



Сравнительный анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения

© О. А. Продоус¹, Д. И. Шлычков²

¹ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Резюме: Цель работы заключается в проведении сравнительного анализа расчетных зависимостей – формул А. Шези и Н.Ф. Федорова – для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения. По данным формулам на конкретном примере был рассчитан гидравлический уклон самотечного трубопровода и определен процент расхождения значений фактических характеристик гидравлического потенциала труб. Полученные данные показали, что результаты расчетов по формуле А. Шези имеют наибольшую точность. Был уточнен внешний вид формулы А. Шези за счет введения понятия «приведенный внутренний диаметр труб». Построен график зависимости $i = f(d_{пр})$, свидетельствующий о том, что уточненный вариант расчетной формулы А. Шези, в сравнении с классическим, дает более точные результаты. Рекомендовано использовать уточненную формулу А. Шези для проведения гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения. Предложено разработать расчетные таблицы для гидравлического расчета сетей водоотведения с внутренними отложениями.

Ключевые слова: внутренние отложения, расчетная зависимость, сети водоотведения, гидравлический расчет, слой отложений, гидравлический уклон

Для цитирования: Продоус О. А., Шлычков Д. И. Сравнительный анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 462–469. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-462-469>.

Comparative analysis of empirical dependencies for hydraulic calculation of wastewater gravity flow network

Oleg A. Prodous, Dmitriy I. Shlychkov

INCO-Expert LLC, St. Petersburg, Russia

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

Abstract: In this work, we carried out a comparative analysis of empirical dependences (A. Chézy and N.F. Fedorov formulas) for the hydraulic calculation of wastewater gravity flow networks. Using these formulas on a specific example, the hydraulic slope of a gravity pipeline was calculated and the error in the values of the actual hydraulic potential characteristics of the pipes was determined. The data obtained showed that calculations using the Chézy formula ensure the highest accuracy. The A. Chézy formula was revised by introducing the concept of reduced pipe inner diameter. The dependency graph $i = f(d_{pr})$ was plotted, indicating that the revised version of the A. Chézy formula gives more accurate results than the classical one. The revised A. Chézy formula is recommended for the hydraulic calculation of wastewater gravity flow networks. We proposed developing calculation tables for the hydraulic calculation of wastewater drainage flow networks with internal deposits.

Keywords: internal sediments, calculated dependence, drainage networks, hydraulic calculation, sediment layer, hydraulic slope

For citation: Prodous O. A., Shlychkov D. I. Comparative analysis of empirical dependencies for hydraulic calculation of wastewater gravity flow network. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo*.

Введение

Режим движения сточных вод в действующих самотечных сетях водоотведения неравномерен, что обусловлено следующими причинами:

- изменением диаметров сети, местными сопротивлениями движению потока (повороты, тройники и др.);
- боковыми присоединениями и перепадами высотных отметок сети;
- просадками трассы и наличием крупных механических частиц (гравий, щебень, ветки деревьев и пр.);
- отложениями на внутренних стенках труб.

Основным требованием СП 32.130330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» является пропуск расчетных расходов q при самоочищающих скоростях движения транспортируемых сточных вод. То есть фактическая скорость самотечного потока V_{ϕ} должна быть всегда больше или равна $V_{\min}$:

$$V_{\phi} \geq V_{\min}.$$

Нарушение этого требования на практике приводит к образованию слоя отложений h в лотковой части труб (рис. 1), изменяющего значения фактических характеристик их гидравлического потенциала: $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} .

Местные сопротивления и отложения на внутренних стенках труб оказывают основное и главное влияние на неравномерность самотечного потока сточных вод. Поэтому при гидравлическом расчете самотечных сетей водоотведения эти причины необходимо учитывать в первую очередь.

Методы

Так как расход q , перемещаемый самотеком по сетям водоотведения, не изменяется, $q = \text{const}$, то гидравлический расчет сетей водоотведения производится по формулам для равномерного движения сточных вод, работающих в квадратичной зоне сопротивлений.

Основных расчетных формул для гидравлического расчета труб – три:

1. Уравнение неразрывности потока:

$$q = \omega \cdot V, \quad \text{м}^3/\text{с},$$
$$V = \frac{q}{\omega} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}, \quad \text{м/с}, \quad (1)$$

где ω – площадь живого сечения, м^2 ,
 $\omega = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}$; V – средняя скорость потока жидкости, м/с ; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр труб, м .

2. Формула А. Шези:

$$V = C \sqrt{R \cdot i}, \quad \text{м/с}, \quad (2)$$

где C – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости стенок труб, а также свойства и состав сточной жидкости (вязкость, наличие взвешенных частиц и др.); R – гидравлический радиус, м , $R = \frac{d_{\text{вн}}}{4}$; i – гидравлический уклон, мм/м (м/м).

3. Формула профессора Н.Ф. Федорова:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_3}{13,68R} + \frac{\alpha_2}{Re} \right), \quad (3)$$

где λ – коэффициент сопротивления; Δ_3 – эквивалентная абсолютная шероховатость стенок труб, м : $0,6 \leq \Delta_3 \leq 2 \text{ мм}$ [4]; R – гидравлический радиус, $R = \frac{d_{\text{вн}}}{4}$; α_2 – коэффициент, учитывающий характер шероховатости стенки трубы и структуру потока жидкости с взвесью, $70 \leq \alpha_2 \leq 100$ [4]; Re – число Рейнольдса, $Re = \frac{V \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}$; ν – коэффициент кинематической вязкости, зависящий от температуры сточной жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Коэффициент C для квадратичной зоны $\lambda = f(Re)$ в формуле (2) называют коэффициентом А. Шези и определяют по формуле:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (4)$$

где y – переменная величина, зависящая от величины гидравлического радиуса R и значения коэффициента шероховатости n .

Согласно рекомендациям акад. Н.Н. Павловского, значение показателя степени y вычисляют по формуле [3]:

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(n - 0,10). \quad (5)$$

Для практических расчетов принимают

$$y \cong 1,5\sqrt{n}. \quad (6)$$

Тогда формула (4) принимает вид (формула Р. Маннинга):

$$C = \frac{R^{(1,5\sqrt{n})}}{n} = \frac{R^{1/6}}{n}, \quad (7)$$

где n – коэффициент шероховатости. Для практических расчетов принимают значения в диапазоне $n = 0,012 \div 0,014$.

В процессе эксплуатации сетей водоотведения в трубах из разных материалов, в зависимости от скорости потока V и состава сточных вод, возникают отложения в лотковой части труб, как показано на рис. 1.

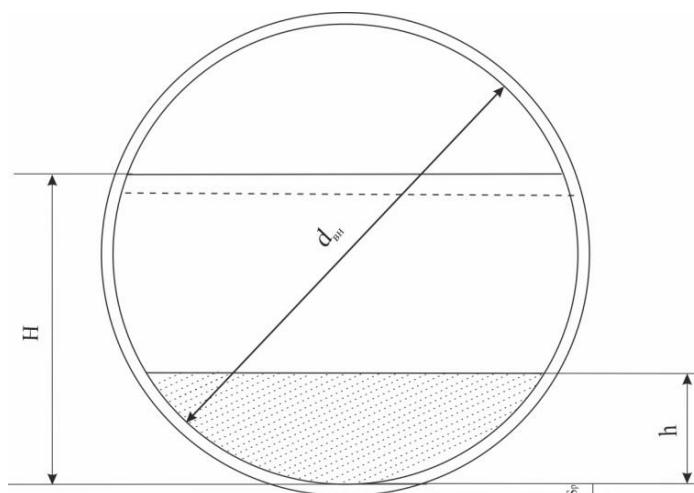


Рис. 1. Фрагмент отложений в лотковой части бетонных труб
Fig. 1. Fragment of sediments in the chute part of concrete pipes

Формулы (1), (2) и (3) не учитывают влияние толщины слоя отложений h на значение фактических характеристик гидравлического потенциала труб $d_{вн}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} [5], поэтому требуется выбрать из трех формул одну, дающую наиболее точный результат при гидравлическом расчете. Произведем гидравлический расчет самотечной сети водоотведения (рис. 2) на конкретном примере.

Результаты и их обсуждение

Условия задачи

По самотечной сети водоотведения из бетонных труб (ГОСТ 20054-2016) диаметром $d_{вн} = 400$ мм (0,4 м) с толщиной стенки $S_p = 0,055$ м (рис. 1) транспортируется расход бытовых сточных вод $q = 0,15$ м³/с (150 л/с) с количеством взвешенных веществ $BV = 400$ мг/л. Температура сточных вод $t^{\circ} = 10^{\circ}$ С. Толщина слоя осадка в лотковой части трубы $h = 0,1$ м. Требуется рассчитать значения фактических характеристик гидравлического потенциала труб $d_{вн}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} по трем формулам расчета (1), (2) и (3) и показать процент расхождения значений этих параметров.

Решение

Методика определения значений трех характеристик гидравлического потенциала труб следующая:

1. Определяем значение $d_{вн}$ для новой бетонной трубы (рис. 1):

$$d_{вн} = d_n - 2S_p = 0,511 - (2 \cdot 0,055) = 0,4 \text{ м}$$

и для трубы с толщиной слоя отложений $h = 0,1$ м:

$$d_{вн}^{\phi} = (d_n - 2S_p) - h = 0,4 - 0,1 = 0,3 \text{ м},$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы по ГОСТ, м; d_n – наружный диаметр трубы по ГОСТ, м; S_p – толщина стенки бетонной трубы по ГОСТ,

м; h – толщина слоя осадка по условиям задачи, $h = 0,1$ м.

2. Определяем по формуле (1) среднюю скорость самотечного потока V в новой трубе и в трубе с отложениями V_{ϕ} :

$$V = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{вн}^2} = \frac{4 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 0,4^2} = \frac{0,6}{0,5024} = 1,19, \text{ м/с};$$

$$V_{\phi} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{вн}^{\phi})^2} = \frac{4 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 0,3^2} = \frac{0,6}{0,2826} = 2,12, \text{ м/с}.$$

3. По формуле (8) рассчитываем значение коэффициентов гидравлического сопротивления λ для новой трубы и трубы со слоем отложений $h = 0,1$ м [1] и определяем по формуле Дарси – Вейсбаха значение гидравлического уклона i для новой бетонной трубы и трубы со слоем отложений $h = 0,1$ м:

$$i = \lambda \frac{V^2}{2g \cdot d_{вн}}, \text{ мм/м (м/м)},$$

$$i_{\phi} = \lambda_{отл} \frac{V_{\phi}^2}{2g \cdot d_{вн}^{\phi}}, \text{ мм/м (м/м)}. \quad (8)$$

При расчете гидравлического радиуса R в формуле (4) и площади живого сечения ω используются тригонометрические функции, в зависимости от степени наполнения $\frac{H}{d_{вн}}$.

Расчет производится по формуле [1]:

$$R = 0,25 d_{вн} \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi}\right), \quad (9)$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр труб, м;

$$d_{вн} = d_n - 2S_p; \quad (10)$$

d_n – наружный диаметр труб по ГОСТ, м; S_p – толщина стенки трубы по ГОСТ, м; φ – угол между двумя хордами от центра трубы к поверхности отложений;

$$\omega = 0,125 d_{вн}^2 (y - \sin \varphi), \text{ м}^2. \quad (11)$$

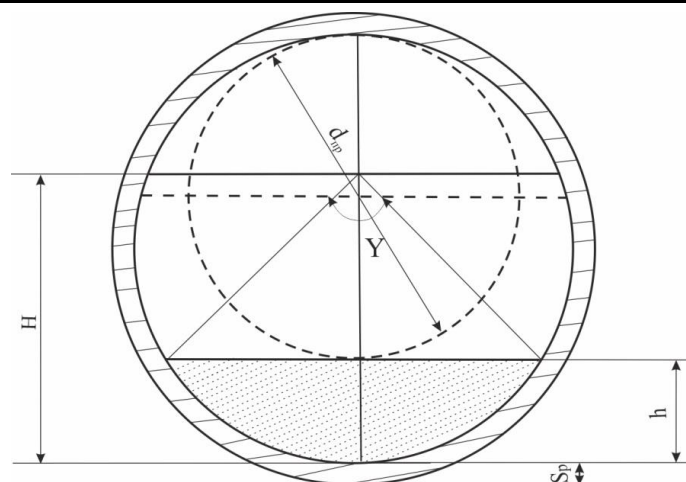


Рис. 2. Геометрические параметры потока в самотечных сетях водоотведения
Fig. 2. Geometric parameters of the flow in gravity drainage networks

В настоящее время существуют две методики гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения.

Первая методика справедлива для области вполне шероховатого режима турбулентного потока жидкости.

Расчет производится по формуле А. Шези (4):

$$V = C \sqrt{R \cdot i}, \text{ м/с,}$$

где C – коэффициент А. Шези, определяемый по формуле Н.Н. Павловского [1]; R – гидравлический радиус, $R = \frac{d_{\text{вн}}}{4}$, м; i – гидравлический уклон лотка трубы, м/м (мм/м).

Вторая методика – расчет производителя по формуле Н.Ф. Федорова, справедливой для всех трех режимов турбулентного течения:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_3}{13,68R} + \frac{\alpha_2}{Re} \right),$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; Δ_3 – коэффициент, зависящий от

шероховатости внутренней поверхности труб [2]; α_2 – коэффициент, зависящий от характера шероховатости труб, то есть от вида материала (бетон, стеклопластик и т.д.); $Re_\phi = \frac{V \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}$ – число Рейнольдса; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, зависящий от ее температуры, м²/с.

Обе методики гидравлического расчета труб связаны соотношением:

$$C = \left(\frac{8 \cdot g}{\lambda} \right)^{0,5}, \text{ или } C^2 = \frac{8 \cdot g}{\lambda}, \quad \lambda = \frac{8 \cdot g}{C^2},$$

$$C = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}}. \quad (12)$$

По условиям для приведенного примера произведем для сравнения гидравлический расчет труб по формуле (2) А. Шези и по формуле (3) Н.Ф. Федорова. Результаты расчета сведены в табл. 1.

Анализ значений i в табл. 1 показывает большую точность формулы А. Шези, в сравнении с расчетом по формуле Н.Ф. Федорова.

Таблица 1. Результаты расчетов

Table 1. Calculation results

Вид расчетной зависимости	Расчетные характеристики труб		
	C	λ	i , м/м
Формула А. Шези	65,15	0,01849	0,00286
Формула Н.Ф. Федорова	–	0,04759	000859

Процент расхождения значений i составляет 66,71 %, или в 3,0 раза. Поэтому основной расчетной зависимостью для гидравлического расчета труб без внутренних отложений является формула:

$$\lambda = \frac{8 \cdot g}{C^2}.$$

Аналогично данная формула используется в расчетах для труб с отложениями.

Для приведенного примера в табл. 2 представлены результаты расчетов значений характеристик труб при толщине слоя отложений $h = 0,1$ м.

Таблица 2. Результаты расчетов значений характеристик труб при толщине слоя отложений $h = 0,1$ м

Table 2. The results of calculating the values of pipe characteristics with a layer thickness of deposits $h = 0.1$ m

Вид расчетной зависимости	Значения расчетных характеристик труб		
	C	λ	i , м/м
Формула А. Шези (14)	99,60	0,00791	0,01126
Формула Н.Ф. Федорова (3)	—	0,03191	0,04541

Из табл. 2 также следует, что формула А. Шези (2) является более точной, чем формула Н.Ф. Федорова (3), так как значение $i = 0,01126$ м/м меньше значения $i = 0,04541$ м/м на 75,20%, или в 4,03 раза. При гидравлических расчетах самотечных сетей водоотведения следует всегда использовать более точную зависимость, учитывающую величину значений приведенного диаметра труб с отложениями $d_{пр}$, определяемую по формуле [6, 7]:

$$d_{пр} = \sqrt{d_{вн}^2 - [(d_{н} - 2S_p) - h]^2} = \sqrt{d_{вн}^2 - (d_{вн} - h)^2}, \text{ м.} \quad (13)$$

Зависимость (3) характеризует свободную площадь смоченного периметра трубы $\omega_{пр}$ между ее сводом и поверхностью труб с отложениями и повышает точность расчета характеристик самотечного потока в таких тру-

бах. На рис. 3 приведен график зависимостей $i = f(d, d_{пр})$. Из данного графика следует, что для условий приведенного примера значения гидравлического уклона i для новых труб существенно отличаются от значений $i_{пр}$ для труб с отложениями $h = 0,1$ м. В табл. 3 представлены значения характеристик, по которым построены графики на рис. 3 для новых труб: $d = 0,15, 0,20, 0,25, 0,30$ и $0,40$ м.

Уточненная авторами формула А. Шези (14), за счет введения понятия $d_{пр}$ формулой (13), приобретает вид:

$$i_{пр} = \frac{4 \cdot (V_{пр})^2}{C^2 \cdot d_{пр}}, \text{ м/м.} \quad (14)$$

Анализ значений i , представленных в табл. 3, показывает, что расчет значений i по уточненной авторами формуле (14) отличается от значений i по классической формуле (2) на 73,43 % или в 3,76 раза.

Таблица 3. Значения параметров труб по формулам А. Шези (8) и Н.Ф. Федорова (3)

Table 3. Values of pipe parameters according to the formulas of A. Shezy (8) and N.F. Fedorov (3)

Вид расчетной зависимости	Средние значения расчетных характеристик труб		
	C	λ	i , м/м
Формула А. Шези (8)	59,35	0,14943	1,18868
Формула Н.Ф. Федорова (3)	57,64	0,15382	0,31583

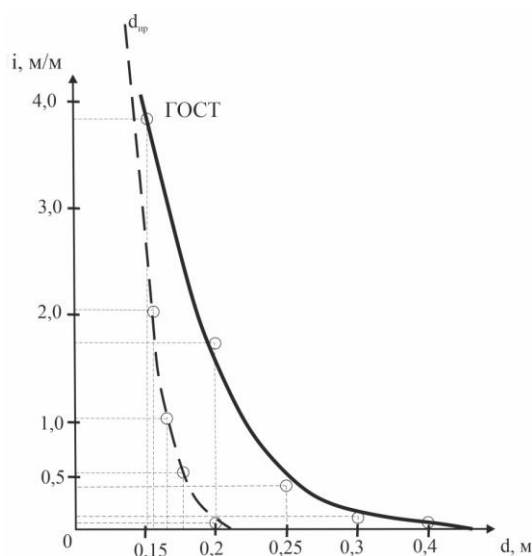


Рис. 3. График зависимостей $i = f(d, d_{пр})$

Fig. 3. Dependency graph $i = f(d, d_{пр})$

На рис. 3 представлены графики зависимости $i = f(d, d_{пр})$, демонстрирующие расхождение значений i , подсчитанных по формулам (14) и (12).

Заключение

Таким образом, представленный в статье анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоот-

ведения с внутренними отложениями позволяет рекомендовать для практического применения уточненную авторами формулу А. Шези (14), по которой следует разработать справочное пособие «Таблицы для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями» [8–13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бляшко Я.И. Использование канализационных стоков водоканалов напорно-самотечных водоводов и сбросов ТЭЦ для выработки электрической энергии // Главный энергетик. 2020. № 6. С. 35–44.
2. Воинцева И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб // Инженерные системы. 2019. № 1. С. 44–47.
3. Воинцева И.И., Нижник Т.Ю., Стрикаленко Т.В., Баранова А.И. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида // Вода: химия и экология. 2018. № 10–12 (117). С. 99–108.
4. Продоус О.А., Новиков М.Г., Самбурский Г.А., Шпилов А.А., Терехов Л.Д., Якубчик П.П. и др. Рекомендации по реконструкции неметаллических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна. СПб. – М.: Свое издательство, 2021. 40 с.
5. Продоус О.А. Зависимость продолжительности исследования металлических трубопроводов водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб // Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения» (Москва, 19 марта 2020). М.: МИСИ – МГСУ, 2020. С. 113–117.
6. Продоус О.А. Методика оценки продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. № 1 (157). С. 4–10.
7. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Об изменении значений гидравлических характеристик напорных канализационных коллекторов из стальных и чугунных труб с внутренними отложениями // Известия вузов. Строительство. 2020. № 12 (744). С. 70–77.
8. Орлов В.А. Энергосбережение как результат реконструкции водопроводных сетей бестраншейными методами // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: сборник докладов Первой Национальной конференции (Москва, 30 сентября 2020 года). Москва, 2020. С. 866–870.
9. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения: монография. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 418 с.
10. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. М.: Издательский Дом «Бастет», 2014. 382 с.
11. Шлычков Д.И. Проблемы технического состояния действующих трубопроводных систем // Инновации и инвестиции. 2020. № 4. С. 207–210.
12. Shlychikov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency // Opinion. 2019. Vol. 35. № 24S. p. 1626–1636.
13. Schwermer C.U., Uhl W. Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 288. p. 112445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112445>.

REFERENCES

1. Blyashko Yal. Use of sewage effluents of water utilities, pressure-gravity water conduits and discharges of a thermal electric power plant to generate electrical energy. *Glavnyi energetik*. 2020;6:35-44. (In Russ.).
2. Vointseva II, Novikov MG, Prodous OA. Extension of the period of operation of pipelines of water supply systems made of steel and cast iron pipes. *Inzhenernye sistemy*. 2019;1:44-47. (In Russ.).
3. Vointseva II, Nizhnik TYu, Strikalenko TV, Baranova AI. Anticorrosive properties of disinfectant reagents based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2018;10-12(117):99-108. (In Russ.).

4. Prodous OA, Novikov MG, Samburskiy GA, Shipilov AA, Terekhov LD, Yakubchik PP, et al. Recommendations for the reconstruction of new metal water supply pipelines made of steel and gray cast iron. St. Petersburg – Moscow: Own Publishing House; 2021. 40 p. (In Russ.).
5. Prodous O.A. Dependence of the duration of the study of metal water supply pipelines on the thickness of the sediment layer on the inner surface of the pipes. *Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Yakovlevskie chteniya»* (Moscow, 19 March 2020). Moscow: IISS – MGSU Publ.; 2020. p. 113-117. (In Russ.).
6. Prodous OA. Methodology for assessing the continued use of metal pipelines in water supply and drainage systems. *Vodoочистка. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2021;1(157):4-10. (In Russ.).
7. Prodous OA, Shlychikov DI. On the change in the values of the hydraulic characteristics of pressure sewer headers made of steel and cast iron pipes with internal deposits. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction*. 2020;12(744):70-77. (In Russ.).
8. Orlov VA. Energy saving as a result of reconstruction of water supply networks by trenchless methods. *Aktual'nye problemy stroitel'noi otrasli i obrazovaniya: Sbornik dokladov Pervoi Natsional'noi konferentsii* (Moscow, 30 September 2020). Moscow, 2020. p. 866-870. (In Russ.).
9. Chupin RV. Optimization of developing drainage systems: monograph. Irkutsk: ISTU Publ.; 2015. 418 p. (In Russ.).
10. Shevelev FA, Shevelev AF. Tables for hydraulic calculation of water pipes. M.: Publ. House "Bastet"; 2014. 382 p. (In Russ.).
11. Shlychikov DI. Problems of technical condition of existing pipeline systems. *Innovatsii i investitsii*. 2020;4:207-210. (In Russ.).
12. Shlychikov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency. *Opicion*. 2019;35(24S):1626-1636.
13. Schwermer CU, Uhl W. Calculating expected effects of treatment effectivity and river flow rates on the contribution of WWTP effluent to the ARG load of a receiving river. *Journal of Environmental Management*. 2021;288:112445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112445>.

Сведения об авторах

Продоус Олег Александрович,
доктор технических наук,
генеральный директор,
ООО «ИНКО-эксперт»,
190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т,
37/1, Россия,
e-mail: pro@enco.su
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>

Шлычков Дмитрий Иванович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
водоснабжения и водоотведения,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
✉e-mail: ShlychikovDI@mgsu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>

Information about the authors

Oleg I. Prodous,
Dr. Sci. (Eng.),
General Director,
INCO-Expert LLC,
37/1 Moskovsky pr-t, St. Petersburg, 190005,
Russia,
e-mail: pro@enco.su
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>

Dmitriy I. Shlychikov,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor
of the Department of Water Supply and Water
Disposal,
Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337,
Russia,
✉e-mail: ShlychikovDI@mgsu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 30.06.2021.
Одобрена после рецензирования 27.07.2021.
Принята к публикации 29.07.2021.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

The article was submitted 30.06.2021.
Approved after reviewing 27.07.2021.
Accepted for publication 29.07.2021.