

шим уровнем значимости. В ночные часы (с 2 до 5) для жилого фонда нормальное распределение в некоторых случаях нарушалось и соответствовало, как правило, гамма-распределению ночных расходов или не могло идентифицироваться, что, вероятно, связано с укладом жизни населения и утечками из водоразборной арматуры. Однако при учете общего снижения водопотребления в ночное время это отклонение на имитационном моделировании существенно не сказывается.

Для промышленных предприятий с круглосуточным режимом работы такого эффекта не наблюдалось.

#### Выводы

Несмотря на многочисленные работы, указывающие на стохастический характер водопотребления, до настоящего времени основными остаются детерминированные методы расчета системы подачи и распределения воды.

Наиболее устойчивой характеристикой водопотребления является коэффициент вариации, который может корректи-

роваться в ночное время.

Отмеченные закономерности могут быть конструктивно использованы при имитационном моделировании систем водоснабжения.

1. **Абрамов Н. Н.** Надежность систем водоснабжения – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.

2. **Кожин И. В., Добровольский Р. Г.** Устранение потерь воды при эксплуатации систем водоснабжения – М.: Стройиздат, 1988. – 348 с.

3. **Джонсон Н., Лион Ф.** Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. – М.: МИР, 1980. – 608 с.

Материал поступил в редакцию 25.04.11.

*Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и математическое программирование»*

*Тел. 8 (499) 153-97-66*

*Бекишева Лаура Борисовна, аспирантка*

*Тел. 8-909-948-51-73*

УДК 502/504:556.3.01

**С. Н. КАРАМБИРОВ, П. М. УМАНСКИЙ, Л. Б. БЕКИШЕВА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМЕ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ПРИ ШТАТНЫХ И ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

*Рассмотрены вопросы имитационного моделирования системы подачи и распределения воды с учетом отказов и восстановлений отдельных участков сети и стохастического процесса водопотребления.*

*Надежность, водоснабжение, имитационное моделирование.*

*There are considered simulation questions of the water supply and distribution system with an allowance for failures and restorations of some parts of the network and stochastic process of water consumption.*

*Reliability, water supply, simulation.*

Существующие методы расчета потокораспределения в инженерных сетях позволяют определить расходы воды на участках, напоры в узлах и подачи водопитателей при заданных параметрах сети (топология), водопитателей (характеристики), труб (диаметры и материалы), узловых расходов.

Процесс функционирования системы подачи и распределения воды (СПРВ) можно представить в виде смены различных состояний, характеризующихся величиной водопотребления и техническим состоянием входящих в нее элементов.

В основу гидравлической увязки сети положены законы Кирхгофа, дополненные зависимостями для гидравлических потерь напора от расходов в участках сети. Подобные модели являются детерминированными и не учитывают неопределенности исходных данных, основной вклад в которую вносит стохастический характер водопотребления. Стохастичность характеризуется нерегулируемым случайным процессом отбора воды потребителями, процессами износа и старения, а также аварийностью, связанной с отказом оборудования.

При моделировании гидравлических режимов водопроводных сетей в условиях аварийных отключений отдельных участков необходимо учитывать сокращение водопотребления, вызванное снижением напоров у ряда абонентов. Это означает, что вода перестает поступать на верхние этажи жилых зданий. Можно принять, что при напорах у потребителей  $H_i$ , равных или больших требуемого  $H_{i, \text{треб}}$ , водопотребление  $Q_i$  равно нормативному значению  $Q_{i, \text{треб}}$ , а при снижении напора  $H_i$  водопотребление уменьшается по квадратичному закону [1]:

$$Q_i = \begin{cases} Q_{i, \text{треб}} & \text{при } H_i \geq H_{i, \text{треб}} \\ Q_{i, \text{треб}} \cdot \sqrt{H_i / H_{i, \text{треб}}} & \text{при } H_{i, \text{крит}} \leq H_i \leq H_{i, \text{треб}}, \\ 0 & \text{при } H_i \leq H_{i, \text{крит}} \end{cases}$$

где  $H_{i, \text{крит}}$  – критический напор, соответствующий полному прекращению водоразбора, который можно принять равным нулю.

Таким образом, устройство, через которое происходит отбор воды в  $i$ -м узле при напоре  $H_i \geq H_{i, \text{треб}}$ , работает в режиме регулирования, а при напоре ниже этого

порога – в режиме дросселирования [2].

При такой постановке задачи обычные методы контурной увязки работают неустойчиво, что приводит к тому, что итерационный процесс расходится. Для устранения этого недостатка в аварийных ситуациях (при отключении отдельных участков) система подачи и распределения воды моделируется системой линейных и нелинейных уравнений с использованием второго закона Кирхгофа в узловой форме и с применением установленной зависимости [3]. Затем эта система решается тем или иным численным методом.

Имитационное моделирование – единственный метод, позволяющий наиболее адекватно описать реакцию системы подачи и распределения воды на воздействия случайного характера. Этот метод позволяет максимально учесть многорежимность функционирования системы. Метод заключается в розыгрыше на ЭВМ системы случайных величин с известными законами распределения, которые имитируют параметры или события системы, и включение их в расчетную схему.

В качестве имитируемых были выбраны случайные факторы, оказывающие наибольшее воздействие на систему: вектор узловых расходов водопотребления, отказы и восстановления участков водопроводной сети. Узловые расходы имитируются с шагом квантования в один час. По результатам расчета можно судить о способности системы к саморегулированию, ее резервах и «узких местах», скорректировать отдельные параметры и повторить имитацию.

Система подачи и распределения воды является восстанавливаемым объектом, работоспособность которого, в случае возникновения отказа, подлежит восстановлению (в дальнейшем будем рассматривать процессы отказов и восстановлений только участков водопроводных линий). Процесс функционирования восстанавливаемого элемента представляет собой чередование периодов: исправной работы, отказа и восстановления, снова периода исправной работы [4]. Продолжительность ремонта зависит от ряда операций, определяемых различными

причинами, и считается случайной величиной. На рис. 1 приведен фактический временной ряд водопотребления жилого дома.

Из рисунка видно, что отбор воды

имеет вид случайных периодических колебаний. В отдельные моменты времени он достигает нулевых значений, что соответствует отказным состояниям.

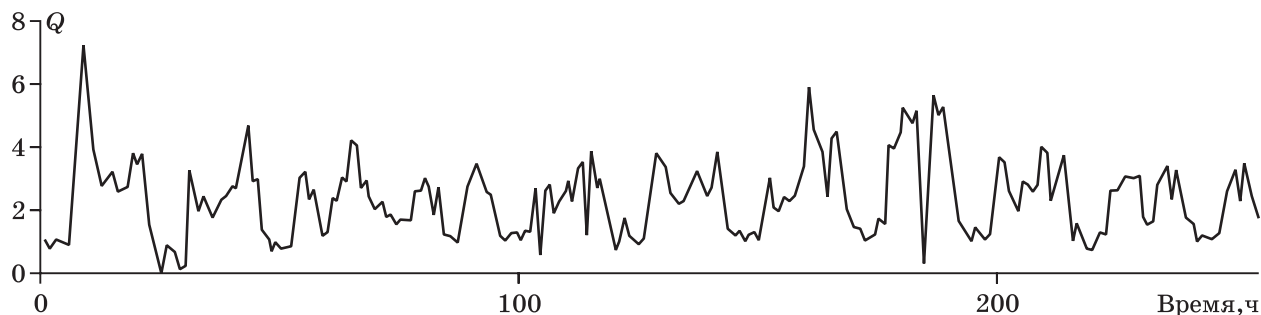


Рис. 1. Изменение водопотребления в течение суток

Процесс восстановления продолжается несколько часов, в течение которых водопотребление постоянно изменяется в соответствии с суточными колебаниями и стохастичностью процесса. Таким образом, при отключении участков в одних случаях будет происходить отказ узлов из-за нехватки напоров в них, в других случаях, при уменьшении водопотребления, отказа узлов не будет. Для уменьшения негативных явлений в послеаварийный период можно управлять параметрами водопитателей, например путем включения дополнительных насосов.

Исследования показали, что процесс отказов и процесс восстановлений участков подчиняются экспоненциальному закону распределения [5, 6]. В работе использовались величины удельных интенсивностей отказов и восстановлений как функции диаметров и материалов труб, приведенные в [5].

В результате приходим к следующей последовательности расчета:

1. В начальный момент времени все участки считаются исправными. Путем имитации формируют массивы времени отказа и восстановления каждого участка. Определяют время ближайшего отказа, которое переводится в календарную дату и час суток. По ним находят номер графика водопотребления (если их несколько) и расчетный час. По другой программной реализации алгоритма выбирают наиболее неблагоприятный случай — час с максимальным в течение суток расходом.

2. Осуществляют имитацию слу-

чайного вектора водопотребления и производят гидравлический расчет системы при отключенном аварийном участке по схеме с нефиксированными отборами. Определяют возможность включения дополнительных насосов.

3. Определяют узлы с напорами меньше требуемых, результаты сохраняют в файле вывода.

4. Производят переход к следующему часу суток и сравнивают время после аварии со временем восстановления. В случае продолжения ремонта для нового часа разыгрывают вектор водопотребления и производят увязку сети. Расчет повторяют до истечения времени ликвидации аварии, после чего участок считают работающим и для него определяется новое время отказа и восстановления.

5. Моделируют время ближайшей аварии, и расчет повторяют до окончания имитации.

6. Производят обработку полученных данных, в результате чего для каждого узла определяют суммарное время отказа за период имитации и вклад аварий отдельных участков в отказ выбранного узла.

При разработке алгоритма сделаны следующие допущения: отказы участков независимы между собой; при имитации узловых расходов не учитывается изменение характера водопотребления в момент аварии, связанное с перераспределением времени разбора воды; узловых расходы подчиняются нормальному закону распределения.

В качестве примера рассмотрим систему подачи и распределения воды,

показанную на рис. 2.

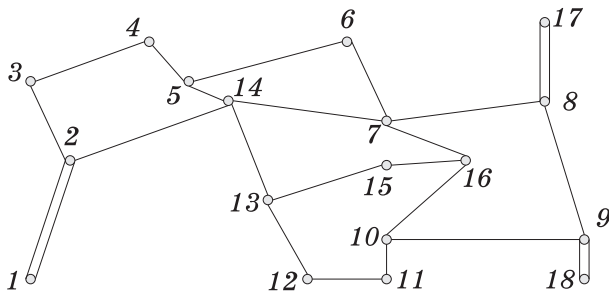


Рис. 2. Расчетная схема системы подачи и распределения воды

Это система с контррезервуаром, в узле 1 расположена насосная станция, а в узле 17 – водонапорная башня. Кольцевая структура сети повышает ее надежность, но не гарантирует отсутствия отказов.

Для этой системы был проведен имитационный расчет по приведенному алгоритму за 20 лет. Результаты расчета приведены на рис. 3.

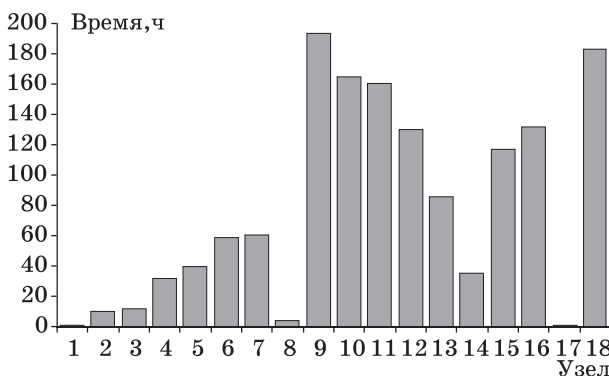


Рис. 3. Число часов отказов узлов за 20 лет эксплуатации

График имеет вид гистограммы, где из каждого узла выходит столбец, пропорциональный общему времени имитации, в течение которого свободный напор в узле был меньше требуемого. Отметим, что для водопитателей это время равно нулю. В более сложных расчетах необходимо учитывать динамику изменения уровней воды в башне. Аналогично можно получить другие характеристики отказов.

**Выводы**

В настоящее время практически не проводятся расчеты систем подачи и распределения воды на надежность.

Показано, что задача может быть конструктивно решена методом имитационного моделирования, адаптированным к расчетам отключаемых участков и снижению водопотребления при уменьшении напора.

Метод может быть использован для управления надежностью.

1. Эгильский И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды. – Л.: Стройиздат, 1988. – 216 с.

2. Сумароков С. В. Математическое моделирование систем водоснабжения. – Новосибирск: Наука, 1983. – 167 с.

3. Карамбиров С. Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2004. – 197 с.

4. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.

5. Дмитриев В. Д. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: справочник / В. Д. Дмитриев [и др.]. – Л.: Стройиздат, 1988. – 383 с.

Материал поступил в редакцию 25.04.11.

*Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Вычислительная техника и математическое программирование»*

Тел. 8 (499) 153-97-66

*Уманский Петр Михайлович, старший преподаватель*

Тел. 8-916-102-70-89

*Бекишева Лаура Борисовна, соискатель*

Тел. 8-909-948-51-73