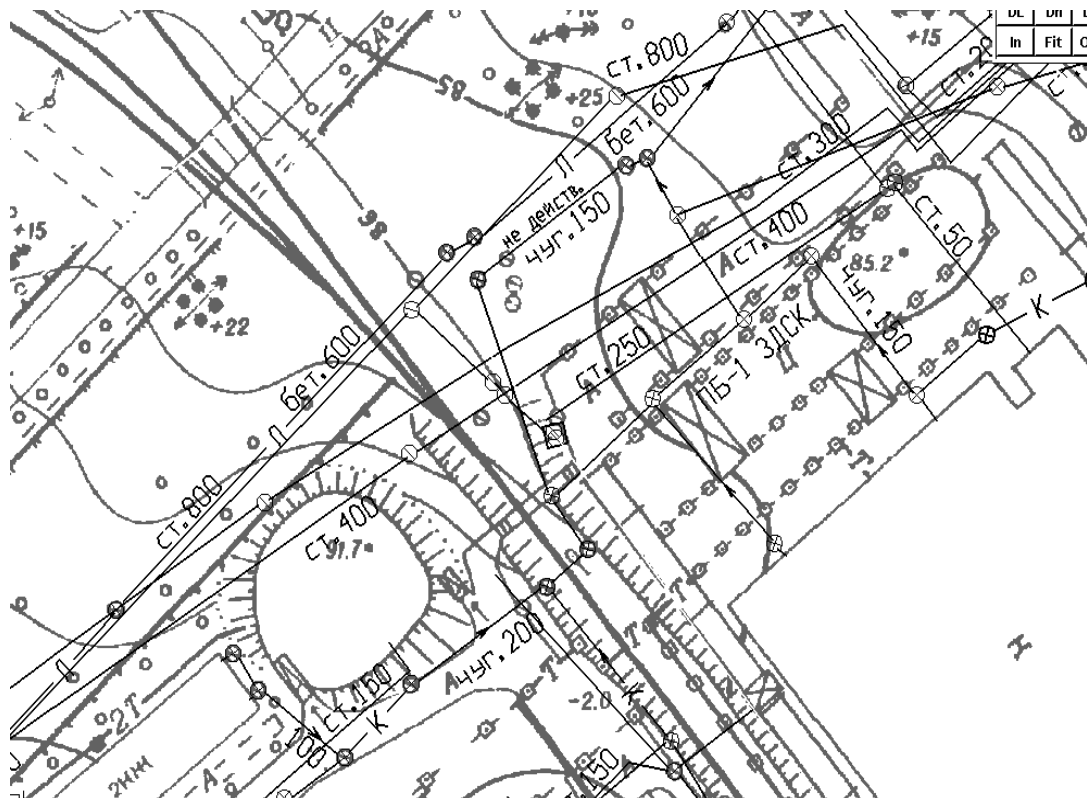


Рисунок 1 – Фрагмент топографического плана

б) абонент сети водоснабжения, представленный соответствующим условным знаком и меткой - совокупностью значений атрибутов - координатой точки подключения и отметкой высоты, высотой здания, номером и наименованием абонента, функционально-временной зависимостью объема отбора от времени суток, объемом сброса хозяйственно-бытовых стоков, показаниями расходомера о фактическом потреблении воды за указанный период (год, месяц, день, час);

в) колодец - узел переключения сети водоснабжения, представленный на плане местности векторным условным знаком топографической подосновы. Меткой вершины являются значения атрибутов - координат расположения условного знака и геодезическими отметками высоты люка, земли, верха трубы, расстоянием до ближайшего здания, инвентарным номером, материалом колодца, диаметром/размерами камеры, числом узлов переключений, графическими схемами узлов переключения, наличием пробоотборников, гидрантов, выпусков, вантузов, обратных клапанов, наличием и состоянием запорной арматуры на выходах узлов переключения, для задвижек - марка, диаметр, рабочее давление $P_{р}$, общее число

витков, число витков закрытия, номерами колодцев и узлов переключения в них, с которыми данный колодец соединен ребрами (участками сети);

г) расходомеры, расположенные на выходах насосных станций, границах районов, в местах подключения абонентов в городскую сеть водоснабжения, представленные соответствующим условным знаком. Меткой вершины являются значения атрибутов - координат расположения, номером выхода насосной станции, типом - на выходе НС, границе района, в месте подключения абонента, показания расхода за указанный период;

д) задвижки и обратные клапаны, представленные на электронных планах местности своими условными знаками. Меткой задвижки являются значения атрибутов - диаметр, число витков и витков закрытия, рабочее давление, для обратного клапана - диаметр, направление закрытия, рабочее давление.

Дополнительной графической информацией о колодце является его детализировка, пример которой представлен на рис. 2. Детализировка предоставляет дополнительную атрибутивную информацию о связности топологического графа - с какими соседними колодцами связан участками водоводов данный колодец, расположение запорной арматуры в колодце и ее состояние, расстояние в метрах к ближайшему зданию, высотные отметки борта и земли.

Ребрами (участками) топологического графа являются линии участков водоснабжения, расположенные между двумя соседними вершинами. Ребра топологического графа представлены векторным условным знаком - ломаной, с буквой В, линией трассы участка водопровода, соединяющей две вершины графа, а также фактографическими данными - координатами линии трассы, геодезическими отметками глубины прокладки труб на трассе, длиной участка, количеством труб в трассе, диаметром и материалом труб, годом постройки, номерами вершин начала и конца участка, наличием обратного клапана, задвижки в месте подключения участка к узлу переключения и данными о ней (исправна или неисправна, марка, диаметр, рабочее давление P_y , количество витков общее и на закрытие).

Для проведения гидравлического расчета на топологическом графе, отражающем текущее состояние сети водоснабжения, формируются матрицы инцидентий вершин и контуров, имеющих структуру, аналогичную приведенным в [7].

Матрица вершин несколько отличается от аналога в [7] и устанавливает связь между участками и узлами сети с учетом состояния запорной арматуры:

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

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 и исправное, либо регулируется задвижкой, не закрытой на 100 %; $t_{i,j} = 2$, 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 ($t_{i,j} = -4$).

При проведении гидравлического расчета устанавливается ориентация топологического графа - направление потоков воды от точки питания к вершинам, непосредственно связанным с точкой питания ребрами.

Гидравлический расчет расхода, напора и направления потоков воды, производится в основном по алгоритму, изложенному в [7], дополненному учетом текущего состояния сети:

- оперативными показаниями напора/расхода на выходах точек питания;
- состоянием мест подключения участков в узлах переключения - нерегулируемое и открытое, регулируемое задвижкой, закрытой на n витков из m витков общего количества, соединения нет, регулируется обратным клапаном.

Гидравлический расчет производится в следующей последовательности:

- из топологического графа всей сети водоснабжения выделяется подграф, соответствующий актуальному состоянию сети. По выделенному подграфу формируются матрицы вершин и контуров;

- вычисляются площади сечений $S(d, v, z)$ задвижек узлов переключений, где d - диаметр задвижки, v - число витков, z - число витков закрытия;

- определяется объем отбора Q n -го абонента $Q_n = F(t)$, где $F(t)$ - функционально-временная зависимость объема отбора от времени суток;

- по заданным напору/расходу точек питания производится гидравлический расчет сети.

Фрагмент топологического графа сети приведен на рис.3.

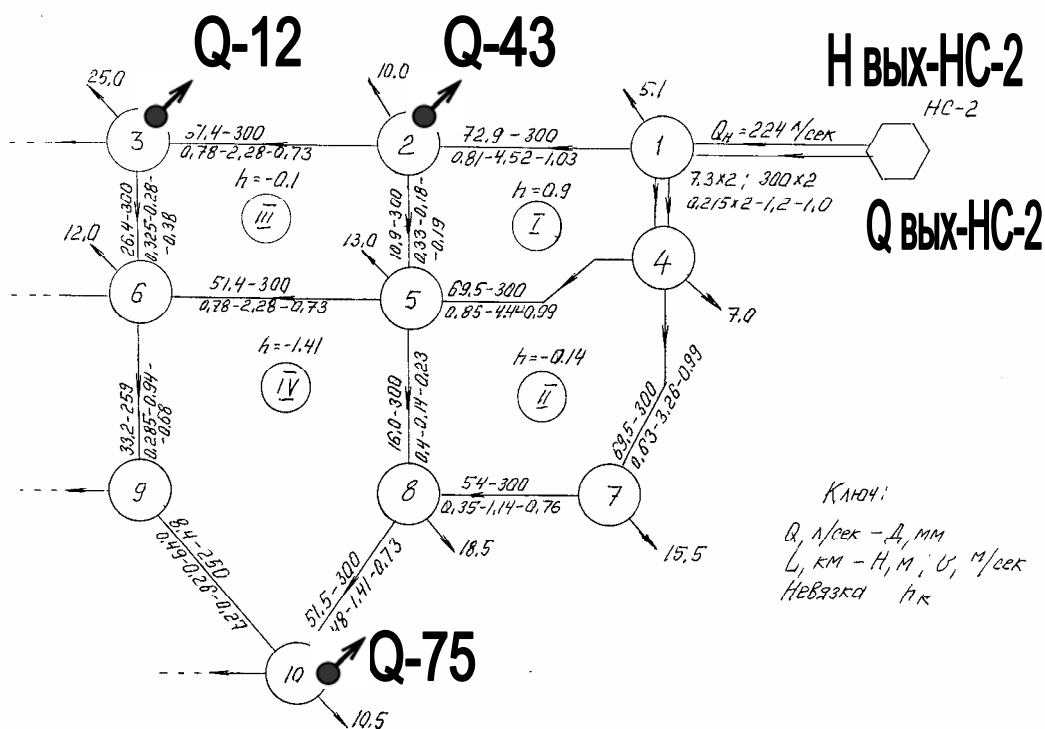


Рисунок 3 – Фрагмент топологического графа сети

Обработка аварийной ситуации производится в интерактивном режиме диспетчером в следующем порядке:

- по координатно-адресной привязке производится поиск плана местности с местом аварии;

- диспетчер указывает на электронном плане местности локализуемый участок;

- модуль ГИС формирует подграф закрытия;

а) задвижки колодцев начала и конца участка закрываются на 100%, участок и колодцы становятся ребром и вершинами подграфа закрытия;

б) при отсутствии задвижки производится поиск всех колодцев, связанных с данным участками, кроме аварийного. При наличии задвижек производится их закрытие, участки и колодцы добавляются в подграф закрытия. Процесс формирования подграфа завершается после полной локализации участка;

- подсчитываются абоненты, подключенные к подграфу закрытия, и оценивается исключенный объем водоснабжения;

- модуль гидравлического моделирования на основании выходных значений напора/ расхода точек питания производит на топологическом графе сети водоснабжения с исключенным подграфом закрытия гидравлический расчет;

- полученные расчетные значения напора сравниваются с паспортными значениями P_y задвижек и труб участков;

- избыточный напор, при условии соблюдения нормативного времени локализации аварии, перераспределяется изменением числа витков закрытия задвижек узлов переключений, найденных в направлении противотока. В случае превышения нормативного времени, понижается выходной напор точки питания.

План устранения аварии и фрагмент электронного плана местности с подграфом выключения и новым состоянием задвижек узлов переключения выдается аварийной команде при выезде на место аварии.

Решение проблемы оперативной обработки аварийных ситуаций городской сети водоснабжения методами геоинформационного моделирования позволяет осуществить комплексный подход при устранении аварии, минимизировать время локализации, существенно сократить экологический ущерб, вызываемый порывами водоводов.

Выводы

В работе впервые реализован комплексный, базирующийся на точных аналитических расчетах, подход в решении задачи оперативной обработки аварийных ситуаций сети водоснабжения. В графическом ядре MapINFO разработана специализированная, геоинформационная система, использующая комплексное - инфологическое, геоинформационное и гидравлическое моделирование, и обеспечивающая возможность устранения аварий

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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. - М.: Финансы и статистика, 1998.
2. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование//Информационные технологии. -1999. - №3. - С.23-27.
3. Крицкий Г.Г., Аширов А.А. Эффективные решения для систем водоснабжения// Водоснабжение и санитарная техника, 2002.- № 12, ч. 2.- С. 17-20.
4. Прядкин Е.И. Корпоративная цифровая сеть как стратегическая система жизнеобеспечения предприятия// Водоснабжение и санитарная техника, 2002.- № 4.- С. 17-20.
5. ГОСТ 21.604-82. Система проектной документации для строительства. Водоснабжение и канализация. Наружные сети. Рабочие чертежи.
6. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500/ Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. - М.: Недра, 1989.
7. Расчет водопроводных сетей. Учебное пособие для вузов / Н.Н. Абрамов, М.М. Поспелова, М.А. Сомов и др. - М.: Стройиздат, 1983.