

## **ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА**

**В.В. Зинченко**

*Сумский государственный университет, г. Сумы*

*В статье рассмотрены проблемы и особенности эксплуатации водопроводных сетей больших городов, а также теоретические основы моделирования сложных разветвленных гидравлических сетей. Рассмотрены возможности современных специализированных программных систем моделирования, их роль в выявлении потенциала экономии энергоносителей и обеспечении экономической эксплуатации гидравлических сетей.*

Основными потребителями электроэнергии в Украине являются производственные предприятия и объекты ЖКХ, у которых доля энергетических затрат в себестоимости предоставляемых услуг может достигать 50-80%.

Высокий уровень энергоемкости услуг, оказываемых городскими водоснабжающими предприятиями, обуславливается крайне неэффективным использованием энергии в технологических производственных процессах.

Поэтому единственным возможным направлением улучшения состояния сферы ЖКХ является переход на качественно новый уровень предоставления жилищно-коммунальных услуг за счет снижения энергоемкости продукции и услуг водоснабжения.

Особенно большие трудности возникают при эксплуатации сложных водораспределительных сетей крупных городов.

Запущенное состояние систем городского водоснабжения несёт в себе многие проблемы и трудности.

В основном эти проблемы связаны прежде всего с:

- наличием нескольких гидравлически взаимосвязанных зон, находящихся на разных геодезических отметках;
- жилыми микрорайонами и домами различной этажности;
- одновременной работой нескольких ВНС (водонасосных станций) с разными насосными агрегатами на разветвленную гидравлическую сеть и связанные с этим неконтролируемые перетоки воды при изменении режима работы хотя бы одной из ВНС;
- недостаточная подача воды на верхние этажи зданий в часы максимального водоразбора;
- перерасход электроэнергии от 15 до 50% [1,2], вызванный необходимостью установки оборудования избыточной мощности для обеспечения максимального возможного расхода воды [3];

Принятие оперативных решений для устранения упомянутых проблем, связанных с нехваткой напора воды в различных районах и отдельных домах, зачастую производится эмпирическим способом и сопровождается значительной социальной напряженностью.

При эксплуатации водопроводных сетей эксплуатирующим организациям, как правило, приходится использовать большое количество разнообразной информации, которая обычно выполнена на планшетах различных масштабов, а справочная информация размещена на сотнях страниц различных журналов или карточек.

Поэтому одним из современных методов повышения эффективности управления и развития водопроводных сетей городов является моделирование инженерных сетей.

Развитие численных методов и мощностей вычислительной техники позволяет использовать для решения этих задач всё более сложные и точные математические модели, которые лежат в основе известных в настоящее время компьютерных систем проектирования гидравлических сетей.

Современный уровень развития компьютерных технологий и программного обеспечения позволяет достаточно быстро осуществлять необходимые математические расчеты и предоставлять результаты моделирования как в табличных, так и в графических видах.

В основе таких специализированных расчетных комплексов является реализация численными методами решения математической задачи гидравлического расчета, постановку которой проводили многие исследователи в своих работах, посвященных теории гидравлических цепей [4,5].

В результате этих исследований в настоящее время созданы и доступны на рынке специализированные коммерческие программные продукты, позволяющие моделировать гидравлические режимы в распределительных сетях, например, такие, как: MIKE NET (DHI Water & Environment, Germany), ГИС «ГидроГраф» (ИВЦ «Поток», Россия), ДМСКС (НПЦ "Эколас", Украина) и др.

Подобные специализированные программные комплексы предназначены прежде всего для моделирования различных гидравлических процессов в системах водоснабжения и позволяют решать многие проблемы эксплуатации сетей, делать расчет сети как в статическом режиме (мгновенное распределение), так и в квазистатическом режиме (распределение воды во времени). Например, программный комплекс MIKE NET, например, дает возможность оценить качество воды, а именно распределение химических веществ в сети, застой воды и отследить распределение воды в сети из конкретного источника.

Использование подобных программных пакетов, с точки зрения организации энергоэффективной эксплуатации сетей, является очень перспективным направлением в сфере ЖКХ, поскольку все эти программные комплексы помогают решать три основные взаимосвязанные задачи, возникающие при эксплуатации сетей:

- 1) выполнять гидравлические расчёты сети в некотором расчётном режиме;
- 2) на основании гидравлических расчётов в этом режиме рассчитывать диаметры проходных сечений в дроссельных устройствах, которые должны быть установлены на линиях;
- 3) позволяют выполнять ситуационное моделирование, т.е. проводить расчёты гидравлических режимов сети в условиях, отличающихся от расчётных.

Математическое моделирование нестационарных процессов в гидравлических системах является одной из основ проектирования различных гидравлических систем централизованного водоснабжения.

Результатом любого гидравлического расчета всегда является потокораспределение – по каждому участку сети находится расход транспортируемого продукта, а по каждому узлу сети - давление. В то же время способы задания исходных данных могут довольно сильно отличаться между собой. Например, если сеть не содержит регуляторов (давления, расхода или температуры), то задача гидравлического расчета сводится к системе нелинейных уравнений большой размерности.

Наличие регуляторов значительно усложняет задачу расчета, поскольку в этом случае к системе уравнений добавляются еще и неравенства.

Поэтому классическая математическая модель, лежащая в основе моделирования систем водоснабжения, в общем случае представляет собой систему уравнений с учетом нелинейных связей между перепадами давления и расходами транспортируемой среды в участках системы. Участки сети соединяются между собой в узлах. При этом решается так называемая стационарная задача потокораспределения, состоящая в определении расходов в каждом узле.

Полностью эта задача может быть решена только при выполнении двух основных условий:

первое и главное – соответствие фактических расходов воды каждого потребителя расходам, введенным в модель через его описание;

второе – наличие технических характеристик участков трубопроводов моделируемой сети (диаметров, толщины стенки и шероховатости внутренней поверхности трубопроводов), полученных на основании измерений расходов и давлений воды в характерных точках сети. На основании этих данных формируется описание этих участков в модели.

В современных программных комплексах расчет гидравлического режима гидравлической сети любой сложности реализован в виде классического расчета потокораспределения в однострунных сетях с терминальными узлами - источниками и потребителями. Как правило, по узлам-потребителям (абонентам) задаются нагрузки (лимиты), по источникам - напоры, по насосным станциям 2-го подъема - расходно-напорные характеристики агрегатов, а также геометрия и уровни резервуаров чистой воды, и параметры регуляторов в регулирующих узлах водопроводной сети.

В такой модели насосные агрегаты или группы насосов на станциях второго подъема описываются полной моделью, включающей расходно-напорную характеристику группы насосных агрегатов, которая может быть задана граничными парами "расход-напор", описывающих рабочую зону, или паспортными характеристиками установленных насосных агрегатов (выбор из справочника насосов) и комбинацией их включения.

Гидравлические сопротивления участков трубопроводов водопроводной сети определяются их длиной, внутренним диаметром, материалом, суммой местных сопротивлений, коэффициентом шероховатости, степенью зарастания.

Для гидравлических расчетов используются формулы Хазен-Вильямса, Дарси-Вайсбраха или Чези-Мэннинга [6].

Инструментарий подсистемы включает в себя табличные и графические средства анализа режима водоснабжения, полученного в результате гидравлического расчета, включая пьезометрические графики.

Результатом гидравлического расчета является полное потокораспределение в водопроводной сети и давления во всех ее точках с указанием векторов направления движения воды в системе.

Гидравлический расчет является инструментом имитационного моделирования водопроводных сетей. С его помощью возможен ответ на вопрос, что произойдет с гидравлическим режимом при тех или иных штатных или аварийных воздействиях на сеть, а также при различных условиях водопотребления в силу суточной или нерегулярной неравномерности.

О ситуационном моделировании с помощью инструментария гидравлического расчета водопроводной сети можно говорить только в случае, когда гидравлическая модель откалибрована, т.е. обеспечивает максимальное приближение результатов гидравлического расчета к данным натурных измерений.

Таким образом, модель позволяет достаточно точно прогнозировать режим работы моделируемой сети при введённых исходных данных, с какими бы оговорками они не были получены. В этом случае появляется возможность провести теоретический анализ работы моделируемой сети, выявить её недостатки или преимущества, увидеть если не количественную, то, по крайней мере, качественную реакцию сети на эти изменения режима.

Используя модель городских сетей, возможно анализировать различные ситуации, которые произошли или могут произойти с получением мгновенного анализа последствий данной ситуации (эффект математического моделирования).

Математическое моделирование гидравлической системы города позволяет наглядно, с высокой степенью точности увидеть причинно-следственные связи работы системы, т.е. увидеть то, что может произойти в тех или иных случаях и что физически осуществить и увидеть затруднительно. Это позволяет оперативно проанализировать ситуацию и последствия принятия тех или иных решений с целью их оптимизации, а именно позволяет:

- моделировать водопроводные сети города любого размера с привязкой их к координатам города (улицы, района, дома и пр.);
- рассчитывать потери напора для колен, фитингов, задвижек и пр.;
- рассчитывать потери напора в системе в результате трения;
- проследить расход воды в каждой трубе системы;
- рассчитывать количество электроэнергии, необходимой для перекачивания воды;
- моделировать качество воды, находящейся в системе в различных её точках;
- рассчитывать разные категории узловых потерь с учётом их личного графика колебаний потерь во времени;
- моделировать реакции системы на разные типы задвижек, поворотных клапанов и пр., уменьшающих давление и регулирующих потери напора;
- моделировать работу системы как по уровню воды в резервуаре, так и по заданному графику подачи воды;
- моделировать различные ситуации типа, что будет, если:
  - отключить (включить) насос?
  - отключить (закрыть) задвижку?
  - поставить дополнительную трубу?
  - изменить тип насоса?
  - и т.д.

Последующий анализ гидравлической системы на основании данных расчета модели позволяет быстро найти узкие места в системе с целью их оптимального устранения. Имея данные об основных параметрах насосных станций, топологии сети, характере абонентов и режимах водопотребления, с помощью моделирования можно определить, что будет оптимальнее – реконструировать сеть или изменить зону действия насосной станции; определить необходимые параметры насосной станции, сравнив их с существующими. Т.е. моделирование на этапе проектирования позволяет принять технически и экономически обоснованные решения, облегчает анализ возможных ситуаций и обеспечивает принятие оптимальных решений, а также позволяет выявить факторы экономии электроэнергии.

В заключении можно отметить, что современный подход к эксплуатации водораспределительных сетей с применением компьютерных технологий скрывает в себе немалый экономический эффект и является первым шагом к автоматизации процесса

водоснабжения с применением современных энергоэффективных технологий и является важным этапом при проведении качественного энергоаудита гидравлических сетей [7].

Основные преимущества использования компьютерных моделей гидравлических сетей заключаются в следующем:

1 Создание модели позволит провести паспортизацию инженерной сети, оборудования и потребителей (абонентов). Недостоверная и противоречивая информация о сетях, имеющаяся "на бумаге" в разных службах предприятия, напрямую касается основных фондов и амортизационных отчислений.

Паспортизация сети дает как косвенный результат снижение аварийности на 15-20%.

2 На основе достоверных данных компьютерная информационная система путем моделирования инженерной сети и режимов ее работы, позволяет решать ряд важных эксплуатационных задач, а именно:

- позволяет осуществлять гидравлические расчеты, связанные с моделированием переключений;

- появляется возможность *определения и планирования* оптимальных гидравлических режимов при существующих нагрузках потребителей и производительности источников.

- прогнозировать результат любых «виртуальных» воздействий на систему и принять технически обоснованное решение в каждой конкретной ситуации;

- сохраняя качество предоставления услуг, обеспечить снижение потерь, аварийности сетей, штрафных санкций;

3 Позволяет проводить анализ режимов работы и оптимизацию загрузки насосных станций и источников воды. А это означает возможность оптимального управления запасами воды в резервуарах и загрузкой насосных станций и сведения к минимуму непроизводительных перекачек. С учетом характеристик насосных агрегатов, имеющихся способов регулирования и данных о сети, появляется возможность переводить группы насосных агрегатов в такие режимы, при которых они будут работать в условиях максимального КПД.

Таким образом, современный подход с использованием ЭВМ при эксплуатации гидравлических сетей несет в себе потенциал снижения эксплуатационных затрат энергоносителей до 50% в зависимости от состояния сетей и является перспективным направлением для ЖКХ Украины.

## SUMMARY

### FEATURES OF MODELLING OF WATER DISTRIBUTIVE NETWORKS

#### MUNICIPAL SERVICES

*Zinchenko V.V.*

*In article problems and features of operation of water supply systems of the big cities, and as theoretical bases of modelling of the difficult branched out hydraulic networks are considered. Possibilities of modern specialised program systems of modelling, their role in revealing of potential of economy of energy carriers and maintenance of economic operation of hydraulic networks are considered.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.С.Лезнов, Н.П.Воробьева, С.В.Воробьев, Н.Б.Лезнов, Л.Н.Менглишева. Окупаемость регулируемого электропривода в насосных установках // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – № 12. – Ч. 2. – С. 14-16.
2. Марков В.Ю. Практическая оценка эффективности применения частотно-регулируемого электропривода // Промышленная энергетика. – 2003. – № 3. – С. 20-22.
3. СНиП 2.04.01 - 85. Внутренний водопровод и канализация зданий. – М.:ЦИТП Госстроя

- СССР, 1986. – 56 с.
4. Евдокимов А.Г., Дубровский В.В., Тевяшев А.Д. – Потокораспределение в инженерных сетях. – Москва: Стройиздат, 1979.
  5. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей Москва: Наука, 1985.
  6. БаштаТ.М., Руднев С.С. и др. Гидравлика, гидромашины, гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423с. с илл.
  7. Методика енергетичного обстеження систем водопостачання промислових та комунальних підприємств. НДС за темою №18-1/01. – Суми: СумДУ

***Зинченко В.В.**, научный сотрудник*

*Поступила в редакцию 8 февраля 2008 г.*