

УДК 502/504:628.171

С. Н. КАРАМБИРОВ, Л. Б. БЕКИШЕВА

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

О НЕКОТОРЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Приведены результаты натурных исследований водопотребления объектов водоснабжения Ленинградской области. Выявлены наиболее устойчивые параметры водопотребления.

Водопотребление, водоснабжение, статистический анализ данных.

There are given results of natural researches of water consumption of water supply objects of the Leningrad region. The steadiest parameters of water consumption are found.

Water consumption, water supply, data statistical analysis.

Для проектирования и эксплуатации систем водоснабжения необходимо знать количество потребляемой воды и режим ее использования. Водопотребление в жилых зданиях неравномерно и зависит от многих факторов: степени благоустройства, этажности, числа потребителей, состояния водоразборной арматуры, времени года и т. д. В практике проектирования водопотребление принято изображать ступенчатым графиком с детерминированными значениями часовых расходов или коэффициентами суточной и часовой неравномерности.

Жители удовлетворяют свои потребности в воде в любое время и на произвольную продолжительность. Таким образом, поток заявок на воду является случайным, что обуславливает стохастический характер водопотребления. Суммарный отбор воды в доме может иметь характер уже непрерывного процесса. Если случайный процесс водопотребления предъявит к системе водоснабжения требования, превышающие ее возможности, происходит отказ системы [1].

Таким образом, производительность

системы должна обеспечить удовлетворение пиковых нагрузок, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации. Основной объем воды, потребляемый в городских системах водоснабжения, как правило, составляет водопотребление в жилых зданиях, где происходит случайный отбор воды [2]. Обработка статистических данных о фактическом объеме и режиме водопотребления позволяет определить его уровень, вероятность превышения которого меньше наперед заданной величины.

В отличие от водопотребления в жилом фонде, где режим расходования воды определяется случайным потоком «заявок» на воду отдельными потребителями, расходование воды в промышленности на производственные цели должно иметь детерминированный характер, обусловленный технологией производства. Вместе с тем, полученные данные говорят о том, что расходы воды в промышленности также характеризуются значительными колебаниями и носят стохастический характер.

Натурные исследования водопотре-

бления проводились в городах Кингисепп и Ивангород Ленинградской области. По характеру жилой застройки города делятся на две группы: первая – благоустроенные дома, степень благоустройства – централизованное горячее водоснабжение, этажность застройки – 9...12 этажей; вторая – благоустроенные дома – ванны и газовые нагреватели, этажность застройки – 4...5 этажей.

Подача воды в 9...12-этажные здания осуществляется насосными станциями подкачки из разводящей сети. По этой схеме счетчик воды установлен на входе в станцию подкачки и учитывает весь расход воды для группы зданий.

Снабжение водой 4...5-этажных зданий производится от разводящей сети, а ее учет – счетчиком воды, установленным на входе в здание.

Выбор объектов для экспериментальных исследований водопотребления был произведен с помощью стратифицированного отбора, обеспечивающего представительство различных частей генеральной совокупности. В соответствии с этим для проведения измерений в жилищном фонде было выбрано 30 зданий различной

этажности, заселенности и благоустроенности. Для проведения натурных исследований в промышленном фонде были выбраны предприятия с большим водоотбором (молокозавод, городская котельная, хлебокомбинат, меховая фабрика и др.).

Оценку водопотребления и его режима определяли по следующим показателям:

гистограммы часовых расходов с основными статистиками на них;

усредненное за период наблюдения суточное водопотребление $Q_{сут}$ (м³/сут);

график $Q_{ч}$ (м³/ч), усредненный по часам суток и совмещенный с графиком коэффициентов вариации (отношений среднеквадратических отклонений к соответствующим средним);

усредненное минимальное водопотребление в сутки $Q_{сут\ min}$ (м³/ч);

среднесуточное водопотребление $Q_{ср.сут}$ (м³/ч);

минимальный часовой коэффициент неравномерности $k_{ч\ min} = Q_{сут\ min}/Q_{ср.сут}$.

Основные параметры объектов исследований приведены в таблице.

Усредненный суточный график колебания часовых расходов воды, совмещенный с графиками часовых

Параметры объектов исследований

Адрес	Число этажей	Численность жителей	Число измерений	Начало регистрации	Характеристика водопотребления				
					$Q_{сут}$	$q_{уд.}$	$Q_{ср.сут}$	$Q_{сут\ min}$	$K_{ч\ min.}$
Кингисепп, Криковское шоссе 41	12	1189	600	28 июня	215,43	101,1	8,98	5,18	0,58
Ивангород, Садовая, 2	5	583	1104	02 февраля	154,67	265,3	6,44	2,31	0,36
Кингисепп, станция подкачки	12	735	576	20 августа	152,45	207,5	6,35	4,37	0,69
Ивангород, Кингисеппское шоссе 24	9	280	2112	09 апреля	92,49	330,4	3,85	2,11	0,55
Ивангород, Гагарина, 7	4	92	1176	19 августа	31,69	344,4	1,32	0,36	0,28
Кингисепп, станция подкачки	12	735	720	04 мая	117,32	159,6	4,89	2,50	0,52
Ивангород	4	240	1176	09 апреля	31,73	132,2	1,32	0,36	0,27
Ивангород, Гагарина, 3	4	95	2136	09 апреля	19,65	206,9	0,82	0,2	0,25
Промышленные предприятия									
Молокозавод			768	17 июля	1728,3		72,0	57,3	0,8
Городская котельная			720	09 апреля	4108,4		171,0	149,0	0,87
Меховая фабрика			840	09 апреля	60,64		2,53	0,21	0,08

Примечание: $q_{уд.}$ – удельное водопотребление в сутки (л/(сут · чел.))

коэффициентов вариации, приведен на рис.1.

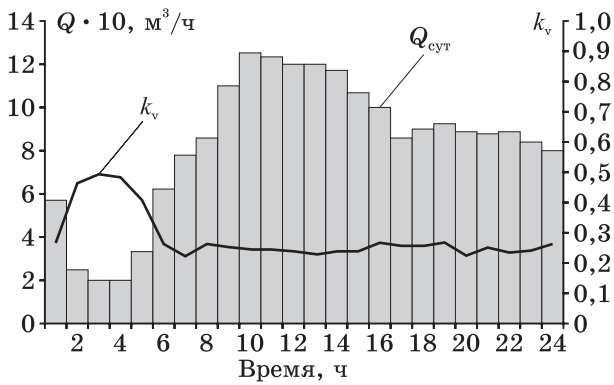


Рис. 1. Водопотребление для жилого дома (Ивангород, Гагарина, 3): k_v – коэффициент вариации; $Q_{сут}$ – суточное водопотребление

Анализ графиков показал, что все объекты водоснабжения (включая промышленные) можно разделить на две части. К первой относятся объекты со значительным снижением водопотребления в ночное время (с часа до шести). Количественной мерой такого снижения в водоснабжении является коэффициент минимальной часовой неравномерности. При больших значениях последнего в отмеченные часы коэффициент вариации скачкообразно возрастает, оставаясь практически постоянным в другое время. По мере снижения коэффициента минимальной неравномерности график коэффициентов вариации становится все более плоским, в пределе превращаясь в линию, параллельную оси времени, как и в первом случае после 6 ч (см. рис. 1).

Статистический анализ данных показал незначимость регрессионной модели, описывающей зависимость коэффициента вариации от времени в этих случаях, т. е. подтверждается гипотеза о том, что коэффициент при независимой переменной (времени суток) равен нулю.

Авторам не удалось связать постоянное значение коэффициента вариации с другими параметрами объектов. Таким образом, можно лишь констатировать, что коэффициенты вариации лежат в диапазоне 0,15...0,25 (как в жилищном, так и в промышленном фондах). Однако можно сделать более определенный вывод о повышении коэффициента вариации в ночное время. Для этого введем переменную $k_{vm} = k_{v(1...6)} / k_{v(7...24)}$.

Анализ данных показал, что величина k_{vm} функционально зависит от коэффициента минимальной часовой неравномерности с коэффициентом детерминации 0,8 и описывается следующей зависимостью: $k_{vm} = 0,909 k_{ч\ min}^{-0,518}$.

Косвенным подтверждением зависимости является ее стремление к единице при $k_{ч\ min}^{-0,518} \rightarrow 1$ (рис. 2).

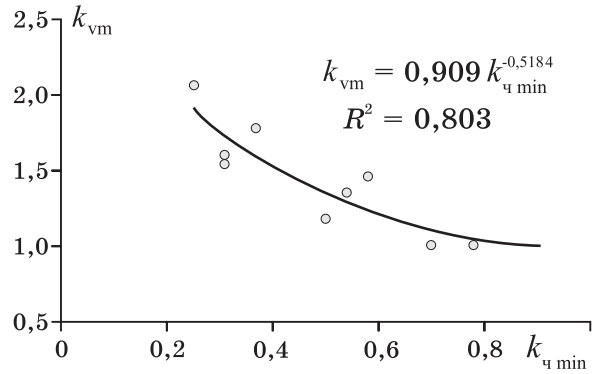


Рис. 2. Зависимость k_{vm} от $k_{ч\ min}$

Для каждого часа строились ступенчатые графики, в верхней части которых указывался расчетный час, тип распределения, критерий χ^2 , число объединенных измерений, вычисленный уровень значимости p (рис. 3). Если последняя величина превышает значение заданного уровня значимости (как правило, 0,05...0,01), гипотеза о заданном распределении принимается [3].

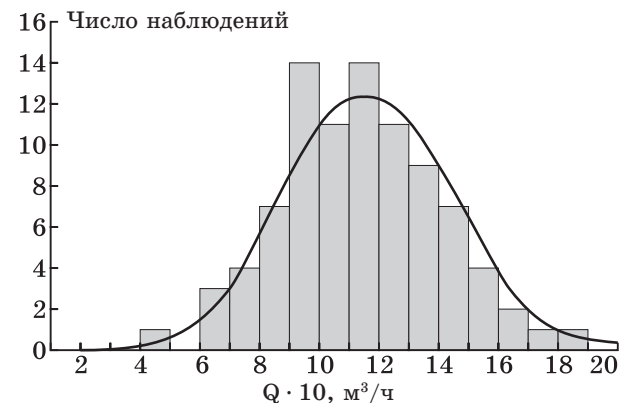


Рис. 3. Гистограмма расходов для 13...14 ч (Ивангород, ул. Гагарина, 3): распределение нормальное; критерий $\chi^2 = 2,97$

При проверке критериев согласия можно сделать следующий вывод: практически для всех регистрируемых замеров нет оснований отвергать нормальный закон распределения часовых расходов в дневное время суток, причем с еще боль-

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.