

УДК 528.235:681.3:628.1

В.Е. Бахрушин, Д.А. Миросенко

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ КОНСТРУКТОРСКОГО РАСЧЕТА ГОРОДСКОЙ СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Введение

Целью конструкторского расчета водопроводной сети являются, согласно [1-3], экономические расчеты диаметров трубопроводов, обеспечивающих пропуск расчетных расходов воды с заданным напором. Под расчетным режимом работы сети понимают такие возможные сочетания отбора воды и ее подачи насосными станциями, при которых имеют место наибольшие нагрузки для отдельных сооружений системы, в том числе водопроводной сети. К нагрузкам относят расходы воды и напоры. Водопроводную сеть необходимо рассчитывать в комплексе гидравлически взаимосвязанных сооружений системы подачи и распределения воды. Для выполнения конструкторского расчета необходимо иметь следующие данные: конфигурацию сети, длины участков, коэффициенты шероховатости трубопроводов, сумму коэффициентов местных сопротивлений, геодезические отметки узлов сети, значения отборов воды в узлах (потребители, пожарные гидранты и т.д.).

По мнению авторов, классическая постановка задачи конструкторского расчета пригодна для проектируемой к прокладке сети водоснабжения и не соответствует задачам управления уже существующими, проложенными сетями, которые составляют более 95% от всей городской сети водоснабжения. Существующие сети фактически управляются задвижками колодцев - узлов переключений. Управление задвижкой производится изменением площади поперечного сечения пропорционально степени ее открытия/закрытия на заданное число оборотов. Конструкторский расчет существующих сетей заключается в вычислении площадей поперечного сечения задвижек узлов переключений, обеспечивающих пропуск как расчетных, так и фактических расходов воды с заданным напором. Определение расчетных режимов работы существующей сети является задачей оптимизации ее структуры.

Оптимизация структуры сети заключается в вычислении площадей поперечных сечений задвижек узлов переключений по критерию минимума избыточно подаваемой по сети воды насосными станциями при заданных графиках отбора воды потребителями. Формирование оптимальной структуры является решением задачи энергосберегающего управления городской сетью водоснабжения.

Особенностью решения этой задачи для крупных городов является большой объем информации об объектах сети водоснабжения, расположенных как на топографических картах местности, так и 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 подсистемы конструкторского расчета.

Основаниями для разработки геоинформационной подсистемы являются:

- классическая постановка задачи конструкторского расчета [1];
- местонахождение, диаметр, рабочее давление, количество витков общее и витков открытия задвижек колодцев - узлов переключений;
- повременные графики отбора воды абонентами, учитывающие неравномерность потребления воды в течение суток;
- гидродинамическая связь расчетных значений напора и расхода с их фактическими значениями в контрольных точках сети, определяемая ее топологической структурой.

Целью исследования является разработка одной из основных частей геоинформационной системы энергосберегающего управления городской сетью водоснабжения - конструкторского расчета. Материалы настоящей публикации являются продолжением работ авторов [4-6].

1. Методика исследования

Исследование и разработку геоинформационной подсистемы конструкторского расчета проводили 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 детализированные планы колодцев и насосных станций в системе условных знаков ГОСТ «Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» [7]. 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 работах [5, 6].

Решение о проведении электронного картографирования и разработке электронной базы детализированных планов позволило реализовать оперативное внесение изменений в структуру сетей и детализировок, ведение базы данных атрибутов объектов сети, оперативное определение наличия в колодцах/камерах задвижек и гидрантов, просмотр и изменение значений параметров задвижек (диаметр, число витков общее и витков открытия). Электронная карта имеет оверлейную структуру в составе: растровой подложки – плана местности без инженерных коммуникаций; 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; контроля и управления качеством питьевой воды. Гидравлические расчеты базируются на математической модели – топологическом графе сети водоснабжения. Анализ структуры топологического графа определил структуру его цифровой модели.

3. На основании методики гидравлического моделирования [1] определен алгоритм автоматизированного конструкторского расчета,

использующего как характеристики объектов сети – координаты и значения атрибутов, так и взаимосвязи между объектами, заданные в цифровой модели топологического графа.

2. Алгоритм автоматизированного конструкторского расчета

Конструкторский 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. Отображение топологического графа сети водоснабжения на цифровой модели карты описано в [5, 6].

Для проведения конструкторского 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).

Алгоритм конструкторского расчета является следующим.

1. Формируются матрицы инцидентий вершин и контуров; выделяются кольцевые подграфы топологического графа и распределенные подграфы, исходящие от кольцевых.

2. Определяются оперативные показания датчиков напора H и расхода Q выходов насосной станции.

3. Устанавливается ориентация топологического графа.

4. Определяется расположение абонентов, подключенных к распределенным подграфам.

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

– для абонента жилого фонда $Q_n = \frac{Q_{n,мес}}{3600ДН}$, где $Q_{n,мес}$ – месячный

отбор абонента; $Д$ – число дней в месяце; $Н$ – коэффициент суточной почасовой неравномерности, определяющий долю потребления воды за час в указанное время суток по отношению к суточному объему потребления. Указанные коэффициенты определяются эмпирически в привязке к особенностям потребления воды в городском районе, задаются в табличной форме с дискретностью в один час;

– для абонента жилого фонда $Q_n = \frac{Q_{n,мес}}{3600Д(V_{кон} - V_{нач})}$, где $V_{кон}$ –

время окончания рабочего дня; $V_{нач}$ – время начала рабочего дня;

Сумма отборов всех абонентов, расположенных на распределенном подграфе вплоть до места подключения к кольцевому, составляет узловый отбор.

6. По выходным значениям напора H и расхода Q насосной станции производится поверочный расчет сети, при котором для распределения потока воды в кольцевых подграфах в точках ветвления из пришедшего расхода Q_n входящего участка водовода кольца вычитается сумма узловых отборов Q_y исходящих разветвленных подграфов. Оставшийся расход $Q_o = Q_n - Q_y$ распределяется по исходящим из точки ветвления участкам водоводов колец пропорционально площадям поперечных сечений задвижек узлов переключений, а при их отсутствии - водоводов.

7. При отрицательном остатке расхода $Q_o < 0$ производится локальная оптимизация баланса водоснабжения кольца. Условием достижения баланса является такая пропускная способность всех задвижек положительной либо отрицательной частей колец, при

которой для каждой части кольца $Q_o \geq 0$ в месте соединения этих частей. Для восстановления баланса при $Q_o < 0$ в направлении противотока от группы абонентов, расположенных на распределенном подграфе, производится поиск задвижки, регулирующей подачу воды этой группе абонентов. Вычисляется число витков открытия/закрытия этой задвижки таким образом, чтобы площадь ее поперечного сечения $S(d, v, z)$ обеспечивала пропускную способность, равную сумме объемов отбора группы абонентов, где d – диаметр задвижки, v – число витков, z – число витков открытия.

Поперечное сечение задвижки:

$$S_{\text{зав}} = \frac{\pi D^2}{4} \left(1 - \arccos \left(\frac{M-N}{90M} + 2 \frac{M-N}{\pi M^2} \sqrt{2MN - N^2} \right) \right),$$

где M – общее число витков задвижки, N – число витков, на которое задвижка закрыта.

8. Оставшийся по завершении расчета всей сети избыточный расход вычитается из выходного расхода Q насосной станции, отрицательный остаток расхода добавляется. На этом цикл оптимизации завершается.

Фактическое состояние городских сетей водоснабжения является разбалансированным, а задвижки избыточно открыты, так как точный расчет баланса сетей большой размерности возможен только компьютерной программой. Экономический эффект от восстановления баланса состоит в уменьшении потребления электроэнергии насосными станциями на 5 – 10% при сохранении достаточного для удовлетворения потребностей потребителей напора подаваемой воды.

Автоматизированное выполнение конструкторского расчета пользователем выполняется в следующем порядке:

- по координатно-адресной привязке производится поиск плана местности с необходимым фрагментом сети;

- запускается компьютерная программа конструкторского расчета, которая:

- а) опрашивает показания напора H и расхода Q датчиков выходов насосной станции;

- б) формирует топологический граф сети водоснабжения с учетом фактической площади поперечного сечения задвижек;

- в) определяет фактические и узловые отборы абонентов на текущее время суток;

г) производит конструкторский расчет, отображая результаты расчета в цифровой модели карты на экране дисплея и на печати.

Выводы

В результате выполненных исследований разработан компьютерный программный комплекс геоинформационной подсистемы конструкторского расчета городской сети водоснабжения.

Решение проблемы оперативного конструкторского расчета городской сети водоснабжения методами геоинформационного моделирования позволяет осуществить комплексный подход при оценке состояния и работоспособности сети водоснабжения, определения ее оптимальной энергосберегающей структуры, обеспечить экономию электроэнергии, потребляемой насосными станциями, при обеспечении необходимого и достаточного (неизбыточного) водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет водопроводных сетей. Учебное пособие для вузов / Н.Н. Абрамов, М.М. Пospelова, М.А. Сомов и др. – М.: Стройиздат, 1983. – 278 с.
2. Крицкий Г.Г., Аширов А.А. Эффективные решения для систем водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. – Вып.12. – Москва, 2002. – С. 17 – 24.
3. 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.
4. 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.
5. Бахрушин В.Е., Миросенко Д.А. Исследование и разработка геоинформационной подсистемы поверочного расчета городской сети водоснабжения // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 5 (46). – Днепропетровск, 2006. – С. 73 – 81.
6. Миросенко Д.А., Бахрушин В.Е., Горбань А.Н. Геоинформационная подсистема поверочного расчета городской сети водоснабжения // Складні системи і процеси. – 2006. – № 2. – С. 102 – 109.
7. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001. – 268 с.

Получено 16.03.2007 г.