

5. Котляков А. В., Грицук И. И., Масликова О. Я., Пономарев Н. К. Экспериментальное исследование влияния льдистости грунтов, слагающих русло рек, на динамику берегового склона // Лед и снег. – 2011. – № 2 (114). – С. 92–98.

6. Арэ Ф. Э. Основы прогноза термоабразии берегов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 171 с.

7. Динамика русловых потоков и литодинамика прибрежной зоны моря; под ред. В. К. Дебольского, Р. Зайдлера, С. М.

Масселя. – М.: Наука, 1994. – 303 с.

Материал поступил в редакцию 05.12.13.

**Масликова Оксана Яковлевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Тел. 8(499) 135-72-01

E-mail: oksana68@mail.ru

**Козлов Дмитрий Вячеславович**, доктор технических наук, профессор, ректор

Тел. 8(499) 976-29-62

E-mail: kozlovdu@mail.ru

УДК 502/504:556.3.01

**С. Н. КАРАМБИРОВ, Ю. Г. БУРКОВА, П. М. УМАНСКИЙ**

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

## **АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ДЕБИТУ СКВАЖИН ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

*Приводятся результаты анализа натурных замеров фактических подач водозаборных скважин. Изучение закономерностей водопотребления относится к задачам неполной определенности. Исходные данные обрабатывались методами анализа временных рядов. Предложенные модели являются основой для моделирования и прогнозирования значений исследуемого ряда.*

*Водозаборные скважины, стохастический процесс, временные ряды, функция спектральной плотности, автокорреляционные функции.*

*The paper presents an analysis of field measurements of water wells actual feed. Studying of the patterns of water consumption relates to the problem of incomplete certainty. The initial data were processed by methods of time series analysis. The proposed models are the basis for simulation and prediction of the values of the analyzed data series.*

*Water wells, stochastic process, time series, spectral density function, autocorrelation function.*

Водопотребление небольших объектов водоснабжения неравномерно и зависит от многих факторов: этажности и степени благоустройства зданий, состояния установленного водоразборного оборудования, числа потребителей, видов местной промышленности, климатических условий, времени года и т. п. Режим водопотребления, т. е. изменения величины расходов воды в течение суток, года неравномерен и также зависит от многих факторов. Величина и режим водопотребления всей совокупности потребителей оказывают решающее влияние на работу водопроводной сети и, следовательно, на качество и бесперебойность водоснабжения.

Промышленные предприятия и жители предъявляют свои заявки (открывая краны) независимо один от другого в произвольные моменты времени и в течение любых промежутков времени. Такие заявки образуют случайный поток событий. Со стороны водопроводного предприятия нельзя в директивном порядке задать условия расходования воды для потребителей.

Величины всех видов расхода воды определяют, исходя из норм водопотребления. Так, расход воды населением рассчитывают с учетом норм хозяйственно-питьевого водопотребления на одного человека в сутки, согласно СНиП 2.04.02–84\*, в зависимости от степени благоустройства

районов жилой застройки.

Определение расхода воды на промышленных предприятиях производится согласно нормам по СНиП 2.04.01–85 и технологическим данным. По количеству воды, потребляемому в течение суток, рассчитывают максимальный и минимальный коэффициенты неравномерности. Нормативными документами не регламентируются суммарные ступенчатые графики водопотребления, однако они используются проектными организациями и отражены в литературе.

Нормальное водоснабжение обеспечивается в том случае, если процессы подачи и потребления воды динамически уравновешены. В тех случаях, когда потребители одновременно пытаются получить количество воды, превышающее возможности обслуживающей их системы водоснабжения, интенсивность подачи уменьшается, происходит снижение напоров в городской сети, появляются перебои водоснабжения. С увеличением количества потребителей суммарное водопотребление приобретает характер непрерывного процесса, что объясняется несовпадением периодов пользования водой.

Изучение закономерностей водопотребления относится к задачам неполной определенности. Вероятностный характер этой задачи обусловлен тем, что водопотребление формируется под воздействием большого числа факторов, многие из которых нельзя учесть. Для ее решения необходимо использовать методы математической статистики и временных рядов на основе натурных замеров фактического водопотребления [1]. В этой же работе приведены методы учета стохастичности водопотребления при проведении гидравлических и технико-экономических расчетов систем подачи и распределения воды и оценки их надежности.

Исходными данными для обработки являются суммарные подачи по часам суток для трех водозаборных скважин Плещеевского водозаборного узла города Подольска. Потребители: цементный завод, котельные, жилой сектор. Численность жителей – около 4000 человек. Здания жилого сектора имеют 5 этажей и централизованное горячее водоснабжение.

Каждая суточная реализация изменения подачи скважин рассматривается как одно значение 24-мерного случайного

вектора. На первом этапе каждый компонент этого вектора (значение в определенный час суток) обрабатывается статистическими методами. Такой подход имеет существенный недостаток – теряется временная последовательность изменения изучаемых величин, обуславливающая их цикличность. В общем случае компоненты случайного вектора являются взаимосвязанными, степень их связи характеризует корреляционная матрица, однако она имеет размер 24x24 и неудобна в обращении.

Представляется естественным рассматривать изменение контролируемых величин во времени как реализацию стохастического процесса и обрабатывать исходные данные методами анализа временных рядов [2]. Рассмотрим их основные характеристики на примере рядов изменения подач скважин. Пусть в момент времени  $t$  значение расхода воды –  $q_t$ .

Одна из основных характеристик временного ряда – автокорреляционная функция, показывавшая степень зависимости между значениями ряда в различные моменты времени. В статистике имеется несколько оценок автокорреляционной функции. Наиболее удовлетворительной из них, обладающей наименьшей среднеквадратической ошибкой, является следующая:

$$r(K) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-K} (q_t - \bar{q})(q_{t+K} - \bar{q})}{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (q_t - \bar{q})^2}, \quad (1)$$

где  $r(K)$  – автокорреляция членов ряда, разделенных  $K$  интервалами времени;  $K = 0; 1; 2; \dots L$ , где  $L$  – максимальная задержка (точка усечения);  $\bar{q} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N q_t$  – среднее значение ряда;  $N$  – число членов ряда. (Для уменьшения дисперсии полагают  $L \approx 20\%$  от  $N$ ).

Второй характеристикой случайной функции, аналогичной понятию дисперсии в классической статистике, является функция спектральной плотности. Она определяет распределение среднеквадратического отклонения временной последовательности по частотам. Спектральная плотность связана с автокорреляционной функцией преобразованием Фурье:

$$g(f_i) = 2 \left[ 1 + 2 \sum_{K=1}^{L-1} r(K) \cos \left( \frac{\pi f_i K}{2L} \right) \right]; \quad 0 \leq f_i \leq 0,5. \quad (2)$$

Для получения статистически устойчивых результатов спектральная плотность сглаживалась «окном» Парзена. Наличие пиков спектральной плотности говорит о существовании на данной частоте  $f$  регулярных колебаний, на которые раскладывается ряд. Анализ графиков спектральных плотностей и автокорреляционных функций позволил заметить, что наиболее характерный период колебаний  $T = 1 / f$  расходов – 24 ч (рис. 1, 2).

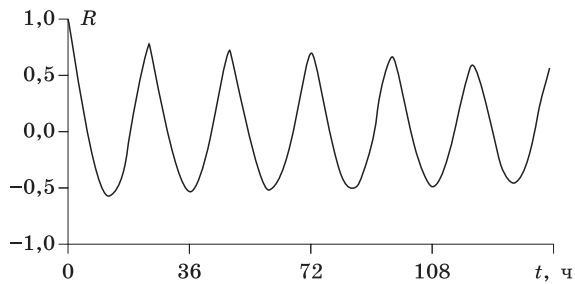


Рис. 1. Автокорреляционная функция подач скважин

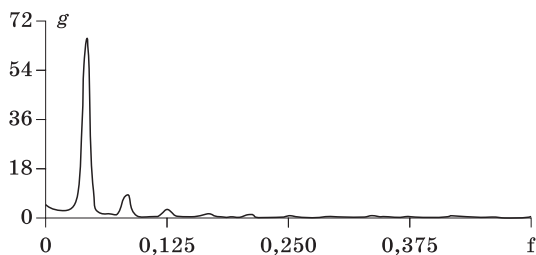


Рис. 2. Функция спектральной плотности подач скважин

Автокорреляционная функция имеет вид медленно затухающих колебаний. Идентифицировать изменение изучаемой величины с известными моделями временных рядов достаточно сложно. Это является основанием преобразования исходного ряда для приведения его к стационарному виду.

Исходные данные раскладывались на детерминированный и случайный компоненты. В качестве детерминированной части был рассмотрен усредненный ступенчатый график подач скважин в каждый час за весь период наблюдений (математическое ожидание случайной функции  $Mq(t)$ ).

Разность между исходным рядом и этой функцией представляет собой случайный компонент  $P_t$ , который обрабатывался методами анализа временных рядов.

Автокорреляция остатков показывает, что случайная составляющая может быть описана линейной моделью авторегрессии порядка не выше второго (рис. 3):  $P_t = C_1 P_{t-1} - C_2 P_t + a_t$ , (3) где  $a_t$  – последовательность случайных чисел, образующая белый шум.

Дальнейшие преобразования связаны с взятием первой и второй разностей:  $U_t = P_{t+1} - P_t$ .

Автокорреляция ряда  $U_t$  после взятия двух разностей позволяет описать его поведение процессом скользящего среднего (рис. 4):

$$U_t = a_t - K_1 a_{t-1} - K_2 a_{t-2}. \quad (4)$$

Коэффициенты в выражениях (3) и (4) находят методом наименьших квадратов [2]. Предложенные модели являются основой для моделирования и прогнозирования значений ряда.

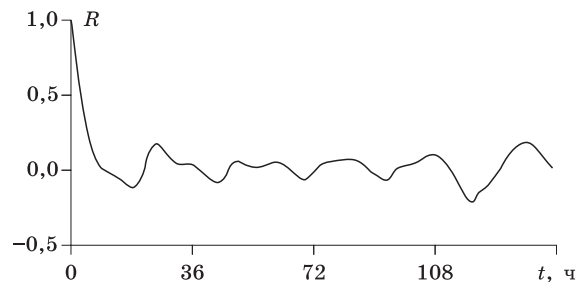


Рис. 3. Автокорреляционная функция ряда остатков

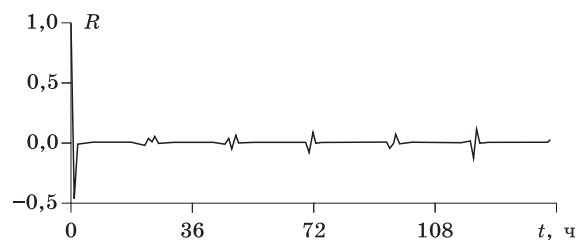


Рис. 4. Автокорреляция ряда остатков после взятия двух разностей

### Выводы

Одной из основных неопределенностей систем водоснабжения является процесс водопотребления, закономерности которого при наличии натуральных измерений можно получить методами математической статистики и временных рядов.

Наиболее адекватной стохастической моделью водопотребления является представление его в виде усредненного ступенчатого графика и нестационарного временного ряда, моделируемого простейшими моделями авторегрессии

интегрированного скользящего среднего.

1. **Карамбиров С. Н.** Новые подходы в моделировании и оптимизации трубопроводных систем. Основы, концепции, методы. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 355 с.

2. **Бокс Дж., Дженкинс Г.** Анализ временных рядов: Прогноз и управление; перевод с англ. – М.: Мир, 1974. – Вып. 1. – 406 с.

3. **Евдокимов А. Г., Тевяшев А. Д., Дубровский В. В.** Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженер-

ных сетях. – М.: Стройиздат, 1990. – 368 с.

Материал поступил в редакцию 13.05.13.

**Карамбиров Сергей Николаевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 153-97-66

E-mail: [karamba.msuee@mail.ru](mailto:karamba.msuee@mail.ru)

**Буркова Юлия Геннадьевна**, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (499) 153-97-66

E-mail: [burkova.msuee@mail.ru](mailto:burkova.msuee@mail.ru)

**Уманский Петр Михайлович**, старший преподаватель

Тел. 8 (499) 976-18-69

УДК 502/504:628.1:628.3:631.6

## Д. П. ГОСТИЩЕВ

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

## В. А. ШИРОКОВА, А. О. ХУТОРОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет по землеустройству»

## В. И. АКСЁНОВ, И. И. НИЧКОВА

Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

# ЗАЩИТА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

*Загрязнение природных водных объектов происходит за счет сброса в них сточных вод, недостаточно очищенных или вообще без очистки. Авторами предложены мероприятия по повторному использованию сточных вод в системе замкнутого водоснабжения и подаче их в оросительную систему, сокращению затрат воды на единицу продукции, по снижению потерь воды при транспортировке.*

*Водопользование, водоснабжение, сточные воды, содержание НПК в сточных водах, экономические потери, водоподготовка, замкнутое водоснабжение, орошение.*

*Pollution of natural water bodies occurs due to the sewage discharge into them, insufficiently treated or non-treated at all. The authors propose measures on the sewage reuse in the closed system of water supply and its delivery into the irrigation system, reduction of water consumption per a unit of product, decreasing of water losses during transportation.*

*Water use, water supply, sewage, NPK content in waste water, economic losses, water preparation, closed water supply, irrigation*

По данным Министерства природных ресурсов Российской Федерации, объем использования свежей воды в 2009

году составил 57 677 млн м<sup>3</sup>, или 60 % от забора 1990 года, объем оборотной и повторно используемой воды – 170 563 млн м<sup>3</sup>,