

Интенсивность водопотребления в отдельных водоразборных точках системы внутреннего водоснабжения

Дмитрий Евгеньевич Поливанов, Алексей Александрович Семенов
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ);
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Применяемые расчетные методики для прогнозирования водопотребления на объектах капитального строительства при их проектировании используют в своей основе предположение о детерминированном характере элементарных расходов (т.е. расходов одним потребителем или водоразборным устройством), что значительно огрубляет расчетные методики и лишает возможности детального анализа режимов функционирования системы водоснабжения рассматриваемого объекта. Изучен характер изменчивости и оценка законов распределения значений элементарных расходов воды, возникающих при работе ряда наиболее распространенных типов водоразборных устройств.

Материалы и методы. С помощью датчиков получены статистические данные о расходе воды в трубопроводах холодного и горячего водоснабжения, подающих воду к наиболее распространенным типам водоразборных устройств за 27 дней. Сведения обработаны и проанализированы с помощью методов теории вероятностей и математической статистики. Обработка осуществлялась в разработанных авторами программах на языке C# и R, визуализация результатов в программе Microsoft Excel.

Результаты. Определены основные числовые характеристики значений элементарных расходов воды. Построены графики временного ряда, плотности распределения и функции распределения значений секундного расхода воды для характерных случаев. Установлен закон распределения и выполнен анализ характера изменчивости значений секундного расхода воды для различных типов водоразборных устройств, предложен вариант их классификации по данному признаку.

Выводы. Предложено разделение водоразборных устройств по характеру изменчивости значений секундного расхода воды на две группы: стохастические и условно детерминированные. Установлено, что значение элементарного расхода для первой группы водоразборных устройств подчиняется логнормальному распределению, а для второй является детерминированной величиной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: секундный расход воды, элементарный расход воды, интенсивность водопотребления, стохастическая природа, случайный характер, режим водопотребления, водоснабжение

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Поливанов Д.Е., Семенов А.А. Интенсивность водопотребления в отдельных водоразборных точках системы внутреннего водоснабжения // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 1. С. 94–104. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.94-104

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Евгеньевич Поливанов, dmitry_polivanov@mail.ru.

Intensity of water consumption in separate water collection points of internal water supply system

Dmitrii E. Polivanov, Alexey A. Semenov
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU);
Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The applied calculation methods for predicting water consumption at the objects of capital construction, when designing them, are based on the assumption of the deterministic character of elementary expenses (that is, expenses by one consumer or a water collecting device), which significantly coarsens the calculation methods and makes it impossible to analyze in detail the modes of operation of the water supply system of the considered object. The article is devoted to the study of the nature of variability and evaluation of distribution laws of elementary water consumption values arising during the operation of a number of the most common types of water-dispensing devices.

Materials and methods. In the course of the study, statistical data on water consumption in cold and hot water pipelines supplying water to the most common types of water collection devices for 27 days were obtained using sensors. The data were processed and analyzed using methods of probability theory and mathematical statistics. Data processing was performed in C# and R programmes developed by the author, and visualization of the results in Microsoft Excel.

Results. The main numerical characteristics of the values of elementary water flow rates are determined. Graphs of the time series, distribution density and distribution function of values of second water flow for typical cases are constructed. The distribution law is established and the analysis of the nature of the variability of the values of the second water flow for various types of water-dispensing devices is carried out, as well as a variant of their classification on this basis is proposed.

Conclusions. The division of water-dispensing devices according to the character of variability of values of the second water flow rate into two groups is proposed: stochastic and conditionally deterministic. It is established that the value of the elementary flow rate for the first group of water-dispensing devices obeys the lognormal distribution, and for the second group it is a deterministic value.

KEYWORDS: second water flow rate, elementary water flow rate, water consumption intensity, stochastic nature, random nature, mode of water consumption, water supply

FOR CITATION: Polivanov D.E., Semenov A.A. Intensity of water consumption in separate water collection points of internal water supply system. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(1):94-104. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.1.94-104 (rus.).

Corresponding author: Dmitrii E. Polivanov, dmitry_polivanov@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Удовлетворение базовых хозяйственно-питьевых нужд человека является одним из основных определяющих факторов благополучия и здоровья [1–3]. Поставка населению чистой воды в достаточном количестве невозможна без обеспечения устойчивой работы систем водоснабжения как целых населенных пунктов, так и их отдельных элементов (районов, округов, а также зданий и сооружений) [4].

Качество выполнения системой водоснабжения своих функций напрямую зависит от правильности технических решений, принятых при проектировании, например, таких как определение технических характеристик оборудования и трубопроводов.

Для систем водоснабжения одним из важнейших параметров, на базе которого проводятся дальнейшие расчеты и принимаются технические решения, служит расход воды [5–8].

В инженерной практике определение всех видов расхода воды (средние суточные, средние часовые, максимальные часовые и секундные, минимальные часовые¹ [9]) осуществляется при помощи расчетов, выполняемых на основании методик, изложенных в нормативных документах, таких как СП 30.13330.2020. В основе данных расчетных методик, как и традиционных моделей водопотребления, — детерминированные значения элементарных расходов (т.е. расходов одного потребителя, санитарно-технического прибора, водоразборной арматуры или бытового оборудования, установленных в одной точке)¹ [10–12].

Не лишенный ряда положительных сторон, такой подход относительно хорошо работал в прошлом, поскольку большая часть исследований проводилась только для оценки количественных показателей общего водопотребления. В ходе развития и усложнения систем водоснабжения для обеспечения их устойчивого, надежного и экономически эффективного функционирования стала приобретать все большее значение возможность разработки оптимальных подробных графиков водопотребления, которые могли бы более точно прогнозировать из-

менчивость расхода воды [11, 13–16]. Допущения о детерминированном характере элементарных расходов, с одной стороны, значительно упрощают выполнение расчетов и моделирование процесса водопотребления, с другой — сильно огрубляют модели систем водоснабжения и искажают результаты, полученные на их основе.

Многими авторами неоднократно подчеркивалась стохастическая природа изменчивости водопотребления [11, 17–20]. В работе [21] на основании данных выполненного натурного исследования автором также было наглядно продемонстрировано, что элементарный расход воды в трубопроводе системы холодного водоснабжения, вызванный работой смесителя кухонной мойки, является случайной величиной и подчиняется некоторому распределению.

Однако выявленное наличие ярко выраженного стохастического характера расхода воды через один определенный тип водоразборной арматуры (смеситель) в системе водоснабжения [21] еще не говорит о полной схожести всех элементарных расходов, вызванных работой санитарно-технических приборов, водоразборной арматуры и бытового оборудования (водоразборных устройств), а также случайной природой их возникновения. Таким образом, описание величины расхода воды, возникающего в трубопроводах систем внутреннего водоснабжения при использовании различных водоразборных устройств, требует дополнительного исследования.

Данная статья посвящена анализу характера изменчивости расхода воды для ряда наиболее распространенных типов водоразборных устройств (смесители кухонной мойки и ванны (душевой кабины), унитаза со смывным бачком, стиральная и посудомоечная машины), использующих воду из системы водоснабжения.

Цель исследования — выявление закономерностей распределения величины расхода воды, возникающего при эксплуатации водоразборных устройств, установленных в отдельных точках системы внутреннего водоснабжения зданий (элементарных расходов).

Объект исследования — наиболее распространенные типы водоразборных устройств.

Предметом исследования является расход воды водоразборными устройствами.

¹ СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий. 2020.

Задачи исследования:

- получение статистических данных о работе наиболее распространенных типов водоразборных устройств;
- построение графиков временных рядов секундных расходов воды;
- построение графиков плотности распределения и функции распределения секундного расхода воды;
- определение оценок основных числовых характеристик значений секундного расхода воды на основании эмпирических данных;
- классификация водоразборных устройств по характеру изменчивости значений секундного расхода воды в процессе эксплуатации;
- выявление закономерностей режимов водопотребления различными типами водоразборных устройств (оценка законов распределения значений секундного расхода воды различными типами водоразборных устройств).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При выполнении исследования были получены сведения о расходе воды в трубопроводах холодного и горячего водоснабжения, подающих воду к наиболее распространенным типам водоразборных устройств, среди которых:

- 1) смеситель на кухонной мойке;
- 2) смеситель ванны (душевой кабины);
- 3) унитаз со смывным бачком;
- 4) стиральная машина;
- 5) посудомоечная машина.

Статистические данные получены автоматизированным способом при помощи системы, состоящей из датчика расхода и программируемого микроконтроллера, которая позволяет ежесекундно регистрировать показания датчика, обрабатывать их, записывать во внутреннюю память и передавать пользователю для дальнейшей обработки и изучения. Передача данных пользователю выполнялась в удобном для восприятия, обработки и последующего анализа виде (текстовый файл) и обеспечивалась посредством сети интернет. Подробное описание состава системы регистрации и передачи данных о расходе воды в трубопроводе и принципиальной схемы ее работы представлено в трудах [21, 22]. Визуальный контроль правильности передаваемых микроконтроллером сведений в процессе исследования производился по счетчику воды, являющемуся поверенным средством измерения, что гарантирует отсутствие отклонений при измерениях, которые могли бы возникнуть при сбое в работе микроконтроллера.

Длительность эксперимента (проводимого исследования) составила 27 дней (период с 05.06.2023 по 01.07.2023 г. включительно).

Изучение режима работы наиболее распространенных типов водоразборных устройств осуществлено в следующих условиях:

- назначение здания — жилое;
- место расположения водоразборных устройств — квартира;
- типы смесителей — рычажные (набортный и настенный с душевой сеткой на гибком шланге);
- количество потребителей — 2 человека;
- места установки датчиков — трубопроводы систем холодного и горячего водоснабжения непосредственно перед подключением к каждой из исследуемых водоразборных точек.

Для обработки и анализа полученных данных использовались методы теории вероятностей и математической статистики. Обработка информации, а также оценка параметров распределений значений случайной величины секундного расхода воды и проверка статистических гипотез о виде теоретического закона распределения проводились в разработанных авторами программах на языках C# и R. Визуализация результатов исследования (построение графиков) — с помощью программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общее количество измерений, выполненных в ходе эксперимента, в сумме составило 78 313 для всех водоразборных точек. Наблюдение осуществлялось круглосуточно. Фиксация показаний выполнялась ежесекундно. Распределение количества измерений между водоразборными устройствами является случайной величиной и определяется временем работы конкретного устройства в рассматриваемый период. Сведения о количестве измерений, выполненных каждым датчиком расхода воды, приведены в табл. 1.

На основании полученных данных построены графики временных рядов для всех типов рассматриваемых водоразборных устройств. При построении графиков периоды времени, когда расход воды в трубопроводе отсутствовал или режим водопотребления был неустановившимся, были исключены.

На рис. 1 показаны графики временных рядов секундного расхода воды в трубопроводе ХВС перед смесителем ванны (душевой кабины) и поплавковым клапаном смывного бачка унитаза.

По обработанным данным измерений также были построены графики эмпирической плотности вероятности и эмпирической функции распределения значений секундного расхода воды для тех же точек системы водоснабжения (рис. 2). Количество интервалов для построения графиков и гистограмм определено по правилу Стерджеса.

Как видно из представленных графиков (рис. 1, 2), секундный расход воды смесителем ванны имеет ярко выраженное распределение в широком диапазоне значений (подавляющее большинство значений, а именно 97,6 %, попадает в диапазон 0–0,078 л/с), и однозначно можно утверждать, что

Табл. 1. Количество выполненных измерений для каждого из установленных датчиков

Table 1. The number of measurements performed for each of the installed sensors

Система внутреннего водоснабжения Internal water supply system	Водоразборное устройство Water collecting device	Количество выполненных измерений за рассматриваемый период The number of measurements performed during the period under review
Холодное водоснабжение (ХВС) CWSS	Смеситель кухонной мойки Kitchen sink mixer	6065
Горячее водоснабжение (ГВС) HWSS	Смеситель кухонной мойки Kitchen sink mixer	5135
ХВС CWSS	Смеситель ванны Bath mixer	14 380
ГВС HWSS	Смеситель ванны Bath mixer	20 849
ХВС CWSS	Смывной бачок унитаза Toilet flush tank	25 053
ХВС CWSS	Посудомоечная машина Dishwasher	3611
ХВС CWSS	Стиральная машина Washing machine	3220

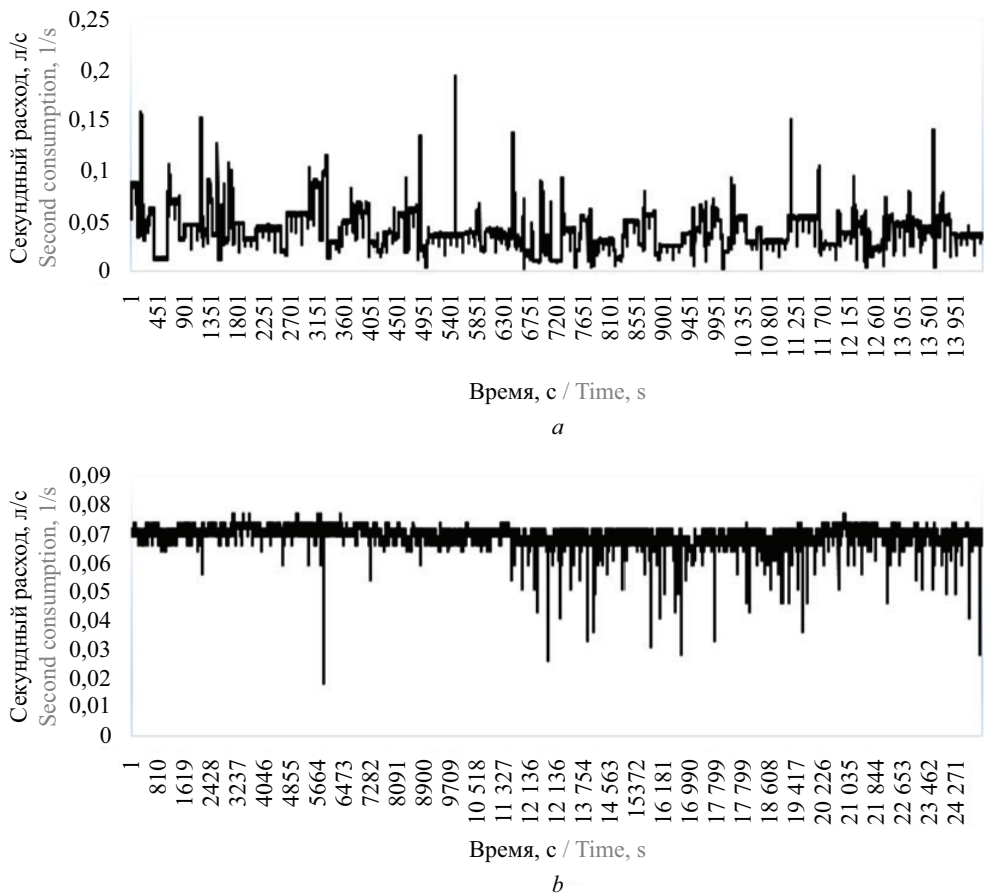


Рис. 1. Временной ряд значений секундного расхода воды в трубопроводе холодного водоснабжения: а — перед смесителем ванны; б — перед поплавковым клапаном смывного бачка унитаза

Fig. 1. Time series of values of the second water flow in the cold water pipeline: а — in front of the bath mixer; б — in front of the float valve of the toilet flush tank

он не является детерминированной величиной. Секундный расход воды в трубопроводе, подключенном к поплавковому клапану смывного бачка унитаза, также не принимает какое-либо определенное значение. Однако диапазон изменения значений секундного расхода воды в данном случае достаточно мал по своей величине (подавляющее большинство значений, а именно 98,5 %, попадает в диапазон

0,065–0,075 л/с). Количество значений секундного расхода, не попадающих в указанный диапазон, ничтожно мало.

Основной причиной изменчивости секундного расхода воды в случае со смесителем ванны, как и в случае, описанном в работе [21] для смесителя кухонной мойки, служит степень открытия смесителя, которая, в свою очередь, определяется психофизиологической

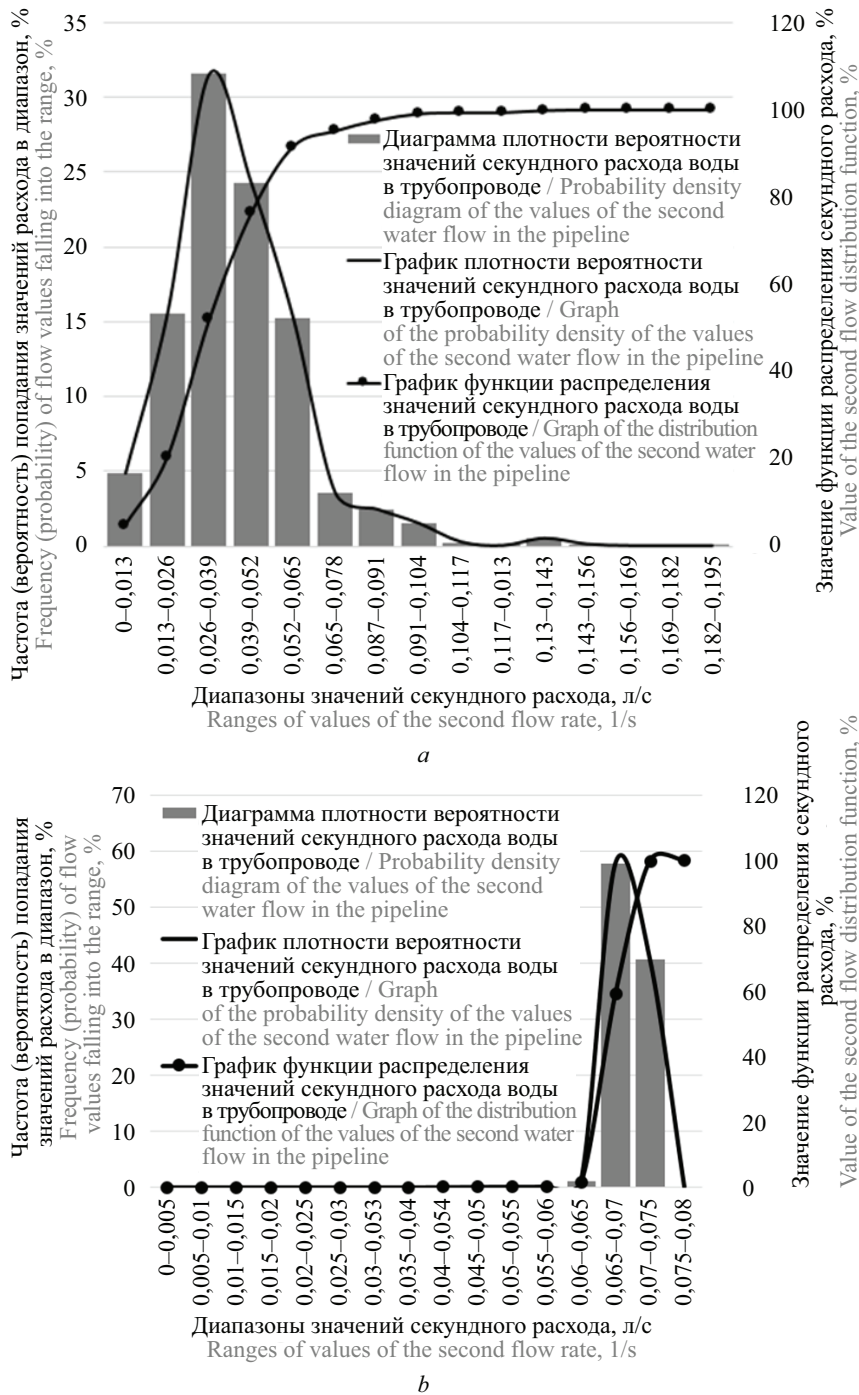


Рис. 2. Графики эмпирической плотности вероятности и эмпирической функции распределения значений секундного расхода воды в трубопроводе холодного водоснабжения: а — перед смесителем ванны; б — перед поплавковым клапаном смывного бачка унитаза

Fig. 2. Graphs of empirical probability density and the empirical distribution function of the values of the second water flow in the cold water pipeline: a — in front of the bath mixer; b — in front of the float valve of the toilet flush tank

потребностью в воде конкретного пользователя в конкретный момент времени. В случае со смывным бачком унитаза при обычной эксплуатации влияние пользователя (т.е. человека) на степень его открытия отсутствует и колебания значений расхода вероятнее всего связаны с изменением давления во внутренних сетях водоснабжения. Соответственно, при относительно стабильной работе системы водоснабжения (отсутствии скачков и падений давления в широких диапазонах) и значения расхода будут относительно стабильны.

Рассмотренная пара датчиков наглядно демонстрирует наблюдаемую в ходе эксперимента принципиальную разницу в режимах водопотребления различными водоразборными устройствами. Также выявлено, что аналогичные закономерности характерны и для остальных водоразборных устройств. Эти закономерности хорошо прослеживаются и при анализе несмещенных оценок основных числовых характеристик значений секундного расхода воды для каждого

водоразборного устройства, полученных при анализе эмпирических данных и приведенных в табл. 2.

При анализе представленных основных числовых характеристик значений секундного расхода воды в трубопроводах холодного и горячего водоснабжения по характеру их изменчивости можно выделить две группы:

- первая — смесители кухонной мойки и ванны (душевой кабины);
- вторая — смывной бачок унитаза, посудомоечная машина и стиральная машина.

Для первой группы коэффициент вариации составил 0,475–0,712, что говорит о сильной изменчивости значений секундного расхода относительно математического ожидания. Для второй группы этот показатель составил 0,036–0,155 и, напротив, указывает на то, что среднеквадратичное отклонение по отношению к математическому ожиданию достаточно мало.

Стоит также отметить, что для выделенных

Табл. 2. Основные числовые характеристики значений секундного расхода воды
Table 2. The main numerical characteristics of the values of the second water flow

Показатель Indicator	Место установки датчика расхода воды (система внутреннего водоснабжения и водоразборное устройство) Installation location of the water flow sensor (internal water supply system and water collecting device)						
	XBC CWSS	ГВС HWSS	XBC CWSS	ГВС HWSS	XBC CWSS	XBC CWSS	XBC CWSS
	смеситель кухонной мойки kitchen sink mixer	смеситель кухонной мойки kitchen sink mixer	смеситель ванны bath mixer	смеситель ванны bath mixer	смывной бачок унитаза toilet flush tank	посудомоечная машина dishwasher	стиральная машина washing machine
Количество выполненных измерений Number of measurements performed	6065	5135	14 380	20 849	25 053	3611	3220
Оценка математического ожидания $\hat{m}_{q0}$, л/с Estimation of mathematical expectation $\hat{m}_{q0}$, l/s	0,044	0,033	0,041	0,065	0,070	0,050	0,130
Оценка дисперсии $\hat{D}_{q0}$, (л/с) ² Estimation of variance $\hat{D}_{q0}$, (l/s) ²	0,000859	0,000556	0,000388	0,001570	0,000006	0,000059	0,000093
Оценка среднеквадратичного отклонения $\hat{\sigma}_{q0}$, л/с Estimation of the standard deviation $\hat{\sigma}_{q0}$, l/s	0,029	0,024	0,020	0,040	0,003	0,008	0,010
Оценка коэффициента вариации $\hat{C}_v$ Estimation of the coefficient of variation $\hat{C}_v$	0,660	0,712	0,475	0,612	0,036	0,155	0,074

групп водоразборных устройств характерны описанные выше признаки зависимости от влияния на значения их расхода непосредственного пользователя в конкретный момент времени.

Гипотеза о теоретическом законе распределения величины секундного расхода воды была выдвинута автором на основании анализа графиков плотности и функции распределения, построенных по эмпирическим данным, и оценок основных числовых характеристик эмпирических выборок. При выдвижении гипотезы о виде распределения также принимался во внимание ряд работ других авторов [13, 18, 23, 24]. Расчет параметров теоретического закона распределения выполнен методом моментов. При проверке статистических гипотез о теоретическом законе распределения уровень значимости принят $\alpha = 0,05$.

Гипотеза о принадлежности эмпирических выборок нормальному закону распределения была отвергнута на основании рассчитанного критерия Шапиро – Уилка.

Дальнейшая проверка статистических гипотез о принадлежности рассматриваемых эмпирических выборок некоторому теоретическому закону распределения осуществлялась на основании рассчитанного критерия Колмогорова [25]. Статистика критерия определяется по формуле:

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|,$$

где D_n — статистика критерия; $F_n(x)$ и $F(x)$ — эмпирическая и теоретическая функции распределения соответственно.

Расчет уровня значимости и статистики критерия выполнен в разработанной автором программе на языке R с помощью функции «ks.test» из пакета «stats». Результаты показали, что при принятом уровне значимости нет оснований отвергать гипотезу о логнормальном распределении ($X \sim \text{LgN}(\mu, \sigma^2)$) значений секундного расхода воды для трубопроводов холодного и горячего водоснабжения, подающих воду к смесителям кухон-

ной мойки и ванны (душевой кабины). Плотность распределения значений расхода в данном случае будет описываться следующим законом:

$$f(x) = \frac{1}{x\tilde{\sigma}\sqrt{2\tilde{A}}} e^{\frac{-(\ln(x)-\mu)^2}{2\tilde{A}^2}},$$

где μ и σ — параметры логнормального распределения, $x > 0$, $\sigma > 0$, $\mu \in R$.

Параметры логнормального распределения, рассчитанные для значений секундного расхода воды смесителями кухонной мойки и ванны (душевой кабины), представлены в табл. 3.

При оценке среднеквадратичного отклонения эмпирической выборки значений секундного расхода воды для таких типов водоразборных устройств, как смывной бачок унитаза, посудомоечная машина и стиральная машина, было установлено, что оно имеет малую величину по отношению к среднему выборочному (коэффициент вариации для разных выборок приведен в табл. 2). Поэтому авторы считают, что при моделировании процесса водопотребления целесообразно принимать значение секундного расхода воды данными типами водоразборных устройств детерминированным и определять по результатам исследований или по паспортным данным конкретного устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе выполненного исследования получены подробные статистические данные о секундном расходе воды в трубопроводах внутренних сетей холодного и горячего водоснабжения в местах их подключения к различным типам водоразборных устройств. На основании полученных сведений построены графики временного ряда, эмпирической плотности распределения и эмпирической функции распределения значений секундного расхода воды и рассчитаны их основные числовые характеристики для каждого исследованного типа водоразборных устройств.

Табл. 3. Параметры логнормального распределения значений секундного расхода воды смесителями кухонной мойки и ванны (душевой кабины)

Table 3. Parameters of the lognormal distribution of the values of the second water flow by kitchen sink and bath faucets (shower cabin)

Наименование водоразборного устройства Name of the water collecting device	Вид системы водоснабжения Type of water supply system	Параметр логнормального распределения Parameter of the lognormal distribution	
		μ	σ
Смеситель кухонной мойки Kitchen sink mixer	XBC CWSS	-3,30	0,60
Смеситель кухонной мойки Kitchen sink mixer	ГBC HWSS	-3,61	0,64
Смеситель ванны Bath mixer	XBC CWSS	-3,29	0,45
Смеситель ванны Bath mixer	ГBC HWSS	-2,90	0,56

На основании анализа имеющихся данных и графиков, а также выполненной проверки статистических гипотез о теоретическом законе распределения с уровнем значимости $\alpha = 0,05$, можно сделать следующие выводы:

- для каждого типа водоразборного устройства распределение значений секундного расхода воды является индивидуальным, но в то же самое время ряд устройств, обладающих схожими признаками, можно разделить на две большие группы:

1) со случайным характером расхода воды (стохастические), такие как смесители, значение секундного расхода воды в которых определяется во многом непосредственным пользователем и его психофизиологическими потребностями;

2) с относительно постоянным характером расхода воды (условно детерминированные), такие как смывной бачок унитаза, стиральная машина и посудомоечная машина, значение секундного расхода воды в которых определяется в основном техническими характеристиками конкретного типа

водоразборного устройства, а также характеристиками системы водоснабжения, к которой выполнено их подключение;

- для значений секундного расхода воды смесителями кухонной мойки и ванны нет оснований отвергать гипотезы о логнормальном теоретическом законе распределения с параметрами: $\mu = -3,30$ и $\sigma = 0,60$ для секундного расхода холодной воды смесителем кухонной мойки, $\mu = -3,61$ и $\sigma = 0,64$ для секундного расхода горячей воды смесителем кухонной мойки, $\mu = -3,29$ и $\sigma = 0,45$ для секундного расхода холодной воды смесителем ванны (душевой кабины), $\mu = -2,90$ и $\sigma = 0,56$ для секундного расхода горячей воды смесителем ванны (душевой кабины);

- значение секундного расхода воды такими типами водоразборных устройств, как смывной бачок унитаза, посудомоечная машина и стиральная машина, при моделировании процесса водопотребления целесообразно считать детерминированным и определять по результатам исследований или по паспортным данным конкретного устройства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Duan H.-F., Pan B., Wang M., Chen L., Zheng F., Zhang Y. State-of-the-art review on the transient flow modeling and utilization for urban water supply system (UWSS) management // *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2020. Vol. 69. Issue 8. Pp. 858–893. DOI: 10.2166/aqua.2020.048

2. Nguyễn Tuấn A., Nguyễn Minh K., Nguyễn Ninh H. Risk assessment and management in domestic water supply system in Pleiku city — Gia Lai province // *Journal of Science and Technology Issue on Information and Communications Technology*. 2019. Vol. 17. Issue 6. P. 50. DOI: 10.31130/JST-UD2018-366

3. Teichmann M., Kuta D., Endel S., Szeligova N. Modeling and optimization of the drinking water supply network — a system case study from the Czech Republic // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Issue 23. P. 9984. DOI: 10.3390/su12239984

4. Пуньрев Е.И., Примин О.Г. Методическое обеспечение разработки схем централизованных систем водоснабжения и водоотведения // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2013. № 5 (65). С. 4–8. EDN QAPKJT.

5. Исаев В.Н., Мхитарян М.Г. Анализ методик определения расходов во внутреннем водопроводе // *Санитарная техника*. 2003. № 5. С. 6–11.

6. Карамбиров С.Н., Бекишева Л.Б. О некоторых статистических закономерностях водопотребления в системах водоснабжения // *Природообустройство*. 2012. № 4. С. 45–48. EDN PEXIUT.

7. Сайриддинов С.Ш. Об особенностях расчета водопотребления при проектировании систем водоснабжения высотных зданий // *Градостроительство*

и архитектура. 2020. Т. 10. № 2 (39). С. 29–35. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.5. EDN AWRMPJ.

8. Moughton L.J., Buchberger S.G., Boccelli D.L., Filion Y.R., Karney B.W. Effect of time step and data aggregation on cross correlation of residential demands // *Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*. 2008. DOI: 10.1061/40941(247)42

9. Добромислов А.Я., Вербицкий А.С., Лякмунд А.Л. Пособие по определению расчетных расходов воды в системах водоснабжения и канализации зданий и микрорайонов. М. : ОАО «СантехНИИ-проект», 2007.

10. Шопенский Л.А. Исследование режимов работы водопроводов жилых зданий : автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 1968. 34 с.

11. Vertommen I., Magini R., da Conceicao Cunha M., Guercio R. Water demand uncertainty: the scaling laws approach // *Water Supply System Analysis — Selected Topics*. 2012. DOI: 10.5772/51542

12. Morley M., van Thienen P., Vertommen I., Torello M. VlinderNET — a tool for probabilistic hydraulic water distribution modelling and visualization // *EGU General Assembly 2023*. 2023. DOI: 10.5194/egusphere-egu23-17062

13. Mazzoni F., Alvisi S., Franchini M., Blokker M. Exploiting high-resolution data to investigate the characteristics of water consumption at the end-use level: A Dutch case study // *Water Resources and Industry*. 2023. Vol. 29. P. 100198. DOI: 10.1016/j.wri.2022.100198

14. Mazzoni F., Alvisi S., Blokker M., Buchberger S.G., Castelletti A., Cominola A. et al. Investigating the characteristics of residential end uses of water : a worldwide review // *Water Research*. 2023. Vol. 230. P. 119500. DOI: 10.1016/j.watres.2022.119500

15. Makki A.A., Stewart R.A., Beal C.D., Panuwatwanich K. Novel bottom-up urban water demand forecasting model: Revealing the determinants, drivers and predictors of residential indoor end-use consumption // *Resources, Conservation and Recycling*. 2015. Vol. 95. Pp. 15–37. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.009

16. Mazzoni F., Blokker E.J.M., Alvisi S., Franchini M. Evaluating residential water consumption at high spatio-temporal level of detail: a Dutch case study // *EGU General Assembly 2022*. 2022. DOI: 10.5194/egu-sphere-egu22-5700

17. Новицкий Н.Н., Вантеева О.В. Моделирование стохастики потокораспределения в гидравлических цепях // *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2011. № 2. С. 122–131. EDN NHLFNZ.

18. Buchberger S.G., Wu L. Model for instantaneous residential water demands // *Journal of Hydraulic Engineering*. 1995. Vol. 121. Issue 3. Pp. 232–246. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:3(232)

19. Gargano R., Tricarico C., del Giudice G., Granata F. A stochastic model for daily residential water demand // *Water Supply*. 2016. Vol. 16. Issue 6. Pp. 1753–1767. DOI: 10.2166/ws.2016.102

20. Alvisi S., Franchini M., Marinelli A. A stochastic model for representing drinking water demand at

residential level // *Water Resources Management*. 2003. Vol. 17. Pp. 197–222. DOI: 10.1023/A:1024100518186

21. Поливанов Д.Е., Семенов А.А. Исследование режима отбора воды смесителем из системы водоснабжения // *Известия КГАСУ*. 2023. № 2 (64). С. 60–69. DOI: 10.52409/20731523_2023_2_60. EDN ZAEWGC.

22. Поливанов Д.Е., Семенов А.А. BIM-технологии с элементами программирования при анализе режимов работы внутренних сетей водоснабжения зданий // *ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат. VI Международный. науч.-практ. конф.* 2023. С. 81–91. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.012. EDN YDMHWF.

23. Blokker E., Vreeburg J. Monte Carlo simulation of residential water demand: A stochastic end-use model // *Impacts of Global Climate Change*. 2005. DOI: 10.1061/40792(173)34

24. Blokker E.J.M. Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks. *Water Management Academic Press Delft, The Netherlands*, 2010.

25. Колмогоров А.Н. Теория вероятностей и математическая статистика : сб. статей. М. : Наука, 1986. 534 с.

Поступила в редакцию 18 сентября 2023 г.

Принята в доработанном виде 15 ноября 2023 г.

Одобрена для публикации 15 ноября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Дмитрий Евгеньевич Поливанов — аспирант кафедры информационных систем и технологий; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4; РИНЦ ID: 1164703, ORCID: 0000-0002-4215-1208; dmitry_polivanov@mail.ru;

Алексей Александрович Семенов — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4; РИНЦ ID: 648893, Scopus: 56460436800, ResearcherID: N-1075-2013, ORCID: 0000-0001-9490-7364; sw.semenov@gmail.com.

Вклад авторов:

Поливанов Д.Е. — идея исследования, разработка методики получения, сбор и анализ данных, написание исходного текста, итоговые выводы.

Семенов А.А. — научное руководство, доработка текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Duan H.-F., Pan B., Wang M., Chen L., Zheng F., Zhang Y. State-of-the-art review on the transient flow modeling and utilization for urban water supply system (UWSS) management. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2020; 69(8):858–893. DOI: 10.2166/aqua.2020.048

2. Nguyễn Tuấn A., Nguyễn Minh K., Nguyễn Ninh H. Risk assessment and management in domestic water supply system in Pleiku city — Gia Lai province.

Journal of Science and Technology Issue on Information and Communications Technology. 2019; 17(6):50. DOI: 10.31130/JST-UD2018-366

3. Teichmann M., Kuta D., Endel S., Szeligova N. Modeling and Optimization of the drinking water supply network — a system case study from the Czech Republic. *Sustainability*. 2020; 12(23):9984. DOI: 10.3390/su12239984

4. Pupyrev E.I., Primin O.G. Methodological support for the development of schemes of centralized water supply and sanitation systems. *Water Treatment. Water Supply*. 2013; 5(65):4-8. EDN QAPKJT. (rus.).
5. Isaev V.N., Mkhitaran M.G. Analysis of methods for determining expenses in internal water supply. *Plumbing*. 2003; 5:6-11. (rus.).
6. Karambirov S.N., Bekisheva L.B. About some statistical regularities of water consumption in water supply systems. *Environmental Management*. 2012; 4:45-48. EDN PEXIUT. (rus.).
7. Sayriddinov S.Sh. About features of water consumption calculation when designing water supply systems of high-rise buildings. *Urban Construction and Architecture*. 2020; 10(2):29-35. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.5. EDN AWRMPJ.
8. Moughton L.J., Buchberger S.G., Boccelli D.L., Filion Y.R., Karney B.W. Effect of time step and data aggregation on cross correlation of residential demands. *Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*. 2008. DOI: 10.1061/40941(247)42
9. Dobromyslov A.Ya., Verbitsky A.S., Lyakmund A.L. *Manual for determining the estimated water consumption in water supply and sewerage systems of buildings and microdistricts*. Moscow, OAO "SantehNII-proekt" Publ., 2007. (rus.).
10. Chopensky L.A. *Investigation of the modes of operation of water pipes of residential buildings : abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences*. Moscow, 1968; 34. (rus.).
11. Vertommen I., Magini R., da Conceicao Cunha M., Guercio R. Water demand uncertainty: the scaling laws approach. *Water Supply System Analysis — Selected Topics*. 2012. DOI: 10.5772/51542
12. Morley M., van Thienen P., Vertommen I., Torello M. VlinderNET — a tool for probabilistic hydraulic water distribution modelling and visualization. *EGU General Assembly 2023*. 2023. DOI: 10.5194/egusphere-egu23-17062
13. Mazzoni F., Alvisi S., Franchini M., Blokker M. Exploiting high-resolution data to investigate the characteristics of water consumption at the end-use level: A Dutch case study. *Water Resources and Industry*. 2023; 29:100198. DOI: 10.1016/j.wri.2022.100198
14. Mazzoni F., Alvisi S., Blokker M., Buchberger S.G., Castelletti A., Cominola A. et al. Investigating the characteristics of residential end uses of water : a world-wide review. *Water Research*. 2023; 230:119500. DOI: 10.1016/j.watres.2022.119500
15. Makki A.A., Stewart R.A., Beal C.D., Panuwatwanich K. Novel bottom-up urban water demand forecasting model: Revealing the determinants, drivers and predictors of residential indoor end-use consumption. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015; 95:15-37. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.009
16. Mazzoni F., Blokker E.J.M., Alvisi S., Franchini M. Evaluating residential water consumption at high spatio-temporal level of detail: a Dutch case study. *EGU General Assembly 2022*. 2022. DOI: 10.5194/egusphere-egu22-5700
17. Novitsky N.N., Vanteeva O.V. Stochastic modeling of flow distribution in hydraulic circuit. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*. 2011; 2:122-131. EDN NHLFNZ. (rus.).
18. Buchberger S.G., Wu L. Model for instantaneous residential water demands. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1995; 121(3):232-246. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:3(232)
19. Gargano R., Tricarico C., del Giudice G., Granata F. A stochastic model for daily residential water demand. *Water Supply*. 2016; 16(6):1753-1767. DOI: 10.2166/ws.2016.102
20. Alvisi S., Franchini M., Marinelli A. A stochastic model for representing drinking water demand at residential level. *Water Resources Management*. 2003; 17:197-222. DOI: 10.1023/A:1024100518186
21. Polivanov D.E., Semenov A.A. Investigation of the mode of water extraction by a mixer from the water supply system. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2023; 2(64):60-69. DOI: 10.52409/20731523_2023_2_60. EDN ZAEWGC. (rus.).
22. Polivanov D.E., Semenov A.A. BIM technologies with programming elements in the analysis of operating modes of internal water supply networks of buildings. *BIM-modeling in construction and architecture tasks*. 2023; 81-91. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.012. EDN YDMHWF. (rus.).
23. Blokker E., Vreeburg J. Monte Carlo simulation of residential water demand: A stochastic end-use model. *Impacts of Global Climate Change*. 2005. DOI: 10.1061/40792(173)34
24. Blokker E.J.M. *Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks*. Water Management Academic Press Delft, The Netherlands, 2010.
25. Kolmogorov A.N. *Probability theory and mathematical statistics : collection of articles*. Moscow, Nauka Publ., 1986; 534. (rus.).

Received September 18, 2023.

Adopted in revised form on November 15, 2023.

Approved for publication on November 15, 2023.

B I O N O T E S : **Dmitrii E. Polivanov** — postgraduate student of the Department of Information Systems and Technologies; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RSCI: 1164703, ORCID: 0000-0002-4215-1208; dmitry_polivanov@mail.ru;

Alexey A. Semenov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; ID RSCI: 648893, Scopus: 56460436800, ResearcherID: N-1075-2013, ORCID: 0000-0001-9490-7364; sw.semenov@gmail.com.

Contribution of the authors:

Dmitrii E. Polivanov — the idea of research, the development of methods for obtaining data, data collection and analysis, writing the source text, final conclusions.

Alexey A. Semenov — scientific guidance, revision of the text.

The authors declare that there is no conflict of interest.