



УДК 628.27.659

Совершенствование гидравлического расчета металлических водопроводов с использованием программного обеспечения «ГРИТ»

О. А. Продоус, П. П. Якубчик, С. С. Балашов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Продоус О. А., Якубчик П. П., Балашов С. С. Совершенствование гидравлического расчета металлических водопроводов с использованием программного обеспечения «ГРИТ» // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 1. С. 139–145. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-139-145

Аннотация

При длительном использовании металлических сетей водоснабжения на их стенках образуется слой отложений, который со временем увеличивается, что пагубно влияет на основные параметры данной системы. **Цель:** усовершенствовать методику оперативного автоматизированного расчета значений характеристик гидравлического потенциала изношенных водопроводных труб, характеризуемых разными значениями коэффициента эффективности их эксплуатации, а также разработать программное обеспечение для ускорения расчетов. **Методы:** при разработке программного обеспечения использованы расчетные зависимости, принятые для гидравлических расчетов в проектной практике. **Результаты:** на конкретном примере показана усовершенствованная методика проведения универсального автоматизированного гидравлического расчета труб определенного диаметра, позволяющая получить полную картину значений гидравлических и энергетических характеристик изношенного водопровода по толщине слоя отложений, измеренной с помощью рентгеноскопии. **Практическая значимость:** разработано ПО, предназначенное для определения параметров водопроводных труб. Данное ПО учитывает варьирующуюся толщину внутренних отложений, что обеспечивает более точный прогноз периода их дальнейшей эксплуатации и своевременной замены. Описана усовершенствованная методика проведения гидравлического расчета изношенных металлических сетей с внутренними отложениями с использованием автоматизированного программного обеспечения «ГРИТ» — «Гидравлический расчет изношенных трубопроводов».

Ключевые слова: металлические сети водоснабжения, внутренние отложения, гидравлический расчет, программное обеспечение

Введение

Современные способы расчета гидравлических характеристик труб водопровода при определении гидравлического уклона основаны на применении известной формулы профессора Ф. А. Шевелева, имеющей вид [1]:

$$i_{p(\Phi)} = 0,00107 \frac{V_{p(\Phi)}^2}{(d_{вн}^{p(\Phi)})^{1,3}}, \quad (1)$$

где $i_{p(\Phi)}$ — расчетный (фактический) гидравлический уклон в новых трубах, мм/м;

$V_{p(\Phi)}^2$ — расчетная (фактическая) скорость движения воды в новых и изношенных трубах, м/с;

$d_{вн}^{p(\Phi)}$ — расчетный (фактический) внутренний диаметр в новых и изношенных трубах, м.

В таблицах для гидравлических расчетов, которые Ф.А. Шевелев создал, установлена

взаимосвязь для изношенных водопроводных труб при отложениях в 1 мм, что влияет на фактический внутренний диаметр труб менее чем на 1%. Поэтому автор этих таблиц для обозначения изношенных водопроводных труб использовал понятие «неновые» металлические трубы, полагая, что значение $d_{\text{вн}}^{\phi}$ при эксплуатации не будет отклоняться в диапазоне 1% [2].

На основании анализа фактических значений толщины отложений (δ_{ϕ}), выполненного авторами на изношенных стальных и чугунных сетях водоснабжения в различных регионах страны, были разработаны специальные таблицы для гидравлических расчетов металлических водопроводных сетей при δ_{ϕ} от 1 до 30 мм [3].

На рис. 1 показаны внутренние отложения δ_{ϕ} в изношенных трубах из стали и серого чугуна [4].

Условия задачи: при фактической толщине слоя отложений $\delta_{\phi} = 2,3$ мм сопоставить характеристики гидравлического потенциала при наружном диаметре трубы $d_n = 114$ мм и расходе воды $q = 18,0$ л/с (табл. 1).

Результаты сравнения значений характеристик гидравлического потенциала изношен-

ТАБЛИЦА 1. Сравнение значений характеристик труб по разным таблицам

По Таблицам [2]			По Таблицам [3]		
Характеристики гидравлического потенциала					
$d_{\text{вн}}^p$, мм	V_p , м/с	$1000 i_p$, мм/м	$d_{\text{вн}}^{\phi}$, мм	V_{ϕ} , м/с	$1000 i_{\phi}$, мм/м
99,0	2,12	91,10	95,4	2,30	101,99
Расхождение значений, %					
–	–	–	3,64	7,83	10,68

ных труб, полученных с использованием разных таблиц, демонстрируют, что применение методов, не учитывающих реальную величину слоя отложений $\delta_{\phi} > 1,0$ мм, увеличивает погрешность результатов. Погрешность увеличивается потому, что в таблицах не берется во внимание изменение δ_{ϕ} .

Общепринято, что на внутренних стенках труб в зависимости от физико-химических характеристик поверхностных и подземных источников водоснабжения в процессе эксплуатации ежегодно образуется слой отложений толщиной не менее $\delta_{\phi} = 0,3$ мм. То есть за 10 лет эксплуатации сети $\delta_{\phi} \approx 3,0$ мм [4, 5, 6].

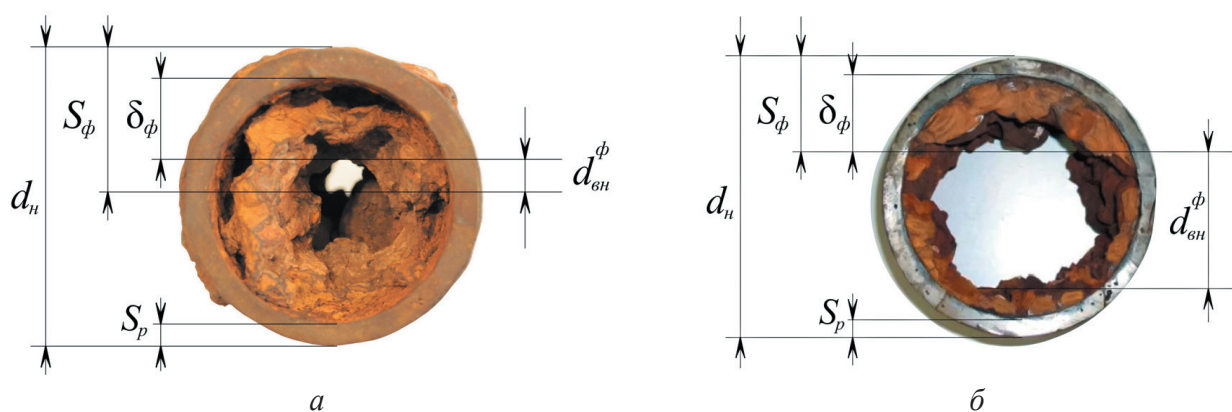


Рис. 1. Слой внутренних отложений δ_{ϕ} : *a* — в стальных трубах; *б* — в трубах из серого чугуна (d_n — наружный диаметр трубы, м; S_p — толщина стенки трубы, м; S_{ϕ} — толщина стенки трубы с отложениями, мм; δ — толщина слоя отложений, мм; $d_{\text{вн}}^{\phi}$ — внутренний диаметр труб с отложениями, мм)

Расчет коэффициента эффективности

а

Входные параметры	
Наружный диаметр трубы (dн), мм:	325
Толщина стенки трубы (Sp), мм:	4.5
Толщина слоя отложения (δф), мм:	10
Длина трубопровода (L), м:	1000
Расход воды (q, л/с, м3/с):	120
Единицы измерения расхода: <input type="radio"/> м³/с <input checked="" type="radio"/> л/с	

Расчитать все параметры

б

Результаты расчета	
Внутренний диаметр (новая труба):	dрвн = 316.0000 мм
Фактический внутренний диаметр (с отложениями):	dфвн = 296.0000 мм
Коэффициент эффективности эксплуатации Кэф:	Кэф = 0.7071

Детали расчета

Входные параметры:	
Наружный диаметр трубы:	325.0000 мм (0.325000 м)
Толщина стенки:	4.5000 мм (0.004500 м)
Толщина слоя отложения:	10.0000 мм (0.010000 м)
Длина трубопровода:	1000.0 м
Расход воды (q):	0.120000 м³/с
Расчетные параметры:	
Внутренний диаметр новой трубы:	316.0000 мм (0.316000 м)
Фактический внутренний диаметр (с отложениями):	296.0000 мм (0.296000 м)
Скорость в новой трубе (Vр):	1.5301 м/с
Скорость в трубе с отложениями (Vф):	1.7438 м/с
Гидравлический уклон новой трубы (ip):	0.011200 м/м (11.200 мм/м)
Гидравлический уклон трубы с отложениями (iф):	0.015839 м/м (15.839 мм/м)
Потери напора (новая труба):	11.76 м (с учетом коэффициента местных потерь 1.05)
Потери напора (с отложениями):	16.63 м (с учетом коэффициента местных потерь 1.05)
Энергопотребление (новая труба):	19.78 кВт
Энергопотребление (с отложениями):	27.97 кВт
Кэф =	0.7071

Рис. 2. Пример использования разработанного программного обеспечения «ГРИТ»:

а — входные параметры для расчета в программном обеспечении;

б — результаты расчета в программном обеспечении

Учитывая вышеизложенное, прогнозирование значений характеристик изношенных водопроводных сетей по коэффициенту эффективности их эксплуатации $K_{эф}$, становится актуальным [4, 7, 8].

Система «ГРИТ»

Определение фактической величины слоя отложений δ_f и расчет параметров гидравлического потенциала в старых водопроводных системах,

имеющих внутренние отложения, представляют собой сложную и трудозатратную задачу. Это обусловлено тем, что формирование структуры данного слоя зависит от множества факторов, включая свойства транспортируемой жидкости и условия эксплуатации трубопровода [9, 10].

Поэтому для повышения скорости и точности гидравлических расчетов на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ПГУПС разработано универсальное

программное обеспечение «ГРИТ» на языке программирования Python [11], позволяющее:

- улучшить способ вычисления гидравлических характеристик изношенных труб с помощью использования в расчетах наиболее точного значения δ_ϕ ;
- увеличить точность расчетов значений характеристик гидравлического потенциала изношенных труб: $d_{\text{вн}}^\phi$, V_ϕ , i_ϕ ;
- ускорить расчет параметров характеристик труб;
- рассчитать энергопотребление насоса $N_{\text{дв}}^\phi$ и коэффициент эффективности $K_{\text{эф}}$.

Программа «ГРИТ» имеет два функциональных модуля.

Модуль 1. «Расчет $K_{\text{эф}}$ эксплуатации изношенного водопровода» по заданным значениям: q , S_p , δ_ϕ , L (рис. 1). Программа в автоматическом режиме производит сравнительный расчет значений характеристик гидравлического потенциала новых и оцениваемых (изношенных) труб.

На рис. 2 приведен конкретный пример использования разработанного программного обеспечения «ГРИТ».

Модуль 2. Расчет расхождений (сравнение) значений характеристик металлических труб.

Данные сравниваемого анализа новых и изношенных водопроводных труб являются обо-

снованием для принятия объективного (доказательного) решения для приведенного примера. Продолжение дальнейшей эксплуатации трубопровода со значениями характеристик, приведенными в табл. 2, недопустимо, так как [12]:

$$K_{\text{эф}}^\phi = 0,71 < K_{\text{эф}}^{\text{доп}} = 0,80. \quad (2)$$

Программа «ГРИТ» автоматически выполняет сравнительный анализ параметров гидравлического потенциала новых и изношенных водопроводных труб при любой толщине слоя отложений δ_ϕ . Оценка состояния труб проводится посредством расчета коэффициента фактической эффективности их эксплуатации $K_{\text{эф}}^\phi$ в сравнении с предельно допустимым значением коэффициента эффективности $K_{\text{доп}}^\phi$ [13]. На основании этого сравнения принимается решение о целесообразности дальнейшего использования трубопровода.

Данное программное обеспечение также позволяет за счет усовершенствования увеличить скорость и точность проведения гидравлического расчета изношенных металлических водопроводов для обоснования необходимости продолжения эксплуатации водопровода или его вывода для замены труб на новые, а также ускоряет для специалистов процесс разработки проектов реконструкции изношенных водопроводных сетей.

ТАБЛИЦА 2. Процент расхождения значений сравниваемых характеристик труб

Характеристики новых и изношенных труб диаметром $d_{\text{вн}}^p = 316$ мм										
Расход q , л/с	Новые трубы					Изношенная труба со слоем отложений $\delta_\phi = 2,6$ мм				
	$d_{\text{вн}}^p$, мм	V_p , м/с	i_p , мм/м	N , кВт/ч	$K_{\text{эф}}$	$d_{\text{вн}}^\phi$, мм	V_ϕ , м/с	i_ϕ , мм/м	N , кВт/ч	$K_{\text{эф}}$
120,0	316	1,53	0,01120	19,78	1	296,0	1,74	0,01584	27,97	0,71
	Расхождение, %									
	–	–	–	–	–	6,33	13,97	41,41	41,41	29,29

Список источников

1. Шевелев Ф.А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. М.: Госстройиздат, 1953. 208 с.
2. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справ. пособие. М.: Бастет, 2014. 384 с.
3. 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. М.: Перо, 2023. 288 с.
4. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Коэффициент эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения как фактор оценки возможности продолжения их дальнейшей эксплуатации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. Т. 25. №3. 2023. С. 162–168.
5. Новая зависимость для гидравлического расчета металлических водопроводов с внутренними отложениями / О.А. Продоус [и др.] // Приволжский научный журнал. 2024. № 1 (69). С. 61–69.
6. Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. Количественная оценка эффективности работы металлических сетей водоснабжения // Яковлевские чтения — 2023. Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения: сборник докладов участников XVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева (16–17 марта 2023 г.). М.: МИСИ — НИУ МГСУ, 2023. С. 64–70.
7. Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. О повышении точности гидравлического расчета металлических водопроводов с внутренними отложениями // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Международной научно-практической конференции (г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г.). Новочеркасск: Лик, 2023. С. 80–85.
8. Продоус О.А., Якубчик П.П., Балашов С.С. О влиянии толщины слоя внутренних отложений в металлических водопроводах на величину фактических потерь напора в трубах // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Международной научно-практической конференции (г. Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г.). Новочеркасск: Лик, 2023. С. 96–101.
9. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Определение предельно допустимой толщины слоя внутренних отложений на стенках металлических водопроводных труб // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 1 (781). С. 80–88.
10. Новиков М.Г., Продоус О.А. Эффективные пути устранения микробиологической коррозии внутренней поверхности металлических трубопроводов при одновременном существенном снижении их электрохимической коррозии // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 12 (120). С. 40–43.
11. Воинцева И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб // Инженерные системы. АВОК — Северо-Запад. 2019. № 1. С. 44–47.
12. Продоус О.А. Зависимость продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб // Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения» (19 марта 2020 г.). М.: МИСИ — МГСУ, 2020. С. 113–117.
13. Гидравлический расчет изношенных труб водоснабжения: государственная программа для ЭВМ. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Номер регистрации RU 2025687420 / Балашов С.С., Продоус О.А., Якубчик П.П.

Дата поступления: 21.10.2025

Решение о публикации: 19.01.2026

Контактная информация:

ПРОДОУС Олег Александрович —

канд. техн. наук, доцент;

pro@enco.su

ЯКУБЧИК Петр Петрович — канд. техн. наук,

профессор; p.jakub@mail.ru

БАЛАШОВ Сергей Сергеевич — аспирант;

6761034@gmail.com

Enhancement of hydraulic calculations for metallic water pipelines within the GRIT software**A. Prodous, P. P. Yakubchik, C. C. Balashov**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Prodous O.A., Yakubchik P.P., Balashov C.C.* Enhancement of hydraulic calculations for metallic water pipelines within the GRIT software // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 1. Pp. 139–145. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-139-145. (In Russian)**Abstract**

During long-term operation of metallic water supply networks, a deposit layer forms on the inner pipeline walls and progressively increases in thickness, which adversely affects the key performance parameters of the system. **Objective:** to improve the methodology for rapid automated estimation of the hydraulic potential characteristics of aging water pipelines with different values of their operational efficiency coefficient. To develop software to accelerate these computational procedures. **Research Methods:** the software was developed using computational relationships adopted in standard hydraulic design practice. **Results:** drawing on a particular case study, an improved methodology for the automated hydraulic analysis of pipes of a specified diameter has been introduced. This methodology provides a comprehensive profile of the hydraulic and energy characteristics of an aging water main, with the analysis linked directly to the thickness of internal scale and sediment layers identified through X-ray inspection. **Practical significance:** software has been developed to determine the operational parameters of water-supply pipelines. This software accounts for variations in the thickness of deposits formed on the pipe inner surface, enabling a more accurate prediction of remaining service life and supporting timely replacement planning. An updated method is proposed for hydraulic calculations of deteriorated metal pipeline networks with internal deposits using the automated GRIT software, whose name refers to the Hydraulic Calculation of Deteriorated Pipelines (Gidravlicheskiy Raschet Iznoshennykh Truboprovodov).

Keywords: metallic water supply networks, internal deposits, hydraulic calculation, software**References**

1. Shevelev F.A. Issledovanie osnovnykh gidravlicheskiy zakonomernostey turbulentnogo dvizheniya v trubah. M.: Gosstrojizdat, 1953. 208 s. (In Russian)

2. Shevelev F.A., Shevelev A.F. Tablicy dlya gidravlicheskogo rascheta vodoprovodnykh trub: sprav. posobie. M.: Bastet, 2014. 384 s. (In Russian)

3. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychkov D.I. Osobennosti gidravlicheskogo rascheta vodoprovodov iz metallicheskiy, polimernykh i metallopolimernykh

trub: terminologicheskij slovar' po naruzhnym setyam vodosnabzheniya i kanalizacii. M.: Pero, 2023. 288 s. (In Russian)

4. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Koefficient effektivnosti ekspluatatsii setey vodosnabzheniya i vodootvedeniya kak faktor ocenki vozmozhnosti prodolzheniya ih dal'nejshej ekspluatatsii // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. T. 25. №3. 2023. S. 162–168. (In Russian)

5. Novaya zavisimost' dlya gidravlicheskogo rascheta metallicheskih vodoprovodov s vnutrennimi otlozheniyami / O.A. Prodous [i dr.] // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2024. №1 (69). S. 61–69. (In Russian)
6. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Balashov S.S. Kolichestvennaya ocenka effektivnosti raboty metallicheskih setej vodosnabzheniya // Yakovlevskie chteniya — 2023. Sistemy vodosnabzheniya i vodotvedeniya. Sovremennye problemy i resheniya: sbornik dokladov uchastnikov XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati akademika RAN S.V. Yakovleva (16–17 marta 2023 g.). M.: MISI — NIU MGSU, 2023. S. 64–70. (In Russian)
7. Prodous O.A., YAKubchik P.P., Balashov S.S. O povyshenii tochnosti gidravlicheskogo rascheta metallicheskih vodoprovodov s vnutrennimi otlozheniyami // Tekhnologii ochistki vody “TEKHNOVOD-2023”: materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Kislovodsk, 18–21 aprelya 2023 g.). Novocherkassk: Lik, 2023. S. 80–85. (In Russian)
8. Prodous O.A. Yakubchik P.P. Balashov S.S. O vliyani tolshchiny sloya vnutrennih otlozhenij v metallicheskih vodoprovodah na velichinu fakticheskikh poter' napora v trubah // Tekhnologii ochistki vody “TEKHNOVOD-2023”: materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Kislovodsk, 18–21 aprelya 2023 g.). Novocherkassk: Lik, 2023. S. 96–101. (In Russian)
9. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychkov D.I. Opredelenie predel'no dopustimoy tolshchiny sloya vnutrennih otlozhenij na stenkah metallicheskih vodoprovodnyh trub // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2024. №1 (781). S. 80–88. (In Russian)
10. Novikov M.G., Prodous O.A. Effektivnye puti ustraneniya mikrobiologicheskoy korrozii vnutrennej poverhnosti metallicheskih truboprovodov pri odnovremennom sushchestvennom snizhenii ih elektrohimicheskoy korrozii // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. 2017. №12 (120). S. 40–43. (In Russian)
11. Voinceva I.I., Novikov M.G., Prodous O.A. Prodlenie perioda ekspluatatsii truboprovodov sistem vodosnabzheniya iz stal'nyh i chugunnyh trub // Inzhenernye sistemy. AVOK — Severo-Zapad. 2019. №1. S. 44–47. (In Russian)
12. Prodous O.A. Zavisimost' prodolzhitel'nosti ispol'zovaniya metallicheskih truboprovodov sistem vodosnabzheniya ot tolshchiny sloya otlozhenij na vnutrennej poverhnosti trub // Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii “Yakovlevskie chteniya” (19 marta 2020 g.). M.: MISI — MGSU, 2020. S. 113–117. (In Russian)
13. Gidravlicheskij raschet iznoshennyh trub vodosnabzheniya: gosudarstvennaya programma dlya EVM. Federal'naya sluzhba po intellektual'noj sobstvennosti. Nomer registratsii RU 2025687420 / Balashov S.S., Prodous O.A., Yakubchik P.P. (In Russian)

Received: 21.10.2025

Accepted: 19.01.2026

Author's information:

Oleg A. PRODOUS — PhD in Engineering, Associate Professor; p.jakub@mail.ru

Peter P. YAKUBCHIK — PhD in Engineering, Professor; pro@enco.su

Sergei S. BALASHOV — Postgraduate Student; 6761034@gmail.com