

УДК 681.5.015

Н.В. Федоров, А.М. Хренов

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.М. Бекетова

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

Рассматривается задача построения математической модели для описания режимов функционирования систем подачи и распределения воды. Приводятся данные, подтверждающие адекватность предложенной модели для водопроводной сети левого берега г. Киева. Данная модель была использована при создании графоаналитической системы диспетчерского мониторинга и управления системы водоснабжения г. Киева.

Ключевые слова: системы подачи и распределения воды, эффективное управление, граф сети, адекватные модели, графоаналитическая система.

Эффективное управление в реальном масштабе времени системами подачи и распределения воды возможно только на основе математических моделей, адекватно описывающих гидравлические режимы функционирования систем водоснабжения. Решение задачи построения данного класса моделей было осуществлено при создании графоаналитической системы диспетчерского мониторинга и управления системы водоснабжения г. Киева.

Исходными данными для построения модели являются топологическая структура сети, параметры участков (длина, диаметр, материал), геодезические отметки начала и конца каждого участка, свободные напоры в контрольных точках, расходы и давления воды на выходах насосных станций, состав оборудования насосных станций. Кроме указанной информации необходимо проведение натурных экспериментов по определению текущих режимов работы отдельных водоводов (скорости, расходы) и построению реальных напорных характеристик насосных агрегатов. Данная информация о режимах работы системы водоснабжения необходима как при построении модели, так и для проверки её адекватности.

Будем рассматривать систему водоснабжения как некоторый граф $G(V, E)$, где V – множество узлов, E – множество дуг. Каждый элемент множества E может быть отнесен к одному из трех подмножеств M, L, N , где M – множество дуг, соответствующих реальным участкам сети; L, N – множества дуг, соответствующих входам и выходам сети.

Потокораспределение в сети характеризуется вектором состояния (1):

$$\bar{X} = \{q_i, i \in M \cup L \cup N; P_j, j \in V\}. \quad (1)$$

Для построения математической модели установившегося потокораспределения выберем дерево графа сети. Тогда множество E дуг графа сети разобьется на два подмножества: E_1 и E_2 , где E_1 – множество дуг графа сети относящихся к ветвям дерева; E_2 – множество дуг графа сети относящихся к хордам. В соответствии с постулатами сетей уравнения математической модели установившегося потокораспределения можно представить в следующем виде (2 – 6):

$$h_r + \sum_{i \in E_1} b_{1ri} h_i = 0, \quad r \in E_2, \quad (2)$$

$$q_i = \sum_{r \in E_2} b_{1ri} q_r, \quad i \in E_1, \quad (3)$$

где q_i, h_i – расход и потеря напора в i -м участке сети; b_{1ri} – элемент цикломатической матрицы;

$$h_j = c_j |q_j|^\chi \text{sign } q_j + h_j^{(r)}, \quad j \in M, \quad (4)$$

$$h_j = -P_j, \quad j \in L, \quad (5)$$

$$h_j = P_j, \quad j \in N. \quad (6)$$

Здесь c_j – гидравлическое сопротивление j -го реального участка; χ – коэффициент нелинейности; $h_j^{(r)}$ – потеря напора, определяемая разностью высот конца и начала j -го участка.

Математическая модель установившегося потокораспределения считается заданной, если заданы граничные условия функционирования сети, т.е. если для каждого входа и выхода сети заданы либо давление, либо расход по соответствующей фиктивной дуге. При этом, хотя бы в одной из фиктивных дуг должно быть задано давление.

Результаты тестирования адекватности разработанной модели для системы подачи и распределения воды Левобережной части г.Киева, проведенные службой гидравлики Киевводоканала, представлены в табл. 1.

В данной таблице верхний ряд значений расположенных в столбцах (Расход, Скорость)

соответствует замерам, полученным службой гидравлики на основании измерений, выполненных ультразвуковым расходомером UFP - 1000, а нижний ряд результатам моделирования.

Таблица 1. Ведомость суточного замера скоростей и расходов на водопроводной сети левого берега г.Киева.

№№ п/п	Адреса точек замеров	Время	Расход м.куб/сек	Скорость м/сек
1	Малышко, 25 (d = 400)	12 : 06 12 : 00	0.069 0.070	0.53 0.55
2	пр. Воссоединения, 8 (d = 200)	12 : 30 12 : 34	-0.001 -0.005	0.00 0.007
3	Привокзальная, 14 (d = 500)	13 : 34 13 : 29	0.013 0.002	0.06 0.01
4	Славгородская, 2 (d = 1200)	14 : 38 14 : 42	0.16 0.002	0.14 0.003
5	Ревуцкого, 27 (d = 500)	15 : 05 15 : 00	0.088 0.077	0.42 0.394
1 _а	Малышко, 25 (d = 400)	04 : 59 05 : 00	0.037 0.041	0.28 0.33
2 _а	пр. Воссоединения, 8 (d = 200)	04 : 34 04 : 30	-0.008 -0.003	0.04 0.036
3 _а	Привокзальная, 14 (d = 500)	04 : 23 04 : 19	0.012 0.000	0.06 0.00
4 _а	Славгородская, 2 (d = 1200)	04 : 12 04 : 00	0.10 0.013	0.09 0.01
5 _а	Ревуцкого, 27 (d = 500)	03 : 43 03 : 50	0.072 0.047	0.35 0.24
1 _б	Малышко, 25 (d = 400)	06 : 31 06 : 36	0.034 0.053	0.26 0.42
2 _б	пр. Воссоединения, 8 (d = 200)	06 : 05 06 : 00	-0.001 -0.004	0.0 0.005
3 _б	Привокзальная, 14 (d = 500)	06 : 57 07 : 00	0.007 0.002	0.03 0.01
4 _б	Славгородская, 2 (d = 1200)	07 : 24 07 : 20	0.19 0.00	0.17 0.00
5 _б	Ревуцкого, 27 (d = 500)	07 : 55 08 : 00	0.107 0.107	0.51 0.55

Модель обеспечивает возможность, оперативно проводить коррекцию структуры и параметров водопроводной сети, внутренней сети насосной станции, нагрузочных характеристик насосных агрегатов, состояния задвижек в соответствии с их реально существующим положением. Таким образом, имеется возможность моделировать изменения режимов функционирования системы подачи и распределения воды при изменении структуры и параметров водопроводной сети, внутренней сети насосной станции, состава включенных насосных агрегатов, их нагрузочных характеристик, состояния задвижек.

Применение графоаналитической системы диспетчерского мониторинга и управления позволяет решать следующие задачи:

- рассчитывать скорость и величину потока воды на каждом участке водопроводной сети;
- определять свободный напор в указанных узлах сети;
- определять режимные параметры насосных агрегатов;
- рассчитывать реакцию сети на включение, отключение агрегатов насосных станций;
- рассчитывать реакцию сети на включение, отключение участков сети;

– моделировать в целом потокораспределение водопроводной сети и выдавать сообщения диспетчеру о тех параметрах работы системы, которые не соответствуют требуемым (нормативным) значениям.

Для использования данных моделей диспетчерской службой в системе оперативного управления режимами функционирования системы подачи и распределения воды была разработана система отображения в которой результаты моделирования представлены в виде схемы сети

(рис. 1) и схем насосных станций, с указанием состояния агрегатов и задвижек, цвет каждого участка сети зависит от скорости воды (рис. 2), а свободные напоры выводятся в указанных точках. Более подробная информация о режиме работы любого участка водопроводной сети, участка внутренней сети насосной станции или насосного агрегата выводится на экран дисплея по запросу в соответствующем информационном окне или может быть представлена в виде таблиц, если это касается всей водопроводной сети или насосной станции.

Рис. 1. Общая схемы Левобережной части г.Киева.

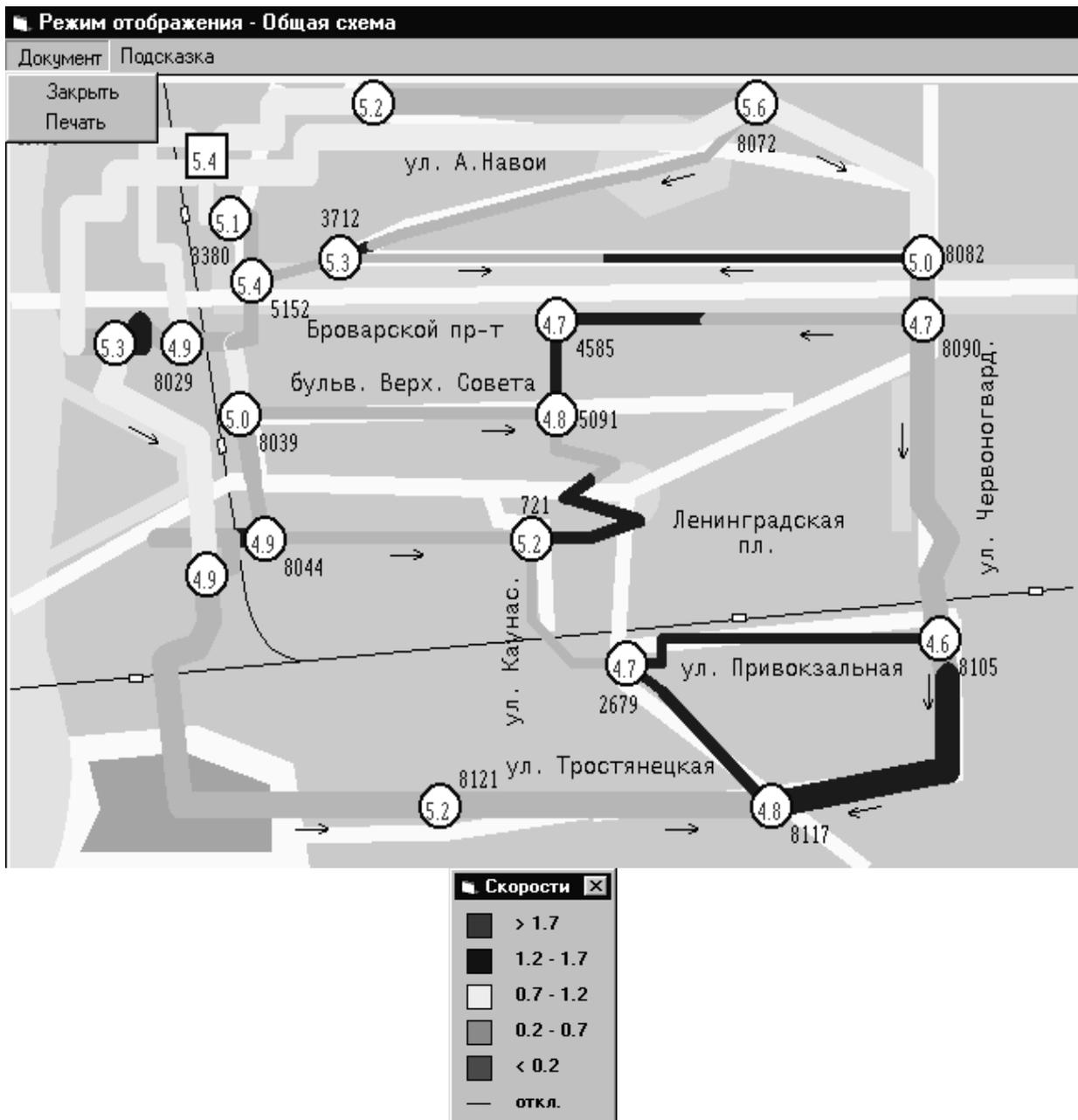


Рис. 2. Цветовое соответствие диапазонам скоростей.

Использование графоаналитической системы в процессе управления СПРВ позволяет диспетчеру определять технологически и экономически эффективные режимы функционирования насосных станций за счёт выбора рациональных схем включения агрегатов и структуры сети. Экономический эффект достигается за счёт снижения энергозатрат, повышения качества подаваемой воды, увеличения надёжности эксплуатации водопроводной сети.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. И.В. Наумейко, Харьковский национальный университет радиозлектроники, Харьков.

Автор: ФЕДОРОВ Николай Викторович
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.М. Бекетова, Харьков, кандидат технических наук, доцент.
E-mail – nick_vicf@mail.ru

Автор: ХРЕНОВ Александр Михайлович
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.М. Бекетова, Харьков, кандидат технических наук, доцент.
E-mail – xrenov.aleksandr@bk.ru

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ПОДАЧІ І РОЗПОДІЛУ ВОДИ

М. В. Федоров, О.М. Хренов

Розглядається задача побудови математичної моделі для опису режимів функціонування систем подачі та розподілу води. Наводяться дані, що підтверджують адекватність запропонованої моделі для водопровідної мережі лівого берега м. Києва. Дана модель була використана при створенні графоаналітичної системи диспетчерського моніторингу та управління системи водопостачання м. Києва.

Ключові слова: системи подачі та розподілу води, ефективне управління, граф мережі, адекватні моделі, Графоаналітична система.

COMPUTER SIMULATION MODE PERFORMANCE OF WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION

N.V. Fedorov, A.M. Xrenov

The problem of constructing the mathematical model to describe the mode of functioning systems of water supply and distribution is considered. The data confirming the adequacy of the proposed model for water supply left waterside of Kiev. This model was used to create graphical-analytical system dispatcher monitoring and management of water supply system of Kiev.

Keywords: supply and distribution system of water, efficient management, network graph, adequate models, graphic-analytical system.