

О. А. ПРОДОУС
П. П. ЯКУБЧИК
Д. И. ШЛЫЧКОВ
Е. С. СМОЛИН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗНОШЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОВОДОВ, РАССЧИТАННЫХ ПО ФОРМУЛАМ РАЗНЫХ АВТОРОВ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE HYDRAULIC CHARACTERISTICS
OF WORN-OUT METAL WATER PIPES CALCULATED ACCORDING
TO THE FORMULAS OF DIFFERENT AUTHORS

Цель работы: выполнить сравнение результатов гидравлического расчета металлических водопроводных труб по трем известным зависимостям. **Методы:** Определены расчетные зависимости, используемые для выполнения гидравлического расчета металлических водопроводных труб. **Результаты и обсуждение:** Предложено производить гидравлический расчет изношенных металлических водопроводных труб с внутренними отложениями по уточненной формуле Ф.А. Шевелева, учитывающей толщину слоя отложений на потери напора в трубах и обладающей достаточной точностью. **Заключение:** Рекомендовано использовать для гидравлических расчетов труб уточненную формулу профессора Ф.А. Шевелева, учитывающую изменение их фактического внутреннего диаметра из-за образования изменяющегося во времени слоя внутренних отложений.

Ключевые слова: металлические водопроводные сети, внутренние отложения, гидравлический расчет труб

Purpose: To compare the results of the hydraulic calculation of metal water pipes according to three known dependencies. **Methods:** The calculated dependencies used to perform the hydraulic calculation of metal water pipes are determined. **Results:** It is proposed to perform a hydraulic calculation of worn metal water pipes with internal deposits according to the refined formula of F.A. Sheveleva, which takes into account the thickness of the sediment layer for pressure losses in pipes and has sufficient accuracy. **Conclusion:** It is recommended to use the refined formula of Professor F.A. Shevelev for hydraulic calculations of pipes, taking into account the change in their actual internal diameter due to the formation of a time-varying layer of internal deposits.

Keywords: metal water supply networks, internal deposits, hydraulic calculation of pipes

Введение

Известно, что в металлических водопроводных сетях, находящихся в эксплуатации, изготовленных преимущественно из стали и чугуна, образуется слой отложений на внутренней поверхности, как показано на рис. 1 [1, 2].

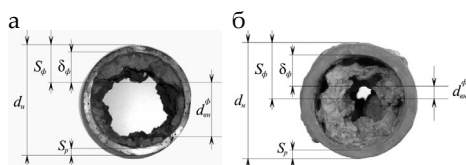


Рис. 1. Слой отложений на внутренней поверхности водопроводных труб: а – стальных; б – чугунных
Fig. 1. Layer of deposits on the inner surface of water pipes: a – steel; b – cast iron

Коэффициент гидравлического сопротивления λ , характеризующий процесс трения потока воды о внутреннюю поверхность трубы, входящий в формулу Дарси-Вейсбаха, имеет следующий вид:

$$i_{\phi} = \lambda \frac{V_{\phi}^2}{2g \cdot d_{\phi}}, \text{ мм}, \quad (1)$$

где i_{ϕ} – фактический гидравлический уклон труб – потери напора h_{ϕ} на единицу длины L , мм/м;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления труб;

V_{ϕ} – фактическая скорость движения воды, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$d_{\text{вн}}^{\phi}$ – фактический внутренний диаметр труб, зависящий от толщины слоя внутренних отложений δ_{ϕ} (см. рис. 1), м.

Формула (1) показывает, что чем больше значение λ , тем больше величина фактического гидравлического уклона труб i_{ϕ} , зависящего от $d_{\text{вн}}^{\phi}$ и V_{ϕ} [3, 4].

Значения фактических гидравлических характеристик труб из разных материалов не являются постоянными и всегда изменяют свои значения в процессе их эксплуатации при наличии изменяющейся во времени фактической толщины слоя внутренних отложений δ_{ϕ} (см. рис. 1). Поэтому учеными из разных стран в разное время были разработаны расчетные зависимости для гидравлического расчета металлических водопроводных труб, отличающиеся своей точностью. Гидравлический расчет металлических водопроводных сетей по этим формулам дает разные результаты расчета, которые, в конечном счете, оказывают влияние на подбор установок для повышения давления (насосов), предназначенных для транспортирования воды потребителям [5, 6].

Методы

Авторами на конкретном примере выполнено сравнение точности гидравлического расчета стальных электросварных водопроводных труб диаметром $d_n = 0,325$ м по трем известным зависимостям:

- по формуле Ф.А. Шевелева, уточненной авторами данной статьи в 2021 г. [7, 8]:

$$i_{\phi} = 0,00107 \frac{V_{\phi}^2}{[(d_n - 2S_p) - 2\delta_{\phi}]^{1,3}}, \text{ мм/м}; \quad (2)$$

- по формуле А.Д. Альтшуля, имеющей вид:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_{\Sigma}}{d_{\text{вн}}^{\phi}} + \frac{68}{R_{\epsilon_{\phi}}} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

где Δ_{Σ} – коэффициент эквивалентной шероховатости; изменяется в диапазоне значений от $\Delta_{\Sigma} = 0,00015$ м до $\Delta_{\Sigma} = 0,002$ м [2];

$d_{\text{вн}}^{\phi}$ – фактический диаметр трубы с внутренними отложениями δ_{ϕ} , м;

$R_{\epsilon_{\phi}}$ – фактическое число Рейнольдса, зависящее от температуры воды:

$$R_{\epsilon_{\phi}} = \frac{V_{\phi} \cdot d_{\text{вн}}^{\phi}}{\nu}, \quad (4)$$

здесь ν – коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с. При $t = 10$ °С, $\nu = 1,31 \times 10^{-6}$ м²/с;

- по формуле Колбрука-Уайта, имеющей вид:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{K_{\Sigma}}{3,7 d_{\text{вн}}^{\phi}} + \frac{2,51}{R_{\epsilon_{\phi}} \sqrt{\lambda}} \right), \quad (5)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления труб;

K_{Σ} – коэффициент эквивалентной шероховатости внутренней поверхности труб, м;

$d_{\text{вн}}^{\phi}$ – внутренний фактический диаметр труб, м;

$R_{\epsilon_{\phi}}$ – фактическое число Рейнольдса, определяемое по формуле (4).

Условия задачи

По стальному водопроводу из электросварных труб диаметром $d_n = 0,325$ м транспортируется расход воды потребителю в объеме $q = 90$ л/с (0,090 м³/с).

Фактическая толщина слоя внутренних отложений $\delta_{\phi} = 15$ мм (0,015 м).

Произвести гидравлический расчет труб для условий задачи по формулам (2), (3) и (5). Построить и проанализировать графики зависимости $1000i = f(\delta_{\phi})$, построенные по трем расчетным зависимостям.

Решение

Последовательность решения задачи для трех эмпирических зависимостей – (2), (3), (5) – предусматривает:

1. Определение значения фактического внутреннего диаметра труб по формулам (2), (3), (5) (см. рис. 1):

$$d_{\text{вн}}^{\phi} = (d_n - 2S_p) - 2\delta_{\phi}, \text{ м},$$

где S_p – толщина стенки трубы по ГОСТ [2], м;

$$d_{\text{вн}}^{\phi} = (0,325 - 2 \times 0,007) - 2 \times 0,015 = 0,311 - 0,03 = 0,281 \text{ м}.$$

2. Определение значения $d_{\text{вн}}^n$ для новой трубы без слоя внутренних отложений:

$$d_{\text{вн}}^n = d_n - 2S_p = 0,325 - 2 \times 0,007 = 0,311 \text{ м}.$$

3. Определение фактической скорости движения воды V_{ϕ}^n в новых и изношенных трубах $V_{\phi}^{\text{омл}}$ [9, 10]:

$$V_{\phi}^n = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{\text{вн}}^n)^2} = \frac{4 \cdot 0,090}{3,14 \cdot 0,311^2} = \frac{0,36}{0,3037} = 1,19 \text{ м/с};$$

$$V_{\phi}^{\text{омл}} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{\text{вн}}^{\phi})^2} = \frac{4 \cdot 0,090}{3,14 \cdot 0,281^2} = \frac{0,36}{0,2479} = 1,45 \text{ м/с}.$$

4. Определение значений i_ϕ для новых i_ϕ^n и изношенных труб $i_\phi^{омл}$ по формуле (2):

$$i_\phi^n = 0,001707 \frac{(V_\phi^n)^2}{(d_n - 2S_p)^{1,3}} = \frac{0,00107 \cdot 1,19^2}{(0,325 - 2 \cdot 0,007)^{1,3}} = \frac{0,001515}{0,311^{1,3}} = \frac{0,001515}{0,2191} = 0,006915 \text{ мм/м};$$

$$i_\phi^{омл} = 11,718 \text{ мм/м}.$$

Вычисление значений λ и i по формулам Шевелева (2), Альтшуля (3) и Колбрука-Уайта (5). Из формулы (1) Дарси-Вейсбаха:

$$\lambda(2) = \frac{i_\phi \cdot d_{вн}^\phi \cdot 2q}{V_\phi^2} = \frac{0,01172 \cdot 0,281}{1,45^2} = \frac{0,00646}{2,1025} = 0,003073;$$

$$\lambda(3) = 0,11 \left(\frac{K_\phi^{cp}}{d_{вн}^\phi} + \frac{68}{Re_\phi} \right)^{0,25};$$

$$K_\phi^{cp} = K_\phi^{мин} + \frac{K_\phi^{макс} - K_\phi^{мин}}{2} = 0,00015 + \frac{0,002 - 0,00015}{2} = 0,001075;$$

$$Re_\phi = \frac{V_\phi \cdot d_{вн}^\phi}{\nu} = \frac{1,45 \cdot 0,281}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 311\,031;$$

$$\lambda(3) = 0,11 \left(\frac{0,001075}{0,281} + \frac{68}{311\,031} \right)^{0,25} = (0,003826 + 0,0002186)^{0,25} = 0,0040446^{0,25} = 0,025218;$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda(5)}} = -2 \lg \left(\frac{K_\phi}{3,7 \cdot d_{вн}^\phi} + \frac{2,51}{Re_\phi \cdot \sqrt{\lambda}} \right) = -2 \lg(0,0010339 + \frac{2,51}{311\,031 \cdot \sqrt{\lambda}}) = 0,028697.$$

Расхождение значений λ , вычисленных по формулам (2), (3) и (5), составляет:

$\lambda(2) = 0,003073 > \lambda(3) = 0,025218$ на 29,12 % или в 1,41 раза;

$\lambda(2) = 0,003073 > \lambda(5) = 0,028697$ на 19,35 % или в 1,24 раза.

Результаты расчетов значений λ и i по формулам Ф.А. Шевелева (2), А.Д. Альтшуля (3) и Колбрука-Уайта (5) для условий приведенного примера представлены в табл. 1–3 [11–13].

По формуле (2) – в табл. 1; по формуле (3) – в табл. 2; по формуле (5) – в табл. 3.

Таблица 1. Значение величины λ , i по уточненной О.А. Продоусом и П.П. Якубчиком формуле Ф.А. Шевелева (2)
Table 1. Value of λ value, i according to the updated by O.A. Prodous and P.P. Yakubchik formula F.A. Shevelev (2)

Заданный расход $q, \text{л/с}$	Толщина слоя отложений $\delta_\phi, \text{мм}$	Фактический внутренний диаметр труб $d_{вн}^\phi, \text{м}$	Фактическая скорость в трубе $V_\phi, \text{м/с}$	Re_ϕ	λ	$i_\phi^*, \text{мм/м}$	$1000 i_\phi, \text{мм/м}$
$q = 90 \text{ л/с} = 0,090 \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,311	1,19	282 511	0,02980	0,006917	6,92
	0,005	0,301	1,27	291 809	0,03145	0,008589	8,59
	0,010	0,291	1,35	299 885	0,03335	0,010646	10,65
	0,015	0,281	1,45	311 031	0,03558	0,013569	13,57
	0,020	0,271	1,56	322 718	0,03823	0,017496	17,50
	0,025	0,261	1,68	334 718	0,04141	0,022826	22,83
	0,030	0,251	1,82	348 718	0,04533	0,030492	30,49

Таблица 2. Значения величины λ, i по формуле А.Д. Альтшуля (3)
Table 2. Values of λ, i according to the formula of A.D. Altshul (3)

Заданный расход $q, \text{л/с}$	Толщина слоя отложений $\delta_{\phi}, \text{мм}$	Фактический внутренний диаметр труб $d_{\text{вн}}^{\phi}, \text{м}$	Фактическая скорость в трубе $V_{\phi}, \text{м/с}$	Re_{ϕ}	λ	$i_{\phi}^*, \text{мм/м}$	$1000 i_{\phi}, \text{мм/м}$
$q = 90 \text{ л/с} = 0,090 \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,311	1,19	282 511	0,02712	0,006294	6,29
	0,005	0,301	1,27	291 809	0,02732	0,007461	7,46
	0,010	0,291	1,35	299 885	0,02753	0,008788	8,79
	0,015	0,281	1,45	311 031	0,02774	0,010579	10,58
	0,020	0,271	1,56	322 718	0,02797	0,012802	12,80
	0,025	0,261	1,68	334 718	0,02820	0,015543	15,54
	0,030	0,251	1,82	348 718	0,02846	0,019143	19,14

Таблица 3. Значения величины λ, i по формуле Колбрука-Уайта (5)
Table 3. λ values, i by Colbrook-White formula (5)

Заданный расход $q, \text{л/с}$	Толщина слоя отложений $\delta_{\phi}, \text{мм}$	Фактический внутренний диаметр труб $d_{\text{вн}}^{\phi}, \text{м}$	Фактическая скорость в трубе $V_{\phi}, \text{м/с}$	Re_{ϕ}	λ	$i_{\phi}^*, \text{мм/м}$	$1000 i_{\phi}, \text{мм/м}$
$q = 90 \text{ л/с} = 0,090 \text{ м}^3/\text{с}$	0	0,311	1,19	282 511	0,02930	0,006799	6,79
	0,005	0,301	1,27	291 809	0,02791	0,00762	7,62
	0,010	0,291	1,35	299 885	0,02816	0,00899	8,99
	0,015	0,281	1,45	311 031	0,02842	0,01084	10,84
	0,020	0,271	1,56	322 718	0,028697	0,01314	13,14
	0,025	0,261	1,68	334 718	0,028991	0,01598	15,98
	0,030	0,251	1,82	348 718	0,029301	0,01971	19,71

* $i_{\phi} = \lambda \frac{V_{\phi}^2}{2g d_{\text{вн}}^{\phi}}$ – формула Дарси-Вейсбаха

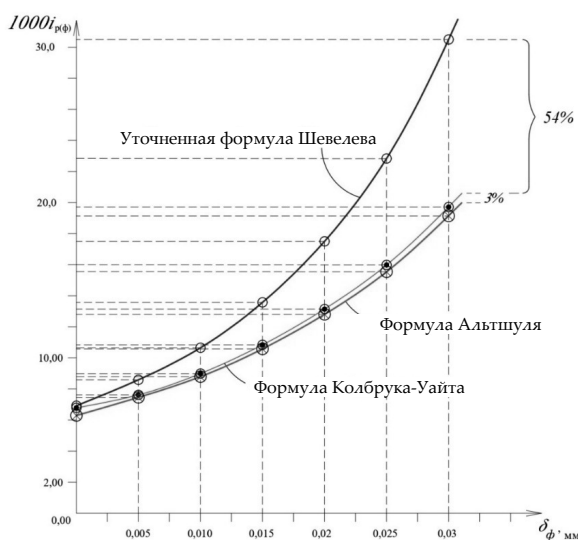


Рис. 2. Графики зависимости $1000 i_{p(ф)} = f(\delta_ф)$ по формулам разных авторов
Fig. 2. Plots of $1000 i_{p(ф)} = f(\delta_ф)$ by formulas of different authors

Заключение

Анализ значений гидравлических характеристик труб, представленных в табл. 1–3, и графиков зависимостей $1000 i = f(\delta_ф)$ на рис. 2, позволяет сделать следующие выводы:

- только в уточненной формуле (1) профессора Ф.А. Шевелева учитывается влияние фактической толщины слоя внутренних отложений $\delta_ф$, влияющей на величину удельных потерь напора $1000 i_ф$ по длине [14, 15];
- результаты расчетов по формулам (3) и (5) использовать при гидравлических расчетах труб с внутренними отложениями нельзя, так как это может привести к некорректным результатам подбора установок для повышения давления;
- из-за неучета влияния толщины слоя внутренних отложений в металлических трубах расхождение значений $1000 i_ф$ по формулам (2), (3) и (5) составляет для условий рассмотренного примера не менее 54 % (см. рис. 2);
- достаточной практической точностью при гидравлических расчетах обладает формула (2) профессора Ф. А. Шевелева, уточненная авторами данной статьи в 2021 г., по которой составлены и опубликованы для практического применения «Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями» [1].

На основе вышеприведенного примера сравнительный анализ характеристик гидравлического потенциала изношенных металлических водопроводов обосновывает применение

на практике уточненной формулы (2) профессора Ф.А. Шевелева, учитывающей гидравлическое влияние внутренних отложений на величину фактических потерь напора в металлических трубах систем водоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Продоус О.А., Шипилов А.А., Якубчик П.П. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями: справочное пособие. 1-е изд. М: Изд-во ООО «Перо», СПб. – М., 2021. 238 с.
2. ГОСТ 8.586.1-2005 (ИСО 5167-1:2003). Группа Т86. Межгосударственный стандарт. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Общие требования. М., 2007.
3. Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. Количественная оценка эффективности работы металлических сетей водоснабжения // Сборник докладов участников XVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, 16–17 марта 2023 г.). М.: Изд-во МИСИ – НИУ МГСУ, 2023. С. 64–70.
4. Продоус О.А. Методика оценки продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. №1 (157). С. 4–10.
5. Продоус О.А., Якубчик П.П., Терехов Л.Д. Анализ значений характеристик гидравлического потенциала новых стальных водопроводных труб в справочных пособиях Ф.А. Шевелева // Инженерные системы АВОК– Северо-Запад. 2021. № 1. С. 40–44.
6. Продоус О.А., Шипилов А.А., Терехов Л.Д., Якубчик П.П. Анализ погрешностей при гидравлическом расчете металлических трубопроводов водоснабжения с использованием справочных пособий Ф.А. Шевелева // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. №2 (158). С. 50–55.
7. Продоус О.А. Уточненный вид расчетной зависимости для гидравлического расчета изношенных металлических водопроводных труб с внутренними отложениями // Яковлевские чтения: сб. НИУ МГСУ. М., 2021. С. 178–193.
8. Продоус О. А., Якубчик П.П., Шипилов А.А. Прогнозирование падения рабочего давления в изношенном металлическом водоводе с отложениями при частичной замене труб на полиэтиленовые // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2021. № 2. С. 32–36.
9. Новиков М.Г., Продоус О.А. Предотвращение вторичного загрязнения воды в централизованных системах водоснабжения при ее транспортировке потребителям // Водные ресурсы и водопользование. Нур-Султан, 2021. № 12 (215). С. 17–20.
10. Продоус О.А., Якубчик П.П. Новый подход к гидравлическому расчету металлических трубо-

проводов водоснабжения с отложениями на их внутренних стенках // Инженерные системы АВОК Северо-Запад. 2022. № 1. С. 28–30.

11. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Зависимость энергопотребления насосных агрегатов напорных коллекторов водоотведения от толщины слоя осадка на внутренней поверхности труб // Сантехника, отопление, кондиционирование (С.О.К.). 2022. № 05 (245). С. 28–30.

12. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Якубчик П.П., Пархоменко С.В. Влияние толщины слоя внутренних отложений в трубопроводах систем водоснабжения и водоотведения на продолжительность периода их остаточной эксплуатации // Вестник МГСУ, 2022. Т. 17, Вып. 6. С. 738–746.

13. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Систематизация гидравлического расчета металлических сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями на стенках труб // Строительство: наука и образование. М.: НИУ МГСУ, 2022. Т. 12, Вып. 3. С. 115–124.

14. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Влияние толщины слоя отложений в водопроводных сетях и сетях водоотведения на характеристики их гидравлического потенциала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. Вып. 6. С. 129–138.

15. Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. Предельно допустимая толщина слоя внутренних отложений в металлических водопроводах для прекращения их дальнейшей эксплуатации // Инженерные системы АВОК Северо-Запад. 2023. № 3. С. 46–50.

REFERENCES

1. Prodous O.A., Shipilov A.A., Yakubchik P.P. *Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta vodoprovodnykh trub iz stali i serogo chuguna s vnutrennimi otlozheniyami: spravochnoe posobie. 1-e izd.* [Tables for hydraulic calculation of water pipes made of steel and gray cast iron with internal deposits: reference manual. 1st ed.]. Moscow, St. Petersburg, Publishing House "Pero" LLC, 2021. 238 p.

2. State Standart 8.586.1-2005 (ISO 5167-1: 2003). Group T86. Interstate standard. Measurement of flow rate and quantity of liquids and gases using standard orifice devices. General requirements. Moscow, 2007. (In Russian)

3. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Balashov S.S. Quantitative evaluation of the efficiency of the operation of metal water supply networks. *Sbornik dokladov uchastnikov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvyashhennoy pamiati akademika RAN S.V. Yakovleva, 16–17 marta 2023 g.* [Collection of reports of participants of the XVIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences S.V. Yakovlev, March 16–17, 2023]. Moscow, IISS Publishing House - NRU MGSU, 2023, pp. 64–70. (In Russian).

4. Prodous O.A. Methodology for Estimating the Duration of Use of Metal Pipelines of Water Supply and

Sewerage Systems. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water treatment. Water treatment. Water supply], 2021, no. 1(157), pp. 4–10. (in Russian)

5. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Terekhov L.D. Analysis of hydraulic potential characteristics of new steel water pipes in reference manuals by F.A. Shevelev. *Inzhenernye sistemy AVOK– Severo-Zapad* [Engineering systems AVOK-North-West], 2021, no. 1, pp. 40–44. (in Russian)

6. Prodous O.A., Shipilov A.A., Terekhov L.D., Yakubchik P.P. Analysis of defects in the hydraulic calculation of metal water supply pipelines using reference manuals by F.A. Shevelev. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water treatment. Water treatment. Water supply], 2021, no. 2(158), pp. 50–55. (in Russian)

7. Prodous O.A. Updated type of design dependence for hydraulic calculation of worn metal water pipes with internal deposits. *Jakovlevskie chtenija: sb. NIU MGSU* [Yakovlevsky readings: Sat. NRU MGSU]. Moscow, 2021, pp. 178–193. (In Russian).

8. Prodous O. A., Yakubchik P.P., Shipilov A.A. Prediction of the working pressure drop in a worn metal water conduit with deposits during partial replacement of pipes with polyethylene. *Inzhenernye sistemy AVOK– Severo-Zapad* [Engineering systems AVOK-North-West], 2021, no. 2, pp. 32–36. (in Russian)

9. Novikov M.G., Prodous O.A. Prevention of secondary water pollution in centralized water supply systems during its transportation to consumers. *Vodnye resursy i vodopol'zovanie* [Water resources and water use], Nur-Sultan, 2021, no. 12(215), pp. 17–20. (in Russian)

10. Prodous O.A., Yakubchik P.P. New approach to hydraulic calculation of metal water supply pipelines with deposits on their inner walls. *Inzhenernye sistemy AVOK– Severo-Zapad* [Engineering systems AVOK-North-West], 2022, no. 1, pp. 28–30. (in Russian)

11. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychikov D.I. Dependence of power consumption of pump units of pressure water discharge headers on the thickness of the sediment layer on the inner surface of pipes. *Sanitehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Plumbing, Heating, Air Conditioning (S.O.K.)], 2022, no. 05(245), pp. 28–30. (in Russian)

12. Prodous O.A., Shlychikov D.I., Yakubchik P.P., Parkhomenko S.V. Effect of the thickness of the layer of internal deposits in pipelines of water supply and sewerage systems on the duration of their residual operation. *Vestnik MGSU* [MGSU Bulletin], 2022, vol. 17, iss. 6, pp. 738–746. (in Russian)

13. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Systematization of hydraulic calculation of metal water supply and sewerage networks with internal deposits on pipe walls. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education], Moscow, NRU MGSU, 2022, vol. 12, iss. 3, pp. 115–124. (in Russian)

14. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Influence of sediment layer thickness in water supply and water disposal networks on characteristics of their hydraulic potential. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroi-*

tel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2022, vol. 24, iss. 6, pp. 129–138. (in Russian)

15 Prodous O.A., Yakubchik P.P., Balashov S.S. The maximum permissible thickness of the layer of internal deposits in metal water pipelines to stop their further operation. *Inzhenernye sistemy AVOK– Severo-Zapad* [Engineering systems AVOK-North-West], 2023, no. 3, pp. 46–50. (in Russian)

Об авторах:

ПРОДОУС Олег Александрович

доктор технических наук, профессор,
ООО «Компания ИНКО»
190005, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр.,
37/1, лит. А, пом.1-Н
E-mail: pro@enco.su

ЯКУБЧИК Петр Петрович

кандидат технических наук, профессор кафедры
водоснабжения и водоотведения
Петербургский государственный университет
путей сообщения
Императора Александра I
190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9
E-mail: Pjakub@mail.ru

ШЛЫЧКОВ Дмитрий Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры
водоснабжения и водоотведения
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет
129337, Россия, г. Москва, Ярославское ш., 26
E-mail: stok-n@mail.ru

СМОЛИН Егор Станиславович

инженер
ЗАО «ЛенТехПроект»
191119, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Звенигородская, 24
E-mail: egorsmolin@mail.ru

PRODOUS Oleg Al.

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
INCO Company LLC
190005, Russia, St. Petersburg, Moskovsky pr., 37/1, lit. A,
room 1-H
E-mail: pro@enco.su

YAKUBCHIK Petr P.

PhD of Engineering Sciences, Professor of the Water
Supply and Sanitation Chair
Petersburg State University of Railways Emperor
Alexander I
190031, Russia, St. Petersburg, Moskovsky pr., 9
E-mail: Pjakub@mail.ru

SHLYCHKOV Dmitry Iv.

PhD of Engineering Sciences,
Associate Professor of the Water Supply
and Sanitation Chair
National Research Moscow State University
of Civil Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye st., 26
E-mail: stok-n@mail.ru

SMOLIN Egor S.

Engineer
LenTechProekt CJSC
191119, Russia, St. Petersburg, Zvenigorodskaya st., 24
E-mail: egorsmolin@mail.ru

Для цитирования: Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И., Смолин Е.С. Сравнительный анализ гидравлических характеристик изношенных металлических водопроводов, рассчитанных по формулам разных авторов // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 4. С. 69–75. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.04.10.

For citation: Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychkov D.I., Smolin E.S. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 4, pp. 69–75. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.04.10.