



УДК: 628.171.001.24
DOI: 10.52409/20731523_2023_2_60
EDN: ZAEWGC

Исследование режима отбора воды смесителем из системы водоснабжения

Д.Е. Поливанов¹, А.А. Семенов¹

¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Применяемые в настоящее время детерминированные модели и методы расчета расходов воды в системах водоснабжения, и прогнозирования их распределения по трубопроводной сети не вполне точно отражают стохастический характер водопотребления, фактически определяющий режим функционирования реальной системы водоснабжения. Одним из основных факторов, определяющих формирование и изменение во времени расходов воды, подаваемой на хозяйственно-питьевые нужды и транспортируемой по трубопроводам систем водоснабжения, является режим функционирования водоразборной арматуры и/или оборудования. Целью работы является исследование режима функционирования смесителя, установленного в конкретной точке системы водоснабжения. Задачами исследования являются: получение статистических данных о работе водоразборной арматуры (смесителя) за определенный промежуток времени; обработка полученных данных и сравнение эмпирических результатов с расчетными (теоретическими); построение графика временного ряда, графика плотности распределения и графика функции распределения секундного расхода воды смесителем; выбор теоретического закона распределения величины секундного расхода воды смесителем на основе имеющихся данных.

Результаты. В работе представлены результаты исследования режима отбора воды смесителем из системы водоснабжения. В виде графиков наглядно показано, что режим функционирования смесителя не может быть охарактеризован конкретным значением и подчиняется некоторому распределению, которое в первом приближении (по форме и основным числовым характеристикам) может быть определено, как распределение Вейбулла. Приведено сравнение эмпирических значений секундных расходов воды смесителем с их расчетными (теоретическими) аналогами и показано, что разница составляет от 44,4% до 95,6%.

Выводы. Значимость результатов, полученных в ходе выполнения данного исследования состоит в наглядной демонстрации несовершенства имеющихся расчетных методик, обосновании необходимости проведения исследований в данной области, а также развитии и совершенствовании математических моделей систем водоснабжения.

Ключевые слова: водоразборная арматура, система водоснабжения, режим функционирования, расчетный расход, секундный расход, часовой расход, датчик расхода воды.

Для цитирования: 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

Investigation of the mode of water extraction by a mixer from the water supply system

D.E. Polivanov¹, A.A. Semenov¹

¹Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Currently used deterministic models and methods for calculating water consumption in water supply systems and forecasting their distribution through the pipeline network do not accurately reflect the stochastic nature of water consumption, which actually determines the mode of operation of a real water supply system. One of the main factors determining the formation and change in time of water consumption supplied for household and drinking needs and transported through pipelines of water supply systems is the mode of operation of water sampling valves and/or equipment. The purpose of the work is to study the operating mode of the mixer installed at a specific point of the water supply system. The objectives of the study are obtaining statistical data on the operation of the water intake valve (mixer) for a certain period of time; processing the data obtained and comparing empirical results with calculated (theoretical); plotting a time series graph, a distribution density graph and a graph of the distribution function of the second water flow by the mixer; selection of the theoretical law of the distribution of the value of the second water flow by the mixer based on the available data.

Results. The paper presents the results of a study of the mode of water extraction by a mixer from the water supply system. In the form of graphs, it is clearly shown that the operating mode of the mixer cannot be characterized by a specific value and is subject to a certain distribution, which in the first approximation (in form and basic numerical characteristics) can be defined as a Weibull distribution. The comparison of the empirical values of the second water flow by the mixer with their calculated (theoretical) analogues is given and it is shown that the difference ranges from 44,4% to 95,6%.

Conclusions. The significance of the results obtained during the implementation of this study consists in a visual demonstration of the imperfection of the available calculation methods, justification of the need for research in this area, as well as the development and improvement of mathematical models of water supply systems.

Keywords: water-collecting valves, water supply system, operating mode, calculated flow rate, second flow rate, hourly flow rate, water flow sensor.

For citation: Polivanov D.E., Semenov A.A. Investigation of the mode of water extraction by a mixer from a water supply system // News KSUAE 2023 No. 2 (64), p. 60-69, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_60, EDN: ZAEWGC

1. Введение

Системы инженерно-технического обеспечения являются неотъемлемой частью любого объекта капитального строительства. Без них, в соответствии с действующими нормативными правовыми актами и нормативно-техническими документами, невозможно обеспечить безопасную эксплуатацию объекта. Системы водоснабжения, предназначенные для подачи воды, используемой в том числе для удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд потребителей, не являются исключением [1–4].

Качество выполнения системой водоснабжения своих функций, бесперебойность и безаварийность ее работы, а также экономическая эффективность материальных вложений на ее строительство и эксплуатацию напрямую зависят от правильности решений, принятых на стадии разработки проектной и рабочей документации.

При проектировании систем водоснабжения одним из основных параметров, на основании которого принимаются технические решения, является расчетный расход воды, непосредственно влияющий в том числе на энергозатраты в системах

водоснабжения при их эксплуатации и даже качество подаваемой потребителям воды [5,6].

Существуют различные разновидности расчетных расходов (расчетные средние суточные расходы, расчетные максимальные суточные, расчетные максимальные часовые расходы, расчетные средние часовые расходы, расчетные минимальные часовые расходы, расчетные максимальные секундные расходы и т.д. [7]), однако основными, которые следует использовать, в соответствии с действующим сводом правил СП 30.13330.2020, при гидравлическом расчете системы водоснабжения, расчете производительности насосных установок, расчете объемов запасных и регулирующих емкостей и проверке предварительно принятых диаметров приборов учета водопотребления являются максимальные расчетные часовые расходы воды, минимальные расчетные часовые расходы воды и максимальные расчетные секундные расходы воды.

Прогнозирование данных типов расходов и их распределения по трубопроводной сети представляет собой наиболее сложную [8,9], но в то же время базовую задачу, решение которой выполняется с использованием детерминированных моделей и методов [10,11].

В действующей нормативной документации расчет максимального секундного и максимального часового расхода выполняется аналитически по методике, которая была разработана Л.А. Шопенским [12]. Хотя при разработке данной методики Л.А. Шопенским и использовался вероятностный подход, методика включает в себя ряд факторов, имеющих детерминированные значения, которые были определены при выполнении им исследований в шестидесятых годах XX века и частично уточнялись при актуализации норм проектирования [12–14].

Фактический же режим работы систем водоснабжения представляет собой случайный процесс, обусловленный в основном стохастическим характером потребления воды [15–17]. Данный процесс также характеризуется низкой степенью повторяемости его отдельных реализаций. Таким образом гарантировать соблюдение расчетного режима на практике можно лишь с определенной вероятностью, а применение детерминированных методов расчета или не вполне обоснованное введение в расчеты детерминированных факторов лишает возможности оценки вероятности нарушения расчетного режима (обеспеченности), а также анализа фактических режимов функционирования системы водоснабжения, в силу своей однозначности [18,19].

Расчетный максимальный секундный расход воды как в системе водоснабжения в целом, так и в отдельных ответвлениях трубопроводов может быть определен как сумма расходов воды отдельными водоразборными точками (смесителями, посудомоечными и стиральными машинами, смывными бачками унитазов и т.д.) работающими одновременно. Таким образом, расход воды водоразборной арматурой и/или оборудованием, а также периодичность их использования являются основными факторами, определяющими общий расход в системе водоснабжения или ее отдельном ответвлении. Использование детерминированных значений при выполнении расчетов в данном случае может значительно исказить их результат, поскольку расход воды в конкретной точке системы водоснабжения, кроме того, что зависит от типа установленной водоразборной арматуры и/или оборудования и давления воды перед ними, также, в некоторых случаях, является случайной величиной, значение которой определяется в том числе и психофизиологическими потребностями непосредственного потребителя воды (человека) [16].

Данная статья посвящена рассмотрению работы отдельной водоразборной точки в системе водоснабжения, в которой установлен один смеситель, обоснованию методики получения данных о ее работе и анализу режима ее функционирования.

Целью работы является исследование режима функционирования смесителя, установленного в конкретной точке системы водоснабжения.

Объектом исследования является водоразборная точка (смеситель).

Предметом исследования является режим отбора воды смесителем из системы холодного водоснабжения.

Задачами исследования являются:

- получение статистических данных о работе водоразборной арматуры (смесителя) за определенный промежуток времени;
- обработка полученных данных и сравнение эмпирических результатов с расчетными (теоретическими);
- построение графика временного ряда, графика плотности распределения и графика функции распределения секундного расхода воды смесителем;
- предварительный выбор теоретического закона распределения величины секундного расхода смесителем.

2. Материалы и методы

Решение задачи получения статистических данных о работе смесителя потребовало разработки системы, обеспечивающей возможность регистрации секундного расхода воды в трубопроводе, точного времени его появления и длительности. Основными критериями выбора оборудования, включаемого в состав данной системы были приняты:

- соответствие средств измерения требованиям действующих нормативных документов;
- возможность ежесекундной фиксации показаний;
- возможность фиксации системой точного времени в ходе выполнения измерений;
- возможность автоматизированной регистрации, обработки, накопления, хранения и передачи накопленной информации;
- возможность визуального контроля общего водопотребления.

Состав системы регистрации мгновенного расхода был принят следующий:

- счетчик воды $d_n = 15$ мм;
- датчик расхода воды $d_n = 15$ мм;
- программируемый микроконтроллер.

В данном случае датчик расхода позволяет обеспечивать измерение мгновенного расхода воды и трансформировать его в импульсы.

Программируемый микроконтроллер за счет разработанного алгоритма, который был реализован на языке программирования C++, позволяет ежесекундно регистрировать показания датчика, обрабатывать их, записывать во внутреннюю память и передавать пользователю для дальнейшей обработки и изучения.

Датчик, в силу своей чувствительности, позволяет системе реагировать на минимальные расходы воды в трубопроводе, возникающие даже при незначительном открытии смесителя. Минимальный учитываемый расход воды для данного датчика $8,3 \cdot 10^{-3}$ л/с, что составляет 9,3 % от расчетного расхода воды бытовым смесителем (0,09 л/с в соответствии с СП 30.13330.2020) и 4,7 % от максимального фактического зарегистрированного расхода холодной воды смесителем (0,176 л/с по результатам выполненного исследования). Принимая во внимание, что использование в бытовых целях расхода воды менее $8,3 \cdot 10^{-3}$ л/с очень маловероятно, а также то, что такие маленькие расходы практически не оказывают влияния на результаты гидравлического расчета системы водоснабжения и возникают по большей части в периоды открытия и закрытия смесителя (то есть в периоды неустановившегося водопотребления), автором было принято решение пренебречь ими в силу нецелесообразности усложнения системы для обеспечения возможности их учета.

Опрос микроконтроллером датчика расхода выполняется значительно чаще, чем поступают импульсы от датчика даже при максимально возможном измеряемом расходе воды в трубопроводе (при расходе равном максимальному пределу измерения для датчика). Это гарантирует, что ни один импульс не будет пропущен, а соответственно и расход будет учтен верно.

Передача данных пользователю выполнялась в удобном для восприятия, обработки и последующего анализа виде (текстовый файл) и обеспечивалась посредством сети Интернет.

Счетчик воды, являющийся поверенным средством измерения, в данном случае обеспечивает возможность выполнения периодического визуального контроля в прямоугольных окошках табло правильности передаваемых системой показаний. При этом период контроля определяется пользователем и может быть произвольным.

При выполнении представленного исследования период визуального контроля был принят около 24 часов (одни сутки). Длительность эксперимента (проводимого исследования) составила 14 дней (период с 20.03.2023 г. по 02.04.2023 г. включительно).

Исследование режима работы смесителя было выполнено в следующих условиях:

- назначение здания – жилое;
- место расположения исследуемого смесителя – кухня в квартире;
- тип смесителя – рычажный, наборный;
- количество потребителей – 2 человека;
- место установки датчика – трубопровод системы холодного водоснабжения.

Для обработки и анализа полученных данных использовались методы математической статистики и теории вероятностей. Обработка данных выполнялась в программе для работы с электронными таблицами Microsoft Excel.

3. Результаты и обсуждение

Всего при выполнении исследования было получено 4639 результатов измерения.

Максимальное время непрерывной подачи холодной воды к смесителю составило 119 секунд, минимальное – 1 секунда. Результаты измерения общего времени подачи холодной воды к смесителю в каждый из дней рассматриваемого периода представлены в табл. 1.

Таблица 1

Общее время подачи холодной воды к смесителю

Дата	День недели	Общее время работы смесителя, мин:сек
20.03.2023	Пн	01:25
21.03.2023	Вт	05:04
22.03.2023	Ср	02:08
23.03.2023	Чт	09:27
24.03.2023	Пт	01:09
25.03.2023	Сб	00:21
26.03.2023	Вс	13:36
27.03.2023	Пн	07:39
28.03.2023	Вт	04:01
29.03.2023	Ср	00:00
30.03.2023	Чт	02:30
31.03.2023	Пт	07:40
01.04.2023	Сб	13:29
02.04.2023	Вс	08:50

Максимальный секундный расход воды q_0^c за рассматриваемый период составил 0,176 л/с, минимальный – 0,013 л/с.

Временной ряд секундных расходов воды в трубопроводе холодного водоснабжения представлен на графике (рис. 1). При этом, при построении графика, периоды времени, когда расход воды в трубопроводе отсутствовал или режим водопотребления был неустановившимся, были исключены.

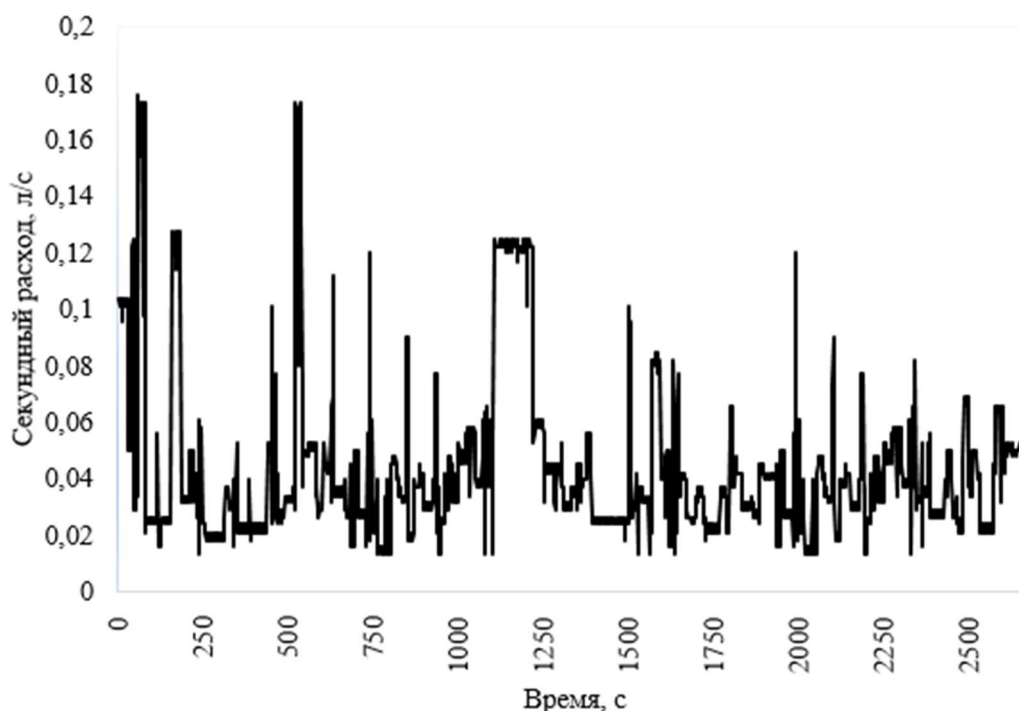


Рис. 1. Временной ряд секундных расходов воды в трубопроводе холодного водоснабжения (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Time series of seconds of water consumption in the cold water pipeline (illustration by the authors)

При выполнении наблюдений за изменением значений секундного расхода во времени было замечено, что для каждого непрерывного временного интервала работы смесителя, установившийся режим водопотребления характерен для всего периода, за исключением первых одной – двух и последних одной – двух секунд. Данные периоды времени соответствуют периодам открытия и закрытия смесителя, когда расходы воды в трубопроводе возрастают до определенного значения или уменьшаются до нуля за короткий (1 – 2 с) промежуток времени.

Для исключения влияния значений расхода воды в трубопроводе при неустановившемся режиме водопотребления на числовые характеристики, определяющие особенности распределения секундного расхода воды q_0^c , данные значения были исключены из выборки. Таким образом, на графике (рис. 1) представлен временной ряд секундных расходов воды в трубопроводе холодного водоснабжения только в периоды установившегося водопотребления.

По обработанным данным измерений были построены графики плотности вероятности и функции распределения значений секундного расхода воды в трубопроводе (рис. 2).

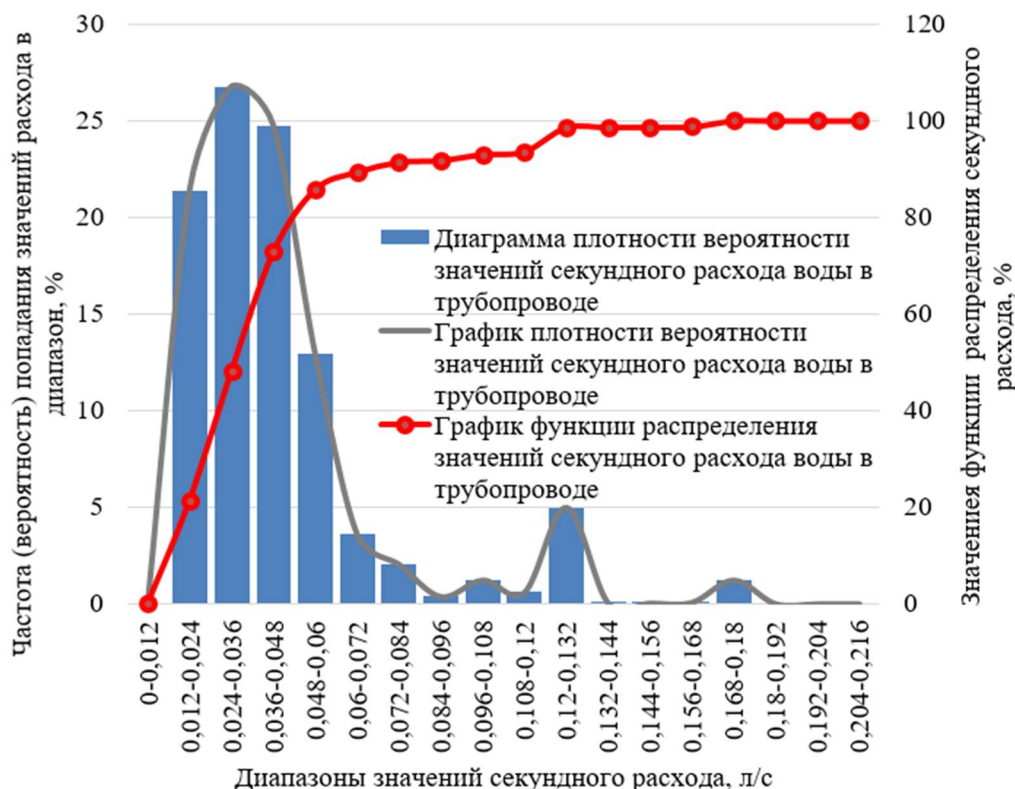


Рис. 2. График плотности распределения и функции распределения значений секундного расхода воды (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Graph of the distribution density and the distribution function of the values of the second water flow (illustration by the authors)

Основные числовые характеристики распределения секундного расхода воды за двухнедельный период наблюдения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные числовые характеристики значений секундного расхода воды

Математическое ожидание $E(q_0^s)$, л/с	0,044
Дисперсия $Var(q_0^s)$, (л/с) ²	0,00084
Среднеквадратичное отклонение σ_q , л/с	0,029
Коэффициент вариации V_q	0,66

Как видно из представленных графиков, значение секундного расхода воды прибором изменяется во времени (то есть не является детерминированной величиной) в зависимости от степени открытия смесителя, которая в свою очередь определяется психофизиологической потребностью в воде пользователя в конкретный момент времени и рядом других факторов. Изменение значения расхода подчиняется некоторому распределению, по своему графику напоминающему такие законы, как логарифмически нормальное распределение, гамма-распределение или распределение Вейбулла. При этом коэффициент вариации указывает на то, что в данном случае наиболее подходящим теоретическим законом распределения, описывающим распределение значений секундного расхода, является распределение Вейбулла. Однако, поскольку объем статистических данных достаточно мал (период проведения измерений составил всего две недели и все измерения были выполнены на одном водоразборном приборе, эксплуатируемом двумя конкретными потребителями), автор считает преждевременными конкретные выводы о законе распределения величины расхода и распределение Вейбулла, в данном случае, может быть принято лишь в первом приближении. В ходе проводимого эксперимента планируется выполнить накопление достаточного объема

статистических данных о разных типах водоразборной арматуры и затем определить законы распределения секундных, а при необходимости и часовых расходов воды по ним.

В соответствии с СП 30.13330.2020, расход воды отдельным санитарно-техническим прибором (арматурой) следует определять по таблице А.1 данного свода правил. Для исследуемого водоразборной арматуры секундний расход холодной воды имеет определенное значение, которое составляет 0,09 л/с.

Для получения корректных результатов и выводов необходимо, чтобы сравнение эмпирических и расчетных (теоретических) значений секундных расходов было выполнено при одинаковой обеспеченности расчетных нагрузок. В своде правил отсутствуют сведения об обеспеченности приведенных в нем значений секундного расхода. Поэтому было принято решение выполнить сравнение эмпирического и расчетного значения расхода в двух вариантах:

- вариант 1 – сравнить максимальный зарегистрированный расход с расчетным;
- вариант 2 – сравнить эмпирический секундний расход, имеющий обеспеченность $P=0,95-0,99$, с расчетным.

Обеспеченность расхода $P=0,95-0,99$ принята на основании сведений, приведенных в исследованиях Л.А. Шопенского [12].

При выполнении сравнения было выявлено:

- превышение максимального зарегистрированного расхода (0,176 л/с) над расчетным (0,09 л/с) составило 95,6%;
- превышение секундного расхода воды (0,13 л/с), имеющего обеспеченность $P=0,95-0,99$, над расчетным (0,09 л/с) составило 44,4%.

4. Заключение

В ходе выполнения исследования были получены подробные статистические данные о временных и расходных характеристиках режима работы смесителя за двухнедельный период.

Анализ полученных данных, результатов их обработки и построенных графиков показал, что:

- имеются значительные отклонения эмпирических данных о значении секундного расхода холодной воды смесителем от такого же значения, полученного расчетным путем по действующим нормативным документам ($\approx 44,4 - 95,6\%$);
- секундний расход воды в трубопроводе, вызванный работой одного смесителя, не является детерминированным значением, а подчиняется некоторому распределению;
- в первом приближении в качестве теоретического закона, описывающего распределение значений секундного расхода воды смесителем, может быть принято распределение Вейбулла.

Список литературы / Reference

1. Duan H.-F. и др. 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, Iss. 8. P. 858–893. DOI: 10.2166/aqua.2020.048.
2. Anh* N.T., Hài N.N., Kỳ N.M. Risk assessment and management in domestic water supply system in Pleiku city – Gia Lai province // *UD-JST*. 2019. P. 50–55.
3. Teichmann M. и др. Modeling and Optimization of the Drinking Water Supply Network—A System Case Study from the Czech Republic: 23 // *Sustainability. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2020. Vol. 12, Iss. 23. P. 9984. DOI: 10.3390/su12239984.
4. Абитов Р.Н., Селюгин А.С., Низамова А.Х. Проблемы надежности работы водопроводных сетей населенных пунктов // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2022. № 5 (139). С. 9–14 [Abitov R.N., Selyugin A.S., Nizamova A.H. Problems of reliability of water supply networks of settlements // *Energy saving and Water Treatment*. 2022. Iss. 5 (139). P. 9-14]
5. Подпорин А.В., Сизон Е.К. К вопросу обоснования расчетов проектных расходов воды в системах водоснабжения жилых и казарменных зон военных городков // *Военный инженер*. 2017. № 4 (6). С. 18–22 [Podporin A.V., Season E.K. On the issue of substantiation of calculations of design water consumption in water supply systems of

- residential and barracks zones of military towns // *Military Engineer*. 2017. Iss. 4 (6). P. 18-22]
6. Салахова И.Ф., Хисамеева Л.Р. Современный подход к проектированию систем внутреннего водоснабжения высотных зданий: материалы XII Национальной конференции с международным участием – Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. Саратов, 2022. С. 96–101 [Salakhova I.F., Khisameeva L.R. Modern approach to the design of internal water supply systems for high-rise buildings: materials of the XII National Conference with international participation – Modern problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply / Saratov GAU. Saratov, 2022. P. 96-101]
 7. Добромыслов А.Я., Вербицкий А.С., Лякмунд А.Л. Пособие по определению расчетных расходов воды в системах водоснабжения и канализации зданий и микрорайонов. Москва, 2007 [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 neighborhoods. Moscow, 2007]
 8. Chen G. и др. Multiple Random Forests Modelling for Urban Water Consumption Forecasting // *Water Resour Manage*. 2017. Vol. 31, Iss. 15. P. 4715–4729. DOI: 10.1007/s11269-017-1774-7.
 9. Дерюшев Л.Г., Дерюшева Н.Л. О теории вероятного расхода воды потребителями на объектах населенных пунктов. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. С. 167–175 [Deryushev L.G., Deryusheva N.L. On the theory of probable water consumption by consumers at the objects of settlements. National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2022. P. 167-175]
 10. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. Москва: Наука, 1985. 278 с. [Merenkov A.P., Khasilev V.Ya. Theory of hydraulic circuits. Moscow: Nauka, 1985. 278 p.]
 11. Меренков А.П., Сеннова Е.В., Сумароков С.В. Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения. Новосибирск: Наука, 1992. 405 с. [Merenkov A.P., Sennova E.V., Sumarokov S.V. Mathematical modeling and optimization of heat, water, oil and gas supply systems. Novosibirsk: Nauka, 1992. 405 p.]
 12. Шопенский Л.А. Исследование режимов работы водопроводов жилых зданий: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1968. 34 с. [Chopensky L.A. Investigation of the modes of operation of water pipes of residential buildings: Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Moscow, 1968. 34 p.]
 13. Исаев В.Н., Мхитарян М.Г. Анализ методик определения расходов во внутреннем водопроводе // *Сантехника*. Москва, 2003. № 5. С. 6–11 [Isaev V.N., Mkhitaryan M.G. Analysis of methods for determining expenses in internal water supply // *Plumbing*. Moscow, 2003. Iss. 5. P. 6-11]
 14. Вербицкий А.С. Стандарт «Внутренний водопровод и канализация зданий» // *Сантехника*. Москва, 2007. № 1. С. 18–21 [Verbitsky A.S. Standard "Internal water supply and sewerage of buildings" // *Plumbing*. Moscow, 2007. Iss. 1. P. 18-21]
 15. Díaz S., González J. Temporal Scale Effect Analysis for Water Supply Systems Monitoring Based on a Microcomponent Stochastic Demand Model // *Journal of Water Resources Planning and Management*. American Society of Civil Engineers, 2021. Vol. 147, Iss. 5. P. 04021023. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001352.
 16. Gargano R. и др. A stochastic model for daily residential water demand // *Water Supply*. 2016. Vol. 16, Iss. 6. P. 1753–1767. DOI: 10.2166/ws.2016.102.
 17. 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 [Sayriddinov S.Sh. About the peculiarities of calculating water consumption in the design of water supply systems of high-rise buildings // *Urban planning and architecture*. 2020. Vol. 10, Iss. 2 (39). P. 29-35. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.5]

18. Новицкий Н.Н., Вантеева О.В. Моделирование стохастики потокораспределения в гидравлических цепях // Известия Российской Академии Наук. Энергетика. 2011. № 2. С. 122–131 [Novitsky N.N., Vanteeva O.V. Modeling of flow distribution stochastics in hydraulic circuits // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energy. 2011. Iss. 2. P. 122-131]
19. Farmani R. и др. Real-time modelling of a major water supply system // Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management. ICE Publishing, 2007. Vol. 160, Iss. 2. P. 103–108. DOI: 10.1680/wama.2007.160.2.103.

Информация об авторах

Дмитрий Евгеньевич Поливанов, аспирант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Email: dmitry_polivanov@mail.ru

Алексей Александрович Семенов, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Информационных технологий», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Email: sw.semenov@gmail.com

Information about the authors

Dmitry E. Polivanov, post-graduate student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation
Email: dmitry_polivanov@mail.ru

Alexey A. Semenov, candidate of technical sciences, head of the department of Information technologies, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation
Email: sw.semenov@gmail.com