

ПОДГОТОВКА И ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ВНЕСЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ В НОРМАТИВНУЮ ДОКУМЕНТАЦИЮ В ЧАСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБ

Илья Алексеевич Аверкеев¹, Елена Игоревна Зайцева¹, Елена Сергеевна Гогина²,
Владимир Александрович Орлов³

¹ ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»; г. Москва, Российская Федерация

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);
г. Москва, Российская Федерация

Статья посвящена обоснованию целесообразности внедрения в действующую нормативную документацию новых требований в части гидравлического расчета труб, что стало возможно благодаря результатам научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР) по теме: «Определение гидравлических характеристик труб из разных материалов различных диаметров», проведенной на базе НИИСФ РААСН в 2023 году. В статье представлены основные аспекты проведенной исследовательской работы, а также указаны конкретные нормативные документы, в которые предлагается внести соответствующие дополнения или правки в части гидравлического расчета труб.

Ключевые слова: нормативная документация, трубы, гидравлический расчет, исследования

Для цитирования: Аверкеев И.А., Зайцева Е.И., Гогина Е.С., Орлов В.А. Подготовка и обоснование предложений по внесению изменений в нормативную документацию в части гидравлического расчета труб // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 3. С. 52–58. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.3.52-58

PREPARATION AND VERIFICATION OF PROPOSALS FOR THE INTEGRATION OF CHANGES INTO REGULATORY DOCUMENTATION IN TERMS OF HYDRAULIC CALCULATION OF PIPES

Ilya A. Averkeev¹, Elena I. Zaytseva¹, Elena S. Gogina², Vladimir A. Orlov³

¹ POLYPLASTIC Group; Moscow, Russian Federation;

² Russian Academy of Architecture and Building Sciences; Moscow, Russian Federation;

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

The article is devoted to the justification of the feasibility of introducing into the current regulatory documentation, which became possible thanks to the results of research and development on the topic: "Determination of hydraulic characteristics of pipes made of different materials of different diameters"; conducted at the NIISF RAASN in 2023. The article presents the main aspects of the research work carried out, and also indicates specific regulatory documents to which it is proposed to make appropriate additions or amendments in terms of hydraulic calculation of pipe.

Keywords: regulatory documentation, pipes, hydraulic calculation, research

For citation: Averkeev I.A., Zaytseva E.I., Gogina E.S., Orlov V.A. Preparation and verification of proposals for the integration of changes into regulatory documentation in terms of hydraulic calculation of pipes. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2024; 3:52-58. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.3.52-58 (rus.).

Введение

Существующие нормативные документы, регламентирующие вопросы гидравлического расчета тру-

бопроводных сетей, помимо соответствующих зависимостей, как правило, содержат в себе характеристики труб и транспортируемой среды, применяемые при вычислении гидравлического сопротивления трубо-

проводной линии. Например, в Приложении А СП 399.1325800.2018¹ представлены данные о коэффициентах эквивалентной шероховатости труб K_s из различных материалов и величины коэффициентов кинематической вязкости воды. Или в СП 66.13330.2011², где соответствующие данные представлены для труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) в зависимости от типа внутреннего покрытия. Сведения из этих двух документов в части шероховатости внутренней поверхности труб можно считать относительно актуальными, хотя и принимая во внимания тот факт, что технологии изготовления труб совершенствуются с каждым годом с соответствующим влиянием на качество их внутренней поверхности. В то же время существуют устаревшие документы, например СП 40-104-2001³, в котором установлены показатели шероховатости для стеклопластиковых труб, выпускавшихся более 20 лет назад. Для ряда материалов, таких как сталь или серый чугун, сведения об их шероховатости в принципе отсутствуют в действующей нормативной документации и представлены лишь в отдельных литературных изданиях 10-, 20-, 40- или даже 50-летней давности [1–4]. Методология определения коэффициентов шероховатости для труб также не определена действующими нормативными документами. Существует ряд стандартов, регламентирующих вопросы определения величины шероховатости произвольной поверхности в целом и параметра R_a — среднеарифметического отклонения профиля внутренней поверхности трубы от средней линии в частности. Например, это ГОСТ 2789–73⁴, ГОСТ 19300–86⁵, ГОСТ 27964–88⁶, ГОСТ Р 70117–2022⁷. Однако указанные стандарты и принципы определения шероховатости, заложенные в них, не отражают особенности формирования потерь напора именно в трубопроводах [3, 5]. Для актуализации сведений, представленных в действующих нормативных документах в части значений коэффициентов эквивалентной шероховатости, а также для

целей разработки методики определения этих коэффициентов, которая должна стать основой для нового национального стандарта на методы испытаний, в 2023 году, согласно плану Минстроя России, на базе НИИСФ РААСН была проведена НИОКР «Определение гидравлических характеристик труб из разных материалов различных диаметров». Подготовка такого стандарта на базе проведенной НИОКР позволит наконец установить единые критерии определения шероховатости трубопроводов, получить их достоверные значения и таким образом оптимизировать выбор типа труб и их диаметров при выполнении гидравлического расчета, поскольку шероховатость непосредственно влияет на потери энергии потока жидкости.

Это в свою очередь позволит проектировщикам подбирать наиболее энергоэффективные и технически достаточные проектные решения, связанные с применением трубопроводов в системах водоснабжения и водоотведения, и в том числе оптимизировать диаметры трубопроводных линий, а также сделать максимально достоверным гидравлический расчет трубопроводной сети.

Необходимо также отметить, что результаты проведенной НИОКР применяются в настоящее время при выполнении силами специалистов АО ВНИИСТ и Группы ПОЛИПЛАСТИК научно-исследовательской работы (НИР) на тему: «Разработка усовершенствованной методики ОСЖЦ трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения, предусматривающей определение полного перечня факторов, оказывающих влияние на стоимость жизненного цикла в процессе строительства, эксплуатации, ремонта и утилизации трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения», включенной в план Минстроя России по проведению исследовательских работ на 2024 год. Результатом данной работы станет уточненное формульное определение эксплуатационных затрат на основе принятых подходов в соответствии с нормативными и техническими документами, которое позволит посчитать стоимость жизненного цикла объектов водоснабжения и водоотведения с учетом дисконтирования затрат во времени.

Цели и задачи

Ключевой целью по подготовке предложений по совершенствованию нормативной документации по результатам НИОКР является повышение эффективности применения трубопроводных систем, что, в свою очередь, повлияет на предынвестиционное и инвестиционное обоснование строительства и модернизации коммунальной инфраструктуры.

Достижение указанной цели стало возможным благодаря решению задач, выполненных в рамках НИОКР, а именно проведение экспериментальной работы на специальной гидравлической установке

¹ СП 399.1325800.2018. Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов. Правила проектирования и монтажа.

² СП 66.13330.2011. Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом.

³ СП 40-104-2001. Проектирование и монтаж подземных трубопроводов водоснабжения из стеклопластиковых труб.

⁴ ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.

⁵ ГОСТ 19300–86. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры.

⁶ ГОСТ 27964–88. Измерение параметров шероховатости. Термины и определения.

⁷ ГОСТ Р 70117–2022. Шероховатость поверхности. Рекомендации по выбору.

(стенде), в процессе которой был получен большой объем данных о гидравлических параметрах работы труб из различных материалов и проведена его математическая обработка автоматизированным способом с получением значений коэффициентов эквивалентной шероховатости. Также была выполнена оценка принятой методологии проведения испытаний путем сравнения экспериментальных результатов с данными из существующих документов и литературы с дальнейшей подготовкой конкретных предложений по внесению изменений в действующую и разработке новой нормативной документации, регламентирующей вопросы гидравлического расчета труб и получения необходимых параметров для проведения такого расчета.

Проведение и результаты эксперимента

Сущность методики определения коэффициентов эквивалентной шероховатости трубопроводов водоснабжения и водоотведения, выполненных из различных материалов, заключается в оценке гидравлического сопротивления, возникающего в соответствующем типе трубопровода при пропуске через него широкого диапазона расходов воды, с последующей математической обработкой полученных результатов и определением численных значений коэффициентов эквивалентной шероховатости. Испытательный стенд для проведения экспериментальной работы по оценке гидравлического сопротивления (рис. 1) обеспечивал надежное закрепление и возможность испытания труб различной конструкции с устройством рабочего отрезка (между пьезометрами) длиной не менее чем 10 м.

Конструкция стенда должна обеспечивать удаление воздуха из трубопроводов. Рекомендуемая схема стенда представлена на рис. 2.

Потери напора на испытательных участках оцениваются путем снятия соответствующих показаний с пьезометрических трубок (пьезометров), установ-



Рис. 1. Общий вид испытательного стенда

ленных в начале и в конце рабочего отрезка исследуемой трубы (рис. 3).

Пьезометры были выполнены из гибких полимерных прозрачных трубок, позволяющих визуально определить уровень воды. Трубки были выведены на вертикальную каркас-стенку. Параллельно трубкам на вертикальных каркас-стенках были устроены мерные шкалы с ценой деления 1 мм. Мерная шкала была выполнена путем устройства на каркас-стенках измерительных рулеток, имеющих действующее свидетельство о поверке. Насосный агрегат был оборудован преобразователем частоты вращения рабочего колеса и обеспечивал диапазон расходов воды в исследуемом трубопроводе, соответствующий

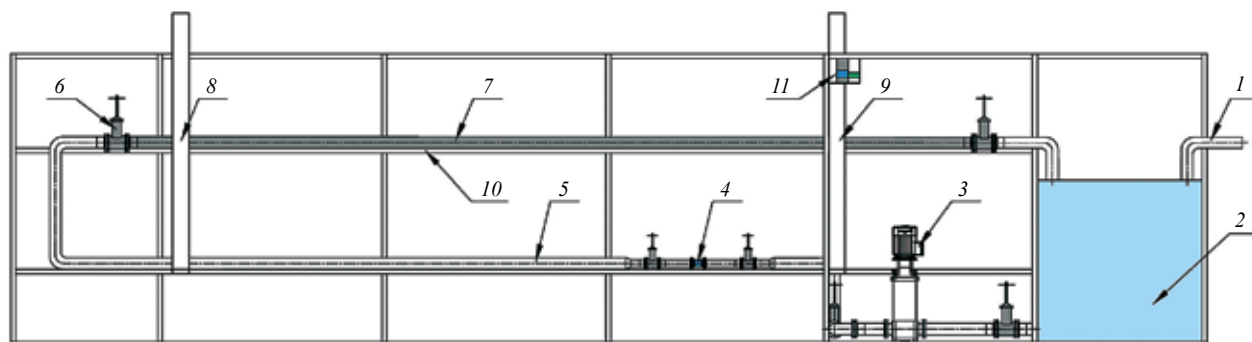


Рис. 2. Рекомендуемая схема испытательного стенда: 1 — подача воды; 2 — накопительная емкость; 3 — насос; 4 — датчики расходомера; 5 — подающий трубопровод; 6 — запорная арматура; 7 — исследуемый трубопровод; 8, 9 — пьезометры в начале и конце рабочего отрезка; 10 — рама для крепления трубопровода; 11 — блок управления расходомера

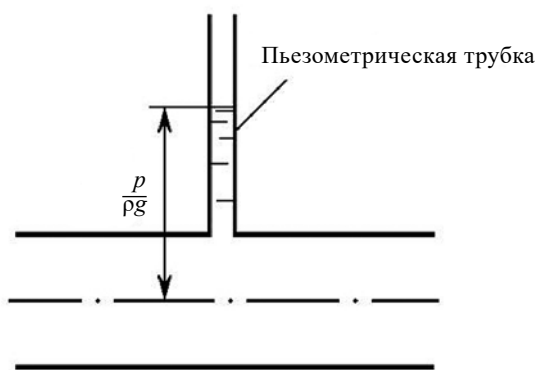


Рис. 3. Схема устройства пьезометрической трубки

ший скорости движения воды в интервале от 0,2 до 3 м/с. Величина пропускаемых расходов оценивалась с помощью ультразвукового расходомера с накладными датчиками, имеющего действующее свидетельство о поверке. Исследованию подвергались трубы внутренним диаметром от 88 до 103 мм (в зависимости от материала труб и наличия внутреннего покрытия, в том числе цементно-песчаного покрытия (ЦПП)). Выбирались такие длины отрезков труб для монтажа испытательных участков, которые бы минимизировали количество соединений на рабочем отрезке между пьезометрами, либо полностью их исключали, как, например, было реализовано для труб из полиэтилена. Испытания проводились в следующем порядке:

- выполнялось заполнение водой накопительной емкости испытуемых и подводящих трубопроводов до уровня, обеспечивающего штатное функционирование насосного агрегата и системы в целом. Обеспечивалось полное удаление воздуха из испытуемых и подводящих трубопроводов;
- каждый из типов труб испытывался отдельно от остальных, которые отключались посредством закрытия запорной арматуры (поворотных затворов);
- оценка показаний пьезометров производилась для 30 значений расходов. Расходы воды задавались путем изменения частоты вращения рабочего колеса насосного агрегата;
- замер показаний на пьезометрах осуществлялся после стабилизации расхода, определяемого согласно показаниям расходомера. Выполнялось по 4 одновременных измерения на каждом из пьезометров при соответствующем расходе. Показания пьезометров фиксировались в протоколе для соответствующего типа трубы и расхода воды.

Обработка результатов испытаний осуществлялась автоматизированным способом в разработанной программе-надстройке на языке Visual Basic for Applications (VBA) в среде MS Excel [6] с использованием следующих зависимостей.

Дарси – Вейсбаха для гидравлического трения:

$$\lambda = \frac{2 \cdot i \cdot g \cdot d}{V^2}, \quad (1)$$

где i — удельные потери напора, м/м;
 g — ускорение свободного падения, м/с²;
 d — внутренний диаметр трубопровода, м;
 V — скорость движения воды, м/с.

Уравнения Прандтля для вполне шероховатых труб [3]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg \cdot \frac{d}{K_s} + 1,14, \quad (2)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода;

d — внутренний диаметр трубопровода, мм;

K_s — коэффициент эквивалентной шероховатости трубопровода, мм.

Зависимости Колбрука – Уайта [3, 7–9]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{1}{3,71} \cdot \frac{K_s}{d} \right], \quad (3)$$

где Re — число Рейнольдса, определяемое по формуле:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (4)$$

где V — скорость течения воды, м/с;

ν — коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с.

Формулы Прандтля для области гладкого трения турбулентного режима течения жидкости:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg(\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}) - 0,8. \quad (5)$$

Значения шероховатостей, полученных после обработки результатов испытаний, представлены в таблице.

Также необходимо отметить, что шероховатость труб определяет гидравлическое сопротивление трубопроводов, что в дальнейшем позволяет оценить энергию, затрачиваемую на транспортировку жидкости. Такие затраты можно оценить по формуле:

$$\Xi = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{двиг}}} \cdot 24 \cdot 365, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (6)$$

где Q — расход воды, м³/с;

H — потери напора по длине трубопроводов, м;

$\eta_{\text{нас}}$ — собственный КПД насоса, принимаемый равным 0,85;

$\eta_{\text{двиг}}$ — КПД электродвигателя насосного агрегата, принимаемый равным 0,9.

На основе сведений о стоимости электроэнергии можно оценить стоимость эксплуатации трубопро-

Значения K_3 и $C_{эл}$ для труб из различных материалов

Материал трубы	Коэффициент эквивалентной шероховатости, полученный экспериментальным путем, K_3 , мм	$C_{эл}$, млн руб. в год
ВЧШГ с ЦПП	0,1225	79,12
НПВХ	0,0075	64,61
ПВХ-О	0,0128	66,31
Полиэтилен ПЭ 100	0,0043	63,17
Сталь новая	0,0148	66,82
Сталь с ЦПП	0,4767	95,31
Сталь, бывшая в эксплуатации	0,0967	77,19
Стеклопластик	0,0388	71,19
Серый чугун	0,3232	89,64

Примечание. При расчете значений стоимости было принято, что общая длина трубопроводных линий 100 км, внутренний диаметр труб 500 мм, скорость движения воды 1,5 м/с, а средний тариф за кВт·ч составляет 6,6 руб.

водов с точки зрения затрат на электроэнергию $C_{эл}$ в зависимости от применяемого материала труб, разумеется принимая во внимание тот факт, что затраты на электроэнергию являются далеко не единственными в части эксплуатационных затрат для сетей водоснабжения и водоотведения, но одними из самых значимых. Полученные значения представлены также в таблице.

По итогам проведенных исследований можно заключить, что представляется весьма целесообразным и своевременным внесение изменений в существующие Своды правил по проектированию и строительству, а также разработка нового национального стандарта на методы испытаний. В частности, были подготовлены следующие предложения:

- в СП 31.13330.2021⁸ в части корректировки Приложения В. А именно: исключить из В.1 ссылки на Своды правил, фактически не содержащие методик гидравлического расчета труб (СП 272.1325800.2016⁹ и СП 273.1325800.2016¹⁰). Включить в пункт ссылку на СП 399.1325800.2018¹ в части гидравлического расчета полимерных труб. Включить в приложение таблицу со значениями шероховатости, полученными в рамках НИОКР, которые рекомендуется принимать при расчете соответствующих типов труб;

⁸ СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

⁹ СП 272.1325800.2016. Системы водоотведения городские и поселковые. Правила обследования.

¹⁰ СП 273.1325800.2016. Водоснабжение и водоотведение. Правила проектирования и производства работ при восстановлении трубопроводов гибкими полимерными рукавами.

- в СП 32.13330.2018¹¹ в части корректировок требований к гидравлическому расчету. Дополнить подраздел 5.2 положением о выборе коэффициентов эквивалентной шероховатости K_3 со ссылкой на СП 31.13330.2021⁸. Представить таблицу со значениями безразмерных коэффициентов шероховатости n [10], полученных путем пересчета экспериментальных значений K_3 при помощи формул [2]:

$$K_3 = 4 \cdot (40 \cdot g \cdot n^2)^{\frac{1}{\alpha}}, \text{ м}; \quad (7)$$

$$K_3 = 4000 \cdot (40 \cdot g \cdot n^2)^{\frac{1}{\alpha}}, \text{ мм}; \quad (8)$$

$$\alpha = 0,3124K_3^{0,0516}; \quad (9)$$

- в СП 66.13330.2011² скорректировать табл. 5.1 в части значения K_3 для труб сетей водоснабжения, имеющих цементно-песчаное покрытие. Добавить примечание о том, что указанные значения шероховатостей труб с покрытиями следует принимать только в случае, если такое покрытие предусмотрено нормативной документацией на изготовление труб и покрытие нанесено в заводских условиях непосредственно изготовителем труб;
- в СП 273.1325800.2016¹⁰ в части корректировки выбора значений коэффициента шероховатости для рукава. А именно скорректировать п. 5.10 и изменить минимальное значение при отсутствии экспериментальных данных с 0,01 на 0,04 мм;
- в СП 399.1325800.2018¹ в части корректировки значений коэффициентов эквивалентной шероховатости K_3 для труб из полиэтилена, НПВХ и ПВХ-О в табл. А.1. Приложения А;
- в СП 503.1325800.2021¹² в части выбора величин шероховатости. А именно в п. 7.4.5 указать, что выбор величины коэффициента эквивалентной шероховатости следует осуществлять в соответствии с СП 399.1325800.2018¹. Исключить в п. 7.4.13 предложение: «Для гидравлически гладких труб влияние шероховатости допускается не учитывать».

В рамках предложения по разработке национального стандарта на методы испытаний представляется целесообразным разработка документа, содержащего требования к определению коэффициента эквивалентной шероховатости внутренней поверхности труб из различных материалов. За основу предлагается взять методику определения коэффициента эквивалентной шероховатости, представленную

¹¹ СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения.

¹² СП 503.1325800.2021. Трубопроводы из непластифицированного поливинилхлорида самотечных систем водоотведения. Правила проектирования, строительства и эксплуатации.

в соответствующем разделе проведенного НИОКР и кратко описанную в рамках данной статьи.

Дополнительно видится целесообразным внесение изменений в ГОСТ Р 54560–2015¹³ в части изменения величины шероховатости, представленной в п. 10.7.

Очевидно, что итоги выполненной НИОКР непосредственно оказывают влияние на оценку стоимости жизненного цикла (ОСЖЦ) трубопроводных систем. Результаты проведенной работы послужат источником важной информации при разработке усовершенствованной методики ОСЖЦ в рамках плана Минстроя на 2024 г., что, в свою очередь, позволит внести корректировки в СП 517.1325800.2022¹⁴ для целей нормативно-технического обоснования возможности учета использования стоимости жизненного цикла объектов водоснабжения и водоотведения и актуализации требований и правил, определяющих организацию безопасной эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Выводы

Полученные по итогам НИОКР результаты могут служить основой для серьезных изменений в действующую нормативную документацию в части требований, регламентирующих вопросы гидравлического расчета трубопроводов. Одновременно с этим, на основе той методологии испытаний, которая использовалась в рамках НИОКР, может быть разработан принципиально новый национальный стандарт, который впервые будет регламентиро-

вать вопросы определения шероховатости именно труб и учитывать все нюансы возникновения в них гидравлических сопротивлений. Проведенная работа и внесение изменений в действующую нормативную документацию также будет иметь существенный экономический эффект. Полученные в результате выполнения НИОКР коэффициенты эквивалентной шероховатости и методика их определения позволят на этапе проектирования определять наиболее энергоэффективные и технически достаточные проектные решения, связанные с применением трубопроводов в системах водоснабжения и водоотведения. Выбираемые типы труб и их диаметры будут в максимальной степени оптимизированы и достаточны с учетом параметров функционирования трубопроводной сети. Будут улучшены характеристики работы сети с точки зрения снижения неоправданных потерь напора (энергии), связанные с неточным и весьма укрупненным подбором диаметров трубопроводной сети по причине применения устаревших методик гидравлического расчета и неактуальных данных по шероховатости внутренней поверхности труб. Неоспоримо также, что результаты проведенной НИОКР окажут существенное влияние на формирование методики ОСЖЦ, которая впоследствии будет интегрирована в существующие федеральные нормативные документы и позволит повысить эффективность эксплуатации централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Таким образом, результаты проведенных исследований напрямую содействуют вопросам экологической безопасности, а также энергосбережению при транспортировке воды по напорным трубопроводам, что согласуется с технологическими задачами обеспечения биосферной совместимости человека и природы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. М. : Издательский Дом «БАСТЕТ», 2014. 382 с.
2. Добромислов А. Я. Таблицы для гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов. Т. 2. Безнапорные трубопроводы. М. : ВНИИМП, 2004. 128 с.
3. Альтишуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М. : Недра, 1982. 224 с.
4. Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Л. : Стройиздат, 1973. 408 с.
5. Аверкеев И. А. Об особенностях определения коэффициента эквивалентной шероховатости полимерных труб // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 12. С. 32–34. DOI: 10.35776/MNP.2019.12.05 EDN: THWLKA
6. Аверкеев И. А. Инструменты ускорения процессов проектирования и расчета полимерных трубопроводных систем // Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 3. С. 37–40. DOI: 10.35776/VST.2024.03.05
7. PPI Handbook of Polyethylene Pipe. 2nd ed. 2012. 583 p.
8. Добромислов А. Я. Таблицы для гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов. Т. 1. Напорные трубопроводы. М. : ВНИИМП, 2004. 209 с.
9. ATV-DVWK STANDARD ATV-DVWK-A 110E. "Hydraulic Dimensioning and Performance Verification of Sewers and Drains". Hennef, Germany. GFA Publishing Company of ATV-DVWK Water, Wastewater and Waste, 2001. 79 p.

10. Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. М. : ООО «ИД БАСТЕТ», 2014. 423 с.

Об авторах: **Илья Алексеевич Аверкеев** — кандидат технических наук, начальник отдела проектных решений и экспертизы; **ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»**; Российская Федерация, 119530, г. Москва, Очаковское шоссе, д. 18, стр. 3; ID РИНЦ: 692866, Scopus: 55845849000; e-mail: ilya.averkeyev@polyplastic.ru;

Елена Игоревна Зайцева — кандидат технических наук, начальник управления нормативно-технического обеспечения; **ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»**; Российская Федерация, 119530, г. Москва, Очаковское шоссе, д. 18, стр. 3; e-mail: zaytseva@polyplastic.ru;

Елена Сергеевна Гогина — кандидат технических наук, главный научный сотрудник; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; Российская Федерация, 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21, стр. 3; SPIN-code: 8418-4863, Scopus: 55841908100, ResearcherID: P-7887-2015, ORCID: 0000-0003-4893-8922; e-mail: goginaes@gmail.com;

Владимир Александрович Орлов — доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-code: 8681-4302, Scopus: 56242002100, ResearcherID: AAC-8994-2022, ORCID: 0000-0003-2615-0448; e-mail: orlov950@yandex.ru.

REFERENCES

1. Shevelev F.A., Shevelev A.F. *Tables for hydraulic calculation of water pipes*. Moscow, Publishing House "BASTET", 2014; 382. (rus.).
2. Dobromyslov A. Ya. *Tables for hydraulic calculations of pipelines made of polymeric materials. Volume 2 "Graphite pipelines"*. Moscow, VNIIMP Publishing House, 2004; 128. (rus.).
3. Altshul A.D. *Hydraulic resistances*. Moscow, Publishing house "Nedra", 1982; 224. (rus.).
4. Kurganov A.M., Fedorov N.F. *Handbook of hydraulic calculations of water supply and sewerage systems*. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1973; 408. (rus.).
5. Averkееv I.A. On special features of determining the coefficient of equivalent polymer pipe roughness (to be discussed). *Water Supply and Sanitary Technique*. 2019; 12:32-34. DOI: 10.35776/MNP.2019.12.05 EDN: THWLKA (rus.).
6. Averkееv I.A. Tools for accelerating the processes of design and calculation of polymer piping systems. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2024; 3:37-40. DOI: 10.35776/VST.2024.03.05 EDN: MPPQDB (rus.).
7. *PPI Handbook of Polyethylene Pipe*. 2nd ed. 2012; 583. (rus.).
8. Dobromyslov A. Ya. *Tables for hydraulic calculations of pipelines made of polymeric materials. Volume 1 "Pressure pipelines"*. Moscow, VNIIMP Publishing House, 2004; 209.
9. *ATV-DVWK STANDARD ATV-DVWK-A 110E. "Hydraulic Dimensioning and Performance Verification of Sewers and Drains"*. Hennef, Germany. GFA Publishing Company of ATV-DVWK Water, Wastewater and Waste, 2001; 79.
10. Lukinykh A.A., Lukinykh N.A. *Tables for hydraulic calculation of sewer networks and siphons according to the formula of academician N.N. Pavlovsky*. Moscow, ООО "ИД "БАСТЕТ", 2014; 423. (rus.).

About the authors: **Ilya A. Averkееv** — PhD, Head of Design Solutions and Expertise Department; **Polyplastic Group**; bld. 3, 18 Ochakovskoe shosse, Moscow, 119530, Russian Federation; RSCI ID: 692866, Scopus: 55845849000; e-mail: ilya.averkeyev@polyplastic.ru;

Elena I. Zaytseva — PhD, Head of the Department of Regulatory and Technical Support; **Polyplastic Group**; bld. 3, 18 Ochakovskoe shosse, 119530, Moscow, Russian Federation; e-mail: zaytseva@polyplastic.ru;

Elena S. Gogina — PhD, Chief Researcher Research Institute of Building Physics; **Russian Academy of Architecture and Building Sciences**; bld. 3, 21 Lokomotivnyi pr., Moscow, 127238, Russian Federation; SPIN-code: 8418-4863, Scopus: 55841908100, ResearcherID: P-7887-2015, ORCID: 0000-0003-4893-8922; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Vladimir A. Orlov — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Water Supply and Sanitation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 8681-4302, Scopus: 56242002100, ResearcherID: AAC-8994-2022, ORCID: 0000-0003-2615-0448; e-mail: orlov950@yandex.ru.