

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 140–151.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 140–151.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.1.1–122:618.712

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-140-151

EDN: SLIEAT

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ И МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ

Олег Александрович Продоус¹, Петр Петрович Якубчик²,
Лев Дмитриевич Терехов², Дмитрий Иванович Шлычков³

¹Независимый эксперт по «Водоснабжению и водоотведению»,
г. Санкт-Петербург, Россия

²Петербургский государственный университет путей сообщения Им-
ператора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

³Национальный исследовательский Московский государственный стро-
ительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация. На сегодняшний день *актуальность* вопроса подтверждается тем, что увеличение объема выпуска трубной продукции из полимерных и металлополимерных материалов требует систематизации гидравлических расчетов трубопроводов за счет уточнения используемых в настоящее время расчетных зависимостей.

Цель исследования: описать причины, влияющие на точность гидравлического расче-
та труб из полимерных материалов, и на конкретном примере показать изменение зна-
чений характеристик гидравлического потенциала труб в зависимости от этих причин.

Материалы и методы: для оценки влияния технологических параметров при изго-
товлении труб из полимерных и металлополимерных материалов на значение гидравли-
ческих характеристик использован классический набор формул для гидравлического
расчета водопроводов.

Результаты: на конкретном примере доказано влияние на точность гидравлического расчета труб из полимерных материалов значений технологических допусков на наружный (внутренний) диаметр труб и толщину стенки трубы.

Выводы: доказано на примере влияние технологических допусков при производстве труб из полимерных материалов на значение характеристик их гидравлического потенциала, определяющих величину энергопотребления насосного оборудования. Рекомендовано установить нормативные требования на шероховатость внутренней поверхности водопроводных труб из полимерных материалов и производить их гидравлический расчет с учетом фактических значений величин высотного и шагового параметров шероховатости.

Ключевые слова: трубопроводы из разных полимерных материалов, расчетные зависимости, точность гидравлического расчета труб, энергопотребление, шероховатость

Для цитирования: Продоус О.А., Якубчик П.П., Терехов Л.Д., Шлычков Д.И. Повышение точности гидравлического расчета напорных трубопроводов из полимерных и металлополимерных труб // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 140–151. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-140-151. EDN: SLIEAT

ORIGINAL ARTICLE

HYDRAULIC CALCULATION IMPROVEMENT OF POLYMER AND METAL-POLYMER PRESSURE PIPELINES

Oleg A. Prodous¹, Piotr P. Yakubchik²,
Lev D. Terekhov², Dmitry I. Shlyichkov³

¹"Water and Sanitation", Saint-Petersburg, Russia

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Saint-Petersburg, Russia

³National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia

Abstract. The relevance of this paper is determined by the pipe manufacturing from polymer and metal-polymer materials, that requires hydraulic calculations.

Purpose: The purpose is to describe reasons affecting the accuracy of the hydraulic calculation of pipes made of polymer materials and show changes in their hydraulic potential, depending on these reasons.

Methodology/approach: Assessment of the influence of process parameters on hydraulic characteristics, classical equations of hydraulic calculation of water pipes.

Research findings: The paper shows the influence of technological tolerances for the outer/inner diameter of pipes and the pipe wall thickness on the accuracy of hydraulic calculation of pipes made of polymer materials.

Value: It is advisable to establish regulatory requirements for inner surface roughness of pipes made of polymer materials and perform their hydraulic calculation with respect to real hills and valleys which constitute surface roughness.

Keywords: polymer pipelines, calculated dependencies, hydraulic calculation, energy consumption, roughness

For citation: Prodous O.A., Yakubchik P.P., Terekhov L.D., Shlychkov D.I. Hydraulic calculation improvement of polymer and metal-polymer pressure pipelines. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Jour-

nal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 140–151. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-140-151. EDN: SLIEAT

В настоящее время в России и за рубежом широко освоено производство труб из различных полимерных материалов согласно СП 399.1325800.2018 (рис. 1).



Рис. 1. Виды труб, применяемых в системах водоснабжения (доля в процентах от использования труб из конкретного вида материала):

а – труба из полиэтилена низкого давления (ПНД)¹ по ГОСТ 18599–2001 – 60–65 %; *б* – труба из поливинилхлорида (ПВХ)² по ГОСТ 52134–2013 или молекулярно-ориентированного ПВХ-О 500 по ГОСТ 56927–2016 – 10–15 %; *в* – трубы из стеклопластика (СП)³ по ГОСТ 32415–2013 – 8–10 %; *г* – стальные электросварные трубы (СТ) с внутренним полимерным покрытием «Амеркот-391»⁴ по ГОСТ 20295–85 – 3–5 %; *д* – труба чугунная из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) с полиуретановым внутренним и наружным покрытием (ПУ)⁵ по EN 545–2010 – до 3 %

Fig. 1. Types of pipes for water supply systems (percentage from particular material):

a – low-pressure polyethylene pipe according to GOST 18599–2001 (60–65 %); *b* – polyvinyl chloride pipe according to GOST 52134–2013 or molecularly oriented PVC-O 500 according to GOST 56927–2016 (10–15 %); *c* – fiberglass plastic pipes according to GOST 32415–2013 (8–10 %); *d* – steel electric-welded pipes with internal polymer coating "Amerkot-391" according to GOST 20295–85 (3–5 %); *e* – high-strength cast iron with spheroidal graphite with polyurethane internal and external coating according to EN 545–2010 (3 %)

В соответствии с СП 399.1325800.2018 гидравлический расчет напорных трубопроводов (труб) производится по заданному расходу q и давлению

¹ URL: <https://instrument.ms/raskhodnye-materialy-i-osnastka/osnastka-dlya-sistem-vodosnabzheniya/truby-napornye-dlya-nasosov/tm-dzhileks/truba-pnd-32kh2-4mm-1m-dzhileks-re100>

² URL: <https://tera-plast.ru/truba-obsadnaya-pvh-195-mm/>

³ URL: <https://25torg.com/en/obyavlenie/kompozitnye-truby-3c1cd4da92.html>

⁴ URL: https://www.tpl96.ru/goods/247218711-emal_trepp_tr_90

⁵ URL: <https://www.tcpumpparts.com/dn125-twin-wall-concrete-pump-pipe/>

PN. Для определения величины потерь напора по длине h_l рассматриваемого участка и выбора фактического внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}^{\phi}$, а также характеристик насосного оборудования используются известные формулы [1, 2].

Потери напора по длине h_l , м, рассматриваемого участка L для напорного движения определяются по формуле

$$h_l = i \cdot L, \quad (1)$$

где i – удельные потери напора на единицу длины напорного трубопровода, м/м; L – длина рассматриваемого участка трубопровода, м.

Удельные потери напора i (без учета гидравлических сопротивлений стыковых соединений), м/м, определяются в соответствии с действующими нормами по формуле Дарси – Вейсбаха [3]:

$$i = \lambda \frac{V_{\phi}^2}{2g \cdot d_{\text{вн}}^{\phi}}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения по длине трубопровода; V_{ϕ} – фактическая средняя скорость потока жидкости, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; $d_{\text{вн}}^{\phi}$ – фактический внутренний диаметр трубопровода, м.

Коэффициент гидравлического сопротивления λ , согласно требованиям настоящего свода правил, определяется по формуле

$$\sqrt{\lambda} = \frac{0,5 \left[\frac{b}{2} + \frac{1,312(2-b) \lg \left(\frac{3,7 d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_{\Sigma}} \right)}{\lg \text{Re}_{\phi} - 1} \right]}{\lg \left(\frac{3,7 d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_{\Sigma}} \right)}, \quad (3)$$

где b – число подобия режимов движения жидкости, определяется по формуле

$$b = 1 + \frac{\lg \text{Re}_{\phi}}{\lg \text{Re}_{\text{кв}}}; \quad (4)$$

Re_{ϕ} – фактическое число Рейнольдса,

$$\text{Re}_{\phi} = \frac{V_{\phi} \cdot d_{\text{вн}}^{\phi}}{\nu}, \quad (5)$$

ν – коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с; $\text{Re}_{\text{кв}}$ – число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной области гидравлических сопротивлений при турбулентном движении жидкости:

$$\text{Re}_{\text{кв}} = \frac{500 d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_{\Sigma}}, \quad (6)$$

где K_{Σ} – коэффициент эквивалентной шероховатости, м, принимаемый по нормативным требованиям не менее $K_{\Sigma} \geq 0,00001$ м [3, 4]; при $b > 2$ принимают $b = 2$ [5].

Методы

Достаточно сложный для использования при расчетах вид формулы (3) позволил авторам предложить упрощенный вид нормативной зависимости для расчета значений коэффициента гидравлического сопротивления λ труб из любых полимерных материалов [6]:

$$\lambda = \left(\frac{0,5 \left(\frac{b}{2} + \frac{1,312(2-b)m}{n} \right)}{m} \right)^2, \quad (7)$$

где $m = \lg \frac{3,7d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_z}$ – число подобия параметров трубопровода, отражающее из-

менения значений величины фактического внутреннего диаметра труб за счет влияния технологических допусков на толщину их стенки и номинальный наружный диаметр, а также значения измеренной величины высотного параметра шероховатости внутренней поверхности труб R_a [7]; $n = \lg \text{Re}_{\phi} - 1$ – показатель, характеризующий изменение фактически транспортируемого расхода q_{ϕ} , в зависимости от изменения величины фактического внутреннего диаметра труб и физических свойств жидкости.

Подтверждено расчетами и экспериментально, что точность гидравлического расчета водопроводов из полимерных материалов (ПЭ, ПВХ, стеклопластика и металлических труб с полимерным покрытием, например, полипропилена) зависит от точности расчета параметров, входящих в расчетную зависимость, по которой производится гидравлический расчет труб [8, 9].

Учитывая, что трубопроводы из полимерных материалов работают, как правило, в квадратичной зоне гидравлических сопротивлений (иногда в переходной), значение величины параметров шероховатости труб оказывает доминирующее влияние на точность гидравлического расчета труб и, как следствие, влияет на точность расчета значений фактического энергопотребления насосного оборудования [10, 11, 12].

В СП 399.1325800.2018 величина шероховатости внутренней поверхности труб из полимерных материалов оценивается коэффициентом эквивалентной шероховатости K_z , значение которого приводится только для труб из полиэтилена, блок-сополимера, пропилена и поливинилхлорида. Отсутствие в СП 399.1325800.2018 значений K_z для труб из стеклопластика, стальных с полимерным покрытием «Амеркот-391» и ВЧШГ с полиуретановым покрытием не позволяет осуществлять обоснованный гидравлический расчет, а волевое назначение величины K_z ведет к существенным погрешностям при определении в них фактических потерь напора.

Экспериментальными исследованиями, проведенными в разное время, установлено, что между коэффициентом эквивалентной шероховатости K_z и высотным параметром физической шероховатости внутренней поверхности труб R_a существует математическая зависимость, m , имеющая вид

$$K_3 = 2R_a^{1,33}, \quad (8)$$

где R_a – среднеарифметическое абсолютное значение отклонений профиля поверхности от средней линии в пределах базовой длины, мкм (м) [13].

Приведенная ниже формула (9) позволяет без проведения трудоемких гидравлических экспериментов, измерив лишь с помощью прибора (профилографа) значение высотного параметра шероховатости R_a , определить значение коэффициента эквивалентной шероховатости K_3 и далее значение коэффициента гидравлического сопротивления λ , используя для этого государственную методику расчета значений параметров шероховатости МИ 41–75 [14].

После определения значений показателей b , m и n в формуле (7) переходят к определению значений величин коэффициента гидравлического сопротивления λ для труб из конкретного вида полимера (ПЭ, ПВХ, СП, ПУ и др.).

На основе проводимых авторами с 1976 г. по настоящее время исследований установлено, что трубы из полимерных и металлополимерных материалов характеризуются различными значениями высотного параметра шероховатости R_a и шагового S_m внутренней поверхности труб.

С учетом этих параметров О.А. Продроусом и П.П. Якубчиком была предложена формула для определения коэффициента сопротивления по длине трубопровода:

$$\lambda = \frac{0,3162}{\text{Re}_\phi^{0,25}} \left(\frac{10R_a^\phi \cdot 10^3}{S_m^\phi} + 1 \right)^{0,172} \left(\frac{2R_a^\phi \cdot 10^3}{d_{\text{вн}}^\phi} + 1 \right)^{0,475}, \quad (9)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления по длине трубопровода; R_a^ϕ – параметр шероховатости труб по МИ 41–75, мкм [12]; S_m^ϕ – фактический шаг неровностей по вершинам выступов, мкм; Re_ϕ – фактическое число Рейнольдса; $d_{\text{вн}}^\phi$ – фактический внутренний диаметр трубы в соответствии с технологическими допусками, мм.

Выполненные авторами исследования на экспериментальном стенде по сравнению фактических значений удельных потерь напора с рассчитанными по формуле (9) показали высокую сходимость результатов.

Результаты

На конкретном примере для трубопровода из полиэтилена ПЭ 100 авторами рассчитаны значения удельных потерь напора по методике, изложенной в СП 399.1325800.2018, и с использованием формулы (9).

В табл. 1 для конкретного номинального диаметра труб $d_n = 630$ мм при заданном расходе $q = 300$ л/с и давлении $P_N = 1,0$ МПа приводится сравнение значений гидравлических характеристик труб (гидравлического потенциала), подсчитанных по разным расчетным зависимостям.

Анализ значений гидравлических характеристик труб, рассчитанных по разным расчетным зависимостям (табл. 1), показывает, что коэффициент гидравлического сопротивления λ , рассчитанный по формуле (9), учитывающий значение характеристик R_a и S_m , на 43,5 % меньше рассчитанного по формулам, приведенным в СП 399.1325800.2018.

Таблица 1

**Значения гидравлических характеристик труб,
рассчитанных по разным зависимостям**

Table 1

Hydraulic characteristics of pipes calculated according to different dependences

Характеристики шероховатости труб		Гидравлические характеристики труб							
		По нормативной зависимости (3)					По формуле Продоуса – Якубчика (9)		
		$q, \text{ м}^3/\text{с}$	$d_{\text{вн}}^p, \text{ м}$	$V_p, \text{ м/с}$	λ	$i_p, \text{ мм/м}$	$d_{\text{вн}}^\phi, \text{ м}$	$V_\phi, \text{ м/с}$	$i_\phi, \text{ мм/м}$
$R_a, \text{ мкм}$	0,41	0,3	0,5528	1,25	0,01331	0,001917	0,5528	1,25	0,000835
			Процент расхождения расчетных и фактических значений (по формулам (3) и (9))						
$S_m, \text{ мкм}$	6800		–	–	–	–	0	0	53,31

В табл. 2 приведены значения коэффициента гидравлического сопротивления λ и удельных потерь напора i , полученные по формуле, рекомендованной СП 399.1325800.2018, и формуле Продоуса – Якубчика (9) при разных скоростях движения воды в трубе.

Таблица 2

**Значения гидравлических характеристик труб,
рассчитанных по различным методикам**

Table 2

Hydraulic characteristics of pipes calculated by different methods

Скорости потока $V, \text{ м/с}$	0,5	1,0	1,5	2	2,5
По нормативной зависимости (3)					
λ	0,01536	0,01375	0,01297	0,01247	0,01211
$i, \text{ мм/м}$	0,00035	0,00127	0,00269	0,00460	0,00698
По формуле Продоуса – Якубчика (9)					
λ	0,01601	0,01346	0,01217	0,01132	0,01071
$i, \text{ мм/м}$	0,00037	0,00124	0,00252	0,00418	0,00617

По данным табл. 2 на рис. 2 приведен график зависимости $i_\phi = f(V_\phi)$ для скоростей в диапазоне значений $V_\phi = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 \text{ м/с}$.

Из графика следует, что значения удельных потерь напора на единицу длины трубопровода i_ϕ , рассчитанного по разным зависимостям, отличаются, и эти отклонения увеличиваются при возрастании скорости и превышают значение 13 %. Значение λ , рассчитанное по зависимости (9), следует считать бо-

лее точным, т. к. оно наиболее полно характеризует форму и структуру шероховатости внутренней поверхности трубы.

Сравнение результата гидравлического расчета труб по справочному пособию Шевелева [15] дает для условия задачи расхождение значений коэффициента λ в сравнении с результатом расчета по формуле (9) 68,65 %, т. е. при гидравлических расчетах труб из полимерных и металлополимерных материалов использовать таблицы Шевелева не рекомендуется.

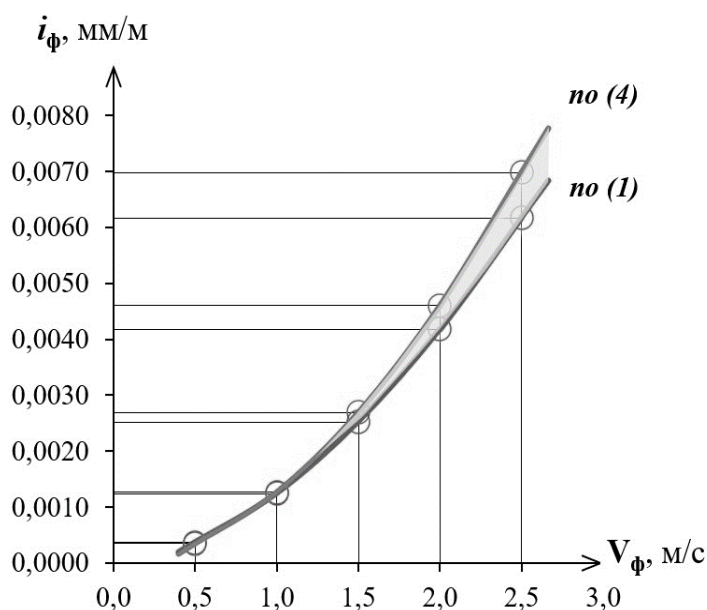


Рис. 2. Графики зависимости $i_\phi = f(V_\phi)$
Fig. 2. Dependences $i_\phi = f(V_\phi)$

С учетом этого в работах авторского коллектива настоящей статьи была разработана методика производственного контроля значений параметров шероховатости внутренней поверхности труб из разных полимерных материалов, позволяющая прогнозировать значение λ по измеренным с помощью профилометра значениям характеристик шероховатости труб R_a и S_m , зная которые, в заводских условиях можно рассчитывать по формуле (1) значения λ и далее по формуле Дарси – Вейсбаха (2) вычислять значения i_ϕ .

В табл. 3 приведены значения параметров шероховатости труб R_a и S_m , полученные по данным исследования большого количества образцов труб из разных полимерных материалов, а также значения гидравлических уклонов, подсчитанные для рассматриваемого выше примера трубопроводов из разных материалов с диаметром условного прохода 600 мм при расходе 300 л/с.

В этом случае $d_{\text{вн}}^p = d_n - 2e$, мм, рассчитано по нормативной зависимости СП 399.1325800–2018, где $d_{\text{вн}}^p$ – расчетный внутренний диаметр трубы, мм; d_n – наружный диаметр трубы, мм; e – толщина стенки трубы, мм.

Таблица 3

**Гидравлические и геометрические характеристики труб
из разных полимерных и металлополимерных материалов**

Table 3

Hydraulic and geometrical parameters of polymer and metal-polymer pipes

Заданный расход q , л/с	Показатели	Материал труб диаметром 630 мм из полимерного сырья				
		ПНД ПЭ 100 по ГОСТ 18599–2001	ПВХ по ГОСТ 32413–2013	Стеклопластик СП по ГОСТ Р 54560–2015	ВЧШГ с ПУ	Сталь с полимерным покрытием Америкот-391
		Гидравлические характеристики труб и их шероховатость				
300	$d_{\text{вн}}^{\text{P}^*}$, мм	554,6	631,9	591,9	613,0	616,0
	V_p , м/с	1,24	0,96	1,09	1,02	1,01
	i_p^* , мм/м	0,00180	0,00096	0,00131	0,00110	0,00107
	R_a , мкм	0,41	0,35	0,37	0,304	0,298
	S_m , мкм	6 800	7 600	7 800	8 900	8 200

* Доля в процентах от использования труб из конкретного вида материала.

Из данных табл. 3 следует, что:

– гидравлические и геометрические характеристики сравниваемых труб отличаются по причине разной толщины стенок труб e по государственным стандартам для каждого вида материала;

– наиболее выгодным, имеющим наименьшие потери напора, следует считать трубопровод из ПВХ по ГОСТ 32413–2013.

Выводы

Изложенные в статье материалы позволяют сделать следующие выводы:

1. Необходимо проведение дополнительных исследований шероховатости внутренней поверхности труб из разных видов полимерных материалов с последующей разработкой нормативных требований на величину коэффициента эквивалентной шероховатости K , и внесение их в действующий СП 399.13258800.2018.

2. Для выполнения гидравлического расчета и обоснования выбора диаметров труб из конкретных видов полимерных материалов необходимо разработать сводные (общие) таблицы для гидравлического расчета трубопроводов из разных полимерных и металлополимерных материалов с учетом фактических значений характеристик шероховатости труб R_a и S_m .

3. Внести в государственный стандарт на трубы из разных полимерных и металлополимерных материалов (по виду) требования обязательного производственного контроля значений параметров шероховатости R_a и S_m на партии выпускаемых труб, которые должны указываться на производстве в Техническом паспорте продукции на каждую конкретную партию (заказ). Это позво-

лит по формуле (9) Продоуса – Якубчика рассчитывать величины значений λ , а затем по формуле (3) рассчитывать значения удельных потерь напора $1000i$.

Повышение точности гидравлического расчета трубопроводов из полимерных материалов предусматривает использование при этом расчетной зависимости (9), учитывающей значения высотного R_a и шагового S_m параметров шероховатости труб по ГОСТ 2789–73 с помощью приборов профильного метода МИ 41–75.

Формула (9) обладает практической особенностью – учитывает изменение фактических значений параметров шероховатости труб, которые в первую очередь зависят от качества исходного полимерного сырья, температуры охлаждения готовой трубы и других технологических факторов.

Достоинством формулы (9), кроме повышенной точности, подтвержденной конкретным примером, является возможность с ее помощью прогнозировать гидравлические характеристики труб, изменяя (регулируя) значения их параметров шероховатости R_a и S_m .

Впервые в отечественной практике приводятся выборки из таблиц для гидравлического расчета водопроводов из ПВХ, стеклопластика (СП) и металлических труб с полимерным покрытием «Амеркот-391».

Авторами составлены обобщенные таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из разных видов полимерных материалов с разной шероховатостью их внутренней поверхности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Продоус О.А., Якубчик П.П. Влияние гидравлических характеристик труб из полимерных материалов на величину фактических потерь напора в трубопроводах // Инженерные системы. 2023. № 1. С. 46–50.
2. Продоус О.А., Васильева М.А. Упрощенный вид нормативной зависимости для проведения гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 9. С. 53–55.
3. Фоминых А.В., Тельминов А.В., Ковишова Н.А. Зависимость коэффициента потерь на трение по длине трубы в гидравлических системах АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 3 (27). С. 79–82.
4. Абдуламид Л.С., Орлов В.А., Джумагулова Н.Т. Гидравлический эксперимент на безнапорном трубопроводе из полимерного материала // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 4. С. 487–500.
5. Воронов Ю.В., Журов В.Н. Пластмассовые трубы, их характеристики и область применения. Стокгольм, Швеция : NPG, 2000. 114 с.
6. Добромыслов А.Я., Продоус О.А., Шашкова И.Л. О качестве внутренней поверхности пластмассовых труб // Водоснабжение и санитарная техника. 1987. № 5. С. 6–8.
7. Добромыслов А.Я., Продоус О.А. О связи между эквивалентной равномерно-зернистой шероховатостью и параметрами физической шероховатости труб из различных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1987. № 5. С. 92–96.
8. Продоус О.А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена : справочное пособие. 3-е изд., доп. Санкт-Петербург : ООО «Свое издательство», 2017. 240 с.
9. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Особенности гидравлического расчета водопроводов из металлических, полимерных и металлополимерных труб. Терминологический словарь по наружным сетям водоснабжения и канализации. Москва : Перо, 2023. 288 с.
10. Продоус О.А. Влияние колебаний значений параметров, входящих в нормативную зависимость СП 40-102–2000, на величину потерь напора в трубах из разных полимерных материалов // Инженерные системы. 2019. № 4. С. 50–53.

11. Методика измерения параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73 при помощи приборов профильного метода. МИ 41–75. Москва : Изд-во стандартов, 1975. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293815/4293815845.htm>
12. Mokhov A.I., Komarov N.M., Abrosimova I.A. Information model of intelligent support for effective decisions // Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies: Selected Papers. Cham : Springer International Publishing, 2022. P. 191–198.
13. Orlov V., Zotkin S. Influence of the temperature factor on the hydraulic re-sistance of pressure pipes // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2021. V. 263. P. 04004.
14. Продоус О.А., Якубчик П.П. Гидравлический расчет трубопроводов из полимерных материалов с учетом параметров шероховатости внутренней поверхности труб // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 11. С. 55–60.
15. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. 5-е изд., доп. Москва : Стройиздат, 1973. 112 с.

REFERENCES

1. Prodous O.A., Yakubchik P.P. Influence of hydraulic characteristics of polymer pipes on actual pressure losses. *Inzhenernye sistemy*. 2023; (1): 46–50. (In Russian)
2. Prodous O.A., Vasilyeva M.A. A simplified type of regulatory dependence for hydraulic calculations of polymer pipelines. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2017; (9): 53–55. (In Russian)
3. Fomin A.V., Telminov A.V., Kovshova N.A. Dependence of friction loss coefficient on pipe length in hydraulic systems. *Vestnik Kurganskoi GSKhA*. 2018; 3 (27): 79–82. (In Russian)
4. Abdulamir L.S., Orlov V.A., Dzhumagulova N.T. Hydraulic experiment on a pressure-free pipeline made of polymer material. *Vestnik MGSU*. 2022; 17 (4): 487–500. (In Russian)
5. Voronov Yu.V., Zhurov V.N. Plastic pipes, their characteristics and scope of application. Stockholm, Sweden: NPG, 2000. 114 p. (In Russian)
6. Dobromyslov A.Ya., Prodous O.A., Shashkova I.L. Quality of inner surface of plastic pipes. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 1987; (5): 6–8. (In Russian)
7. Dobromyslov A.Ya., Prodous O.A. Relationship between equivalent uniform-grained roughness and physical roughness parameters of pipes made of different materials. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1987; (5): 92–96. (In Russian)
8. Prodous O.A. Tables for hydraulic calculation of polyethylene pressure pipes. 3rd ed., Saint-Petersburg: ООО "Svoe izdatel'stvo", 2017. 240 p. (In Russian)
9. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychkov D.I. Hydraulic calculation of water pipelines made of metal, polymer and metal-polymer pipes. Terminological dictionary on outdoor water supply and sewerage networks. Moscow: Pero, 2023. 288 p. (In Russian)
10. Prodous O.A. Different values of parameters included in SP 40-102–2000 affecting head losses in polymer pipes. *Inzhenernye sistemy*. 2019; (4): 50–53. (In Russian)
11. Method of measuring surface roughness parameters according to GOST 2789–73 using profile method devices. Moscow, 1975. Available: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293815/4293815845.htm> (In Russian)
12. Mokhov A.I., Komarov N.M., Abrosimova I.A. Information model of intelligent support for effective decisions. Building Lifecycle Management. Information Systems and Technologies: Selected Papers. Cham: Springer International Publishing, 2022. Pp. 191–198.
13. Orlov V., Zotkin S. Influence of the temperature factor on the hydraulic resistance of pressure pipes. *E3S Web of Conferences*. 2021; 263: 04004.
14. Prodous O.A., Yakubchik P.P. Hydraulic calculation of polymer pipelines taking into account inner surface roughness. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2020; 11: 55–60. (In Russian)
15. Shevelev F.A. Tables for hydraulic calculation of steel, cast iron, asbestos cement, plastic and glass water pipes. 5th ed., Moscow: Stroyizdat, 1973. 112 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Продоус Олег Александрович, докт. техн. наук, профессор, независимый эксперт по «Водоснабжению и водоотведению», 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 37/1, лит. А, пом. 1-Н, pro@enco.su

Якубчик Петр Петрович, канд. техн. наук, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, P.jakub@mail.ru

Терехов Лев Дмитриевич, докт. техн. наук, профессор, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, levter4@rambler.ru

Шлычков Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, ShlyichkovDI@mgsu.ru

Authors Details

Oleg A. Prodous, DSc, Professor, Independent Expert "Water and Sanitation", 37/1, Moskovskii Ave., Letter A, Build. 1-N, 190005, Saint-Petersburg, Russia, pro@enco.su

Piotr P. Yakubchik, DSc, A/Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, P.jakub@mail.ru

Lev D. Terekhov, DSc, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, levter4@rambler.ru

Dmitrii I. Shlyichkov, PhD, A/Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, ShlyichkovDI@mgsu.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.11.2023
Одобрена после рецензирования 07.12.2023
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 25.11.2023
Approved after review 07.12.2023
Accepted for publication 16.01.2024