

УДК 628.17

Е.В. Москвичева, А.Ю. Комаров, В.А. Романов, Н.А. Сахарова, А.А. Щелочкова

ВОДОСБЕРЕЖЕНИЕ В КОММУНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ г. ВОЛГОГРАДА

Представлена математическая зависимость, позволяющая прогнозировать удельное водопотребление в крупных городах с учетом основных экономических, социальных, демографических и инженерно-технических факторов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: водопотребление, математическое моделирование, перерасход воды, системы водоснабжения.

The author presented mathematical dependence, which allows to predict specific water consumption in metropolises with regard to major economic, social, demographic and engineering-and-technical factors.

K e y w o r d s: water consumption, mathematical modelling, water overrun, water supply systems.

В последние годы во многих крупных городах наблюдается значительный рост фактического удельного водопотребления, достигающего до 500...700 л/сут·чел. Если учесть, что во всех странах Западной Европы фактическое водопотребление не превышает 200 л/сут, такое увеличение абсолютно не оправдано. Его можно объяснить четырьмя основными факторами, а именно отсутствием или недостаточностью культуры водопользования; неоправданно большими потерями воды вследствие высокой аварийности сетей и водоразборной арматуры; отсутствием индивидуальных приборов учета расхода воды; достаточно низкими тарифами на пользование водой.

Вопросы водосбережения можно свести к двум следующим задачам:

первой задачей водосбережения является определение некоторого рационального уровня водопотребления для каждого типа потребителей и разработка требований к количеству и качеству подаваемой воды. Определить удельное водопотребление на стадии проектирования можно путем анализа фактических данных о расходовании воды в действующих системах водоснабжения;

второй задачей водосбережения является организация комплекса мероприятий технического и организационного характера по водосбережению при эксплуатации систем водоснабжения. Установление критериев рационального водопотребления позволит снизить уровень капиталовложений на развитие систем коммунального водоснабжения, сэкономить водные ресурсы, уменьшить эксплуатационные затраты на обработку и транспортирование воды, повысить надежность систем водоснабжения.

Уровень рационального водопотребления тесно связан с режимом расходования воды.

На сегодняшний день имеется два основных подхода, учитывающих случайный характер водопотребления: вероятностный и статистический.

Вероятностный подход предполагает особенности предоставления как исходных данных, так и конечных результатов.

Для статистических методов характерно построение неких теоретических функций распределения часовых расходов за весь период водопотребления. Но параметры функций распределения не могут учитывать все особенности местных условий водопотребления.

Нормы водопотребления, приведенные в СНиПе [1], разработаны на основе вероятностного подхода с некоторым резервом и существенно превышают рациональную потребность населения в воде.

Это отличие можно объяснить, прежде всего, недоучетом демографического фактора и не всегда истинным учетом заселенности квартир. Нормы водопотребления, регламентированные СНиПом [1], установлены на основе предположения, что средняя заселенность квартир составляет 4 человека, что далеко не всегда адекватно фактам.

Перед нами была поставлена задача изучить режим водопотребления в г. Волгограде с целью снижения фактического расхода воды в системе водоснабжения и установления рациональных норм водопотребления для населения крупных городов.

Для города Волгограда характерно наличие таких же основных категорий водопотребителей, которые существуют в крупных промышленных городах.

Население города Волгограда составляет 982 тыс. человек. Основная доля населения, около 90 %, живет в зданиях с централизованным водоснабжением и канализацией. Оставшаяся часть — 10 % населения — живет в частном секторе, который представляет собой индивидуальные дома.

Количество потребляемой воды зависит, в первую очередь:

- 1) от социальных факторов: роста численности населения г. Волгограда и его колебания, постоянной миграции населения из области;
- 2) экономического фактора. В стране с 1960 г. начала развиваться быстрыми темпами промышленность. При переходе к рыночной экономике теряется прежний баланс производства, соответственно нарушается количественное равновесие в системе водоснабжения города в целом.

По натурным измерениям в Волгограде удельное водопотребление населения на одного человека в сутки, проживающего в домах с различной степенью благоустройства колеблется в высоких диапазонах и составляет от 320 до 350 л/сут.

Высокий уровень удельного водопотребления в жилых домах г. Волгограда говорит не только о нерациональном подходе к используемой воде со стороны потребителей, но и о значительных потерях воды в системе водоснабжения.

Поэтому для уменьшения фактического водопотребления населением больших городов необходимо найти более рациональный метод нормирования расхода воды, выявляющий причины перерасхода воды, как в текущее время, так и в дальнейшие периоды развития водохозяйственных объектов.

Многочисленные исследования, проведенные российскими учеными, показали, что в многоэтажных зданиях современного благоустройства на водопроводных вводах водопотребление характеризуется как непрерывный вероятностный процесс. Поэтому исследование формирования водопотребления в жилых зданиях возможно только на основе натурных экспериментов и наиболее точной их математической обработки.

Многолетние наблюдения водохозяйственных организаций г. Волгограда за расходом воды населением выявили тенденцию изменения водопотребления по временам года, приведенную на рисунке.

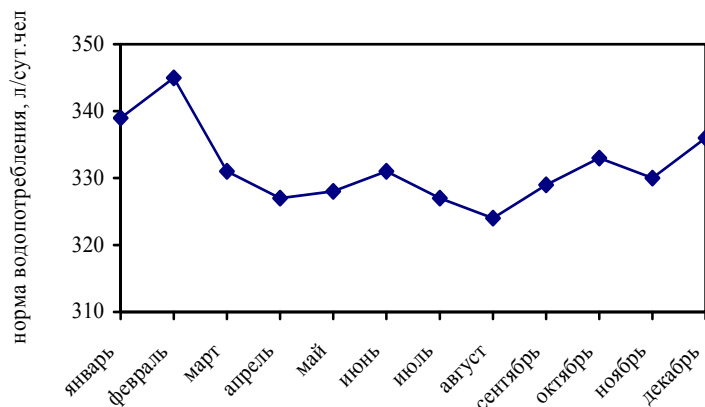


График колебания водопотребления за год

Характерно, что количество потребляемой воды летом меньше, чем зимой, что противоречит установленным представлениям о колебании расходов воды относительно сезонов года. Это явление может быть объяснено: демографической ситуацией города и особенностью уклада жизни населения страны в летнее время года (большая часть населения города уезжает за его пределы), а увеличение расхода воды в зимнее время года (максимальные значения — в январе и феврале) может быть объяснено многочисленными праздниками.

Влияние заселенности на поведение потребителей воды проявляется в том, что с увеличением количества человек, проживающих в доме, удельное водопотребление снижается [2]. Анализ результатов приборных измерений потребления горячей воды, а также многолетних изменений водопотребления в жилых зданиях г. Волгограда, регулярно проводимых на водопроводных вводах специалистами МУП «Городской водоканал г. Волгограда», показывает, что снижение водопотребления является закономерным.

Для выявления особенностей формирования водопотребления населением в жилых зданиях г. Волгограда была проведена выборка статистически значимых объектов с последующими измерениями факторов влияния. Исследования режимов водопотребления на этих объектах в интервале разных времен (год, месяц, сутки) показывают некоторые характерные черты водопотребления:

1) суточный режим водопотребления в жилищном фонде г. Волгограда подобен режиму водопотребления в других городах, т.е. выделяется два пика повышения водопотребления в утренние и вечерние часы;

2) режим водопотребления в более длинный интервал времени (месяцы, год) показывает нехарактерную картину изменения водопотребления г. Волгограда, что может быть объяснено особенностью климата.

Для проведения измерений были выбраны здания и группы зданий, наиболее полно представляющие картину водопотребления в жилищном фонде

города Волгограда, т.е. здания, встречающиеся в 70...80 % от всего жилищного фонда. Измерения проводились на центрально-тепловых пунктах (ЦТП), от которых питается водой несколько жилых зданий.

На каждом из выбранных для обследования узле производились измерения часовых, суточных расходов воды и давлений на вводе после подкачки насосов.

С учетом существующих методов исследования водопотребления приняты такие факторы, как технические (давление в водопроводной сети), демографические (заселенность квартир) и технологические (утечки из водопроводной сети).

Для построения статистической модели использованы фактические данные замеров этих факторов, а именно: H — напоры в водопроводной сети; q_n — значения расходов воды в рассматриваемое время t ; z — значения численности населения на отобранных объектах.

В частном случае в качестве регрессионной модели представлено уравнение вида

$$q = a_0 + a_1 q_n^{P_{qn}} + a_2 Z^{P_z} + a_3 H^{P_H}, \quad (1)$$

где P_{qn} , P_z , P_H — степени при соответствующих факторах уравнения; a_0 , a_1 , a_2 , a_3 — соответствующие коэффициенты при уравнении. Анализ литературных источников показал, что данное уравнение может быть принято линейным, т.е. $P_{qn} = P_z = P_H = 1$. В этом случае для нахождения ряда неизвестных параметров в этом уравнении используется информация о фактических среднесуточных расходах воды при фиксированных значениях факторов q_{ni} , z_i , H_i . С учетом этого данное регрессионное уравнение представляется зависимостью

$$q = f(q_n, z, H, a_0, a_1, a_2, a_3). \quad (2)$$

Коэффициенты для неизвестных параметров находятся из условия минимума некоторого функционала, характеризующего «близость» предсказанных по модели значений к измеренным. В результате расчетов получены коэффициенты при уравнении (1): $a_0 = -1,157$; $a_1 = 7,278$; $a_2 = 39,81$; $a_3 = 1,68$.

В этом случае зависимость (1) принимает вид

$$q = -1,157 + 7,278 q_n + 39,81 Z + 1,68 H. \quad (3)$$

Несмотря на то, что адекватность математической модели подтверждается статистическим методом, возникает несоответствие при интерпретации коэффициента a_0 . С физической точки зрения a_0 представляет собой полезную и необходимую часть потребляемой воды и не может иметь отрицательную величину.

Поэтому для выбора адекватной модели методами математической статистики были подобраны степени при факторах, дающие высокие статистические оценки. В результате расчетов, получены: $P_{qn} = 0,5$, $P_z = 3$, $P_H = 1,5$ со следующими статистическими оценками: $R^2 = 0,797$; $P = 10,46$.

$$q(q_n, Z, H) = a_0 + a_1 q_n^{0,5} + a_2 Z^3 + a_3 H^{1,5}. \quad (4)$$

В результате соответствующих расчетов получены коэффициенты при уравнении (4): $a_0 = 120,96$; $a_1 = 26,45$; $a_2 = 0,576$; $a_3 = 0,175$.

Окончательно математическая зависимость, описывающая удельное среднесуточное водопотребление получила следующий вид:

$$q(q_n, Z, H) = 120,96 + 26,45q_n^{0,5} + 0,576Z^3 + 0,175H^{1,5}. \quad (5)$$

В настоящее время в больших городах система предоставления услуг водоснабжения и водоотведения, основанная на едином тарифе с одного человека в месяц при отсутствии поквартирных счетчиков не позволяет учитывать поведение потребителей, живущих в зданиях с разной степенью благоустройства. Наоборот, благодаря тесным родственным связям, обусловленным историческим укладом жизни, ко многим семьям в выходные и предпраздничные дни добавляются субпотребители воды из частных секторов города или из области. Эти потребители являются теми теньевыми потребителями, которые не участвуют в аналитическом учете использованной семьей воды, но потребляют значительное количество воды. В пересчете на одного «фиксированного» жителя удельное количество воды растет, этим и объясняется степенная зависимость Z в уравнении (5). Предложенная структурная модель (5) позволяет вычислить уровень водопотребления при изменении давления в водопроводной сети, величину ночного расхода, характеризующего непроизводительные утечки с учетом фактической заселенности квартир.

Выводы. В результате натурных экспериментальных исследований на реальных объектах г. Волгограда получена математическая зависимость, позволяющая прогнозировать удельное водопотребление в крупных городах с учетом основных факторов.

Проведенные исследования позволяют разработать так называемые эксплуатационные нормы водопотребления и отрегулировать схему установления тарифов на потребляемую воду, что должно привести к более рациональному ее использованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. М. : Стройиздат, 1985.
2. Юрко А.В., Москвичева Е.В. Практическое применение отходов переработки гальванических стоков в строительной промышленности // XII Регион. конф. молодых исследователей Волгоградской области : сб. науч. тр. Волгоград : ВолгГАСУ, 2007. С. 57—59.
1. SNiP 2.04.03—85. Kanalizaciya. Naruzhnie seti i sooruzheniya / Gosstroy SSSR. M. : Stroyizdat, 1985.
2. Yurko A.V., Moskvicheva E.V. Prakticheskoe primeneniye otchodov pererabotki galvanicheskikh stokov v stroitelnoy promishlennosti // XII Region. Konf. Molodych issledovateley Volgogradskoy oblasti : sb. nauch. tr. Volgograd : VolgGASU, 2007. S. 57—59.

© Москвичева Е.В., Комаров А.Ю., Романов В.А.,
Сахарова Н.А., Щелочкова А.А., 2010

Поступила в редакцию
в мае 2010 г.