

Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов Water supply, sewage, water conservation construction systems

Научная статья
УДК 628.14.1.001
DOI: 10.14529/build240408

ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ – НОВОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В СФЕРЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

О.А. Продоус¹, pro@enco.su

Д.И. Шлычков², ShlyichkovDI@mgsu.ru

¹ Независимый эксперт по водоснабжению и канализации, Санкт-Петербург, Россия

² Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, Москва, Россия

Аннотация. Цель работы: разработать и обосновать новый научный подход к оценке гидравлической эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями. **Методы исследований.** В качестве метода оценки гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов используется гидравлический принцип оценки как новое научное направление по величине значений характеристик гидравлического потенциала труб, изменяющихся в зависимости от толщины слоя внутренних отложений в сравнении с новыми трубами. **Результаты и обсуждение.** Предложено новое научное направление в сфере эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями – оценка гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов по значению величины расчетного коэффициента эффективности их эксплуатации, определяемого по специальным таблицам, позволяющим устанавливать период остаточной эксплуатации трубопроводов водоснабжения и водоотведения. **Заключение.** Разработаны в табличной форме значения величины коэффициента гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов водоснабжения и водоотведения с разной толщиной слоя отложений, по которым производится прогноз о продолжении дальнейшей эксплуатации либо необходимости проведения гидродинамической очистки сети от внутренних отложений.

Ключевые слова: сети водоснабжения и водоотведения, металлические трубы, гидродинамический расчет, гидравлическая эффективность эксплуатации трубопроводов

Для цитирования. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Оценка гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов – новое научное направление в сфере водоснабжения и водоотведения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 4. С. 58–63. DOI: 10.14529/build240408

Original article
DOI: 10.14529/build240408

ASSESSMENT OF THE HYDRAULIC EFFICIENCY OF PIPELINE OPERATION – A NEW SCIENTIFIC DIRECTION IN THE FIELD OF WATER SUPPLY AND SANITATION

О.А. Prodous¹, pro@enco.su

Д.И. Shlyichkov², shlyichkovdi@mgsu.ru

¹ Independent expert on “Water Supply and Sewerage”, St. Petersburg, Russia

² National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. The paper aims to develop and justify a new scientific approach to assessing the hydraulic efficiency of the operation of water supply and sanitation networks with internal deposits. The hydraulic evaluation principle is used

© Продоус О.А., Шлычков Д.И., 2024.

as a method for evaluating the hydraulic efficiency of pipeline operation. It is a new scientific direction in terms of the values of the characteristics of the hydraulic potential of pipes which vary depending on the thickness of the layer of internal deposits in comparison with new pipes. The paper proposes a new scientific direction in the field of operation of water supply and sanitation networks with internal deposits – the assessment of the hydraulic efficiency of pipeline operation by the value of the calculated coefficient of efficiency of their operation, determined by special tables that allow setting the period of residual operation of water supply and sanitation pipelines. The values of the coefficient of hydraulic efficiency of operation of water supply and sanitation pipelines with different thickness of the sediment layer have been developed in tabular form. As a result, the paper makes a forecast about the continuation of further operation, or the need for hydrodynamic cleaning of the network from internal deposits.

Keywords: water supply and sanitation networks, metal pipes, hydrodynamic calculation, hydraulic efficiency of pipeline operation

For citation. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Assessment of the hydraulic efficiency of pipeline operation – a new scientific direction in the field of water supply and sanitation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2024;24(4):58–63. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240408

Введение

В сфере водоснабжения и водоотведения как в сложном инженерном комплексе существуют следующие три главных направления эксплуатационной деятельности:

1) эксплуатация сетей и сооружений на них для подачи и распределения воды питьевого качества;

2) эксплуатация сооружений водоподготовки из подземных и поверхностных источников;

3) эксплуатация канализационных очистных сооружений (КОС), включая выпуски стоков в водоемы.

Необходимо отметить, что для каждого из этих направлений основным являются трубопроводы, без знаний об эксплуатации которых каждое из перечисленных направлений не может существовать. Если нет трубопроводов, то нечего будет очищать. Поэтому трубопроводы систем водоснабжения и водоотведения следует рассматривать каждый отдельно от вопросов эксплуатации очистных водопроводных сооружений и канализационных очистных сооружений для обработки хозяйственно-бытовых сточных вод. Трубопроводы и сооружения на них (накопительные емкости, резервуары) можно сравнивать с кровеносными сосудами живых организмов. Если здоровы сосуды, то весь организм нормально работает и все его элементы (очистные сооружения – «печень» и «почки») работают эффективно [1, 2].

Эффективность работы любой трубопроводной системы определяется показателями, связанными с потреблением электрической энергии насосным оборудованием, транспортирующим воду питьевого качества или сточную жидкость. Если трубопроводная система функционирует в самотечном режиме движения жидкости, то основными показателями гидравлического потенциала трубопроводов будут являться – $d_{\text{вн}}$, V , i [3–5]. Таким образом, эффективность работы трубопроводов систем водоснабжения и канализации, находящихся в эксплуатации, показывает общую эффективность работы сооружений водопроводно-канализационного хозяйства. Следовательно, тру-

бопроводные системы водоснабжения и канализации должны рассматриваться как инновационное научное направление в области водоснабжения и канализации, потому что к нему (направлению) относится целый перечень вопросов, связанных с разработкой новых проектов и проектов реконструкции изношенных трубопроводов, а также вопросов совершенствования эксплуатации сетей с целью снижения энергопотребления насосно-силовым оборудованием для подачи воды потребителям или сбросу очистных сточных вод в водоемы [6, 7].

Методы

Действующие в сфере водоснабжения и водоотведения нормативные требования предусматривают определенные подходы к оценке экономической эффективности эксплуатации инженерных сетей водоснабжения и водоотведения в городах и населенных пунктах, однако не выделяют отдельно вопросы оценки гидравлической эффективности их работы, поскольку трубопроводы водоснабжения и канализации из различных видов материалов являются гидравлической системой. Результаты аналитических исследований, выполненных авторами, подтверждают, что в качестве критерия необходимо использовать коэффициент гидравлической эффективности, вычисляемый по формуле [8–10]

$$K_{\text{эф}} = \frac{(d_{\text{вн}}^{\text{п}})^2 \cdot V_{\text{п}} \cdot i_{\text{п}}}{(d_{\text{вн}}^{\text{ф}})^2 \cdot V_{\text{ф}} \cdot i_{\text{ф}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{эф}}$ – коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации; $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ – фактический внутренний диаметр труб, м; $V_{\text{п}}$ – скорость в новой трубе, м/с; $i_{\text{п}}$ – расчетный гидравлический уклон в новой трубе, м/м; $V_{\text{ф}}$ – фактическая скорость в трубе с $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, м/с; $i_{\text{ф}}$ – фактический гидравлический уклон на момент оценки, м/м.

Коэффициент гидравлической эффективности трубопровода, находящегося в эксплуатации, $K_{\text{эф}}$ – это показатель, показывающий изменение диапазона значений характеристик труб ($d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, V и i)

при образовании слоя отложений на внутренней поверхности δ или h на их рабочей поверхности [3, 4].

Результаты и обсуждение

В работах [6, 11, 12] представлен и обоснован диапазон значений величины $K_{эф}$ для трубопроводов систем водоснабжения, выполненных из стали и серого чугуна, диаметром 400 мм и для бетонных труб канализационных сетей аналогичного диаметра 400 мм. Диапазон значений $K_{эф}$ следующий:

- для трубопроводов систем водоснабжения:
 $0,9 \leq K_{эф} \leq 0,95$;
- для трубопроводов систем канализации:
 $0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$.

Поясним, что означает значение цифр в указанном диапазоне.

Расчетной зависимостью для определения $K_{эф}$ служит формула (1). Величина $K_{эф}$ находится в пределах $0 \leq K_{эф} \leq 1$. При минимальных значениях $K_{эф}$ на внутренней поверхности трубы увеличивается толщина слоя осадка. В том случае, если слой отложений минимальный, $K_{эф}$ попадает в область максимально допустимых значений. Для действующих трубопроводов систем канализации и водоснабжения при проведении анализа величины $K_{эф}$ можно оценить эффективность их эксплуатации [5, 13].

Эффективным, с точки зрения гидравлических показателей, считается трубопровод, в котором наблюдаются минимальные потери напора, характеризуемые наиболее эффективной скоростью V и эффективным внутренним диаметром $d_{вн}$ (без внутренних отложений). Поэтому проведение оценки эффективности трубопроводов сис-

тем водоснабжения и канализации, находящихся в эксплуатации, **необходимо и является актуальным**. Проведение оценки позволит спрогнозировать, каким образом будут меняться значения характеристик гидравлического потенциала труб в процессе их жизненного цикла «Эксплуатация», что, в свою очередь, даст возможность определить период их остаточной эксплуатации до замены на новые [14–17].

Оценка эффективности эксплуатации трубопроводов – **это новое научное направление**, для которого характерны:

- 1) научная новизна;
- 2) возможность проведения экспериментов и прогнозирования на перспективу;
- 3) совершенствование общепринятых гидравлических расчетов водопроводных и канализационных трубопроводов, находящихся в эксплуатации.

С учетом выводов, представленных в работах [18, 19], оценка гидравлической эффективности эксплуатируемых водопроводных и канализационных трубопроводов с использованием величины значения $K_{эф}$ (формула (1)) позволит определить по специальным таблицам (табл. 1, 2) период остаточной продолжительности эксплуатации водопроводных и канализационных сетей до момента наступления необходимости выполнения работ по их гидродинамической очистке или вывода из эксплуатации.

Табл. 1 и 2 дают возможность определить период остаточной эксплуатации трубопроводных сетей водоснабжения и канализации, проанализировав значения величины основного критерия, отражающего гидравлическую эффективность работы трубопроводов, находящихся в эксплуатации $K_{эф}$, имеющих разные значения толщины слоя

Таблица 1

Диапазон изменения значений $K_{эф}$ для сетей водоснабжения

Значение величины $K_{эф}$	Продолжительность остаточного использования трубопровода из стали и серого чугуна $T_{исп}$, лет
$0,95 < K_{эф} \leq 1$	$T_{исп} \geq 10$ лет с ежегодным контролем значений фактических потерь напора $i_{ф}$ и толщины фактического слоя отложений $\sigma_{ф}$
$0,90 \leq K_{эф} \leq 0,95$	$T_{исп} \geq 5$ лет с ежегодным контролем значений $i_{ф}$ и $\sigma_{ф}$
$0,8 \leq K_{эф} \leq 0,90$	Трубопровод использовать нецелесообразно
$K_{эф} < 0,8$	Трубопровод использовать недопустимо

Таблица 2

Диапазон изменения значений $K_{эф}$ для сетей водоотведения

Значение величины $K_{эф}$	Возможность продолжения дальнейшей эксплуатации сети
$0,6 \leq K_{эф} \leq 1$	Допустимо
$0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$	Необходимо выполнение работ по гидродинамической очистки
$K_{эф} \leq 0,5$	Недопустимо

внутренних отложений (σ – в водопроводных трубах и h – в сетях водоотведения).

Выводы

Табл. 1 и 2 являются обобщением результатов исследований, проведенных авторами на протяжении последних лет.

Предлагаемый инновационный научный подход при выполнении оценки эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и канализации с внутренними отложениями по значению величины коэффициента гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов $K_{\text{эф}}$ позволяет:

1) проводить анализ значений характеристик гидравлического потенциала трубопроводов с отложениями, влияющих на расход электрической

энергии в напорных системах водоснабжения или на необходимость выполнения работ по очистке канализационных сетей, работающих в самотечном режиме;

2) определять остаточный период продолжительности эксплуатации трубопроводов до момента принятия решений в части проведения работ по реконструкции водопроводных сетей или необходимости гидродинамической очистки канализационных сетей с различной толщиной слоя осадка в лотковой части.

Предлагаемый подход является **инновационным научным направлением** в сфере водоснабжения и водоотведения и дает возможность прогнозирования остаточного периода продолжительности эксплуатации.

Список литературы

1. Продоус О.А., Шипилов А.А., Якубчик П.П. Эффективная структура управления отраслевой наукой в сфере водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 6. С. 39–42.
2. Влияние толщины слоя отложений в трубопроводах систем водоснабжения и водоотведения на продолжительность периода их остаточной эксплуатации / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков, П.П. Якубчик, С.В. Пархоменко // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17, вып. 6. С. 738–746.
3. Продоус О.А. Гидравлическая оценка остаточного срока службы изношенных металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Электронный сборник докладов 4-й Международной конференции «Водоснабжение и водоотведение населенных мест и промышленных предприятий: эффективные решения и технологии», Москва, 2020. 8–9 сентября 2020 в рамках форума «ЭКВАТЭК–2020». https://www.ecwatech.ru/ru-ru/program/conf2020_watersupply_waterdisp/watersupply_conference_paper_collect_2020.html
4. Продоус О.А., Шипилов А.А. Гидравлический критерий обоснования необходимости разработки проектов реконструкции водопроводных сетей из металлических труб // Водные системы и технологии. 2020. № 1. С. 26–31. <https://cloud.mail.ru/public/xeyP/gxLhGxHET>
5. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна / О.А. Продоус, М.Г. Новиков, Г.А. Самбурский и др. СПб.; М.: ООО «Свое издательство», 2021. 36 с.
6. Продоус О.А. Гидравлическое прогнозирование продолжительности использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 11 (155). С. 28–32.
7. Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета системы подачи и распределения воды. М.: Стройиздат. 1972. 287 с.
8. Абрамович Н.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции систем транспортирования сточных вод: практ. пособие. Харьков: Основа, 1996. 300 с.
9. Абрамович И.А. Повышение достоверности расчета сетей водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 3. С. 4–5.
10. Алексеев М.И., Дмитриев В.Д., Мишуков Б.Г. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1993. 60 с.
11. Об актуальности разработки справочных пособий по гидравлическому расчету изношенных инженерных сетей городской инфраструктуры / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков, А.А. Шестаков, А.Г. Челоненко // Архитектура, строительство, транспорт. 2023. № 4 (106). С. 64–70.
12. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Систематизация гидравлического расчета металлических сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями на стенках труб // Строительство: наука и образование. 2022. Т. 12, № 3. С. 115–124.
13. Продоус О.А. Методика оценки продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. № 1 (157). С. 4–10.
14. 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.

15. Чупин В.Р., Мелихов Г.С., Чупин Р.В. Развитие методики гидравлических расчетов систем водоотведения // Вода и экология. 2010. № 1. С. 3–11.
16. Харькин В.А. Разработка системного подхода и оптимизации эксплуатации безнапорных водоотводящих сетей. М.: МГСУ. 2005. 156 с.
17. Shlychkov D. Energysaving as an integral part of technical and economic efficiency. Opcion. 2019. Vol. 35. № Special Edition 24. P. 1626–1636.
18. Абдуламир 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.
19. 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.

References

1. Prodous O.A., Shipilov A.A., Yakubchik P.P. [Effective management structure of branch science in the field of water supply and sanitation]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering], 2022, no. 6, pp. 39–42. (in Russ.)
2. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Yakubchik P.P., Parkhomenko S.V. [Influence of layer thickness deposits in pipelines of water supply and sanitation systems for the duration of the period of their residual operation]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of the MGSU], 2022, vol. 17, no. 6, pp. 738–746. (in Russ.)
3. Prodous O.A. Hydraulic assessment of the residual service life of worn-out metal pipelines of water supply and sanitation systems. In: *Elektronnyy Sbornik dokladov 4-y mezhdunarodnoy konferentsii "Vodosnabzhenie i vodootvedenie naselennykh mest i promyshlennykh predpriyatiy: effektivnye resheniya i tekhnologii" (Moscow, 8–9 sentyabrya 2020 goda)* [Electronic Collection of Reports of the 4th International Conference "Water Supply and Sanitation of Settlements and Industrial Enterprises: Effective Solutions and Technologies", Moscow, September 8–9, 2020, within the Framework of the ECWATECH 2020 forum]. Moscow, 2020. https://www.ecwatech.ru/ru-ru/program/conf2020_watersupply_waterdisp/watersupply_conference_paper_collect_2020.html (in Russ.)
4. Prodous O.A., Shipilov A.A. Hydraulic criterion for substantiating the need to develop projects for the reconstruction of water supply networks from metal pipes [Gidravlicheskiy kriteriy obosnovaniya neobkhodimosti razrabotki projektov rekonstruktsii vodoprovodnykh setey iz metallicheskiykh trub]. *Vodnye sistemy i tekhnologii* [Water Systems and Technologies], 2020, no. 1, pp. 26–31. (in Russ.) <https://cloud.mail.ru/public/xeyp/gxLhGxHET>
5. O.A. Prodous, M.G. Novikov, G.A. Samburskiy et al. *Rekomendatsii po rekonstruktsii nenovykh metallicheskiykh truboprovodov vodosnabzheniya iz stali i serogo chuguna* [Recommendations for the reconstruction of non-standard metal water supply pipelines made of steel and gray cast iron]. St. Petersburg; Moscow, Svoe Publishing House, 2021. 36 p. (in Russ.)
6. Prodous O.A. [Hydraulic forecasting of the duration of use of metal pipelines for water supply and sanitation]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water Treatment. Water Treatment. Water Supply], 2020, no. 11 (155), pp. 28–32. (in Russ.)
7. Abramov N.N. *Teoriya i metodika rascheta sistemy podachi i raspredeleniya vody* [Theory and methodology of calculation of the water supply and distribution system]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972. 287 p. (in Russ.)
8. Abramovich N.A. *Novaya strategiya proektirovaniya i rekonstruktsii sistem transportirovaniya stochnykh vod: prakticheskoe posobie* [A new strategy for the design and reconstruction of wastewater transportation systems: a practical guide]. Kharkiv, Osnovy, 1996. 300 p. (in Russ.)
9. Abramovich I.A. [Improving the reliability of calculation of wastewater disposal networks]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering], 1985, no. 3, pp. 4–5.
10. Alekseev M.I., Dmitriev V.D., Mishukov B.G. *Ekspluatatsiya sistem vodosnabzheniya i kanalizatsii: uchebnoe posobie* [Operation of water supply and sewerage systems: textbook]. Moscow, Higher School Publ., 1993. 60 p. (in Russ.)
11. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Shestakov A.A., Chelonenko A.G. [On the relevance of the development of reference manuals on the hydraulic calculation of worn-out engineering networks of urban infrastructure]. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, Construction, Transport], 2023, no. 4 (106), pp. 64–70. (in Russ.)
12. Prodous O.A., Shlychkov D.I. [Water supply and sewerage networks having deposits on inside surfaces of metal pipe walls: systematization of hydraulic design]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education], 2022, vol. 12, no. 3, pp. 115–124. (in Russ.)
13. Prodous O.A. [Methodology for assessing the duration of use of metal pipelines of water supply and sanitation systems]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water Treatment. Water Treatment. Water Supply], 2021, no. 1 (157), pp. 4–10. (in Russ.)

14. Prodous O.A., Shlychikov D.I. [Comparative analysis of computational dependencies for hydraulic calculation of gravity drainage networks]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [News of Universities. Investment. Construction. Realty], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 462–469. (in Russ.)
15. Chupin V.R., Melikhov G.S., Chupin R.V. Development of methods of hydraulic calculations of wastewater disposal systems [Razvitie metodiki gidravlicheskih raschetov sistem vodootvedeniya]. *Voda i ekologiya* [Water and Ecology], 2010, no. 1, pp. 3–11. (in Russ.)
16. Kharkin V.A. *Razrabotka sistemnogo podkhoda i optimizatsii ekspluatatsii beznapornykh vodootvodyashchikh setey* [Development of a systematic approach and optimization of operation of non–pressurized drainage networks]. Moscow, MGSU, 2005. 156 p. (in Russ.)
17. Shlychikov D. Energy saving as an integral part of technical and economic efficiency. *Opcion*, 2019, vol. 35. Special Edition no. 24, pp. 1626–1636.
18. Abdulamir L.S., Orlov V.A., Dzhumagulova N.T. [Hydraulic experiment on a pressure-free pipeline made of polymer material]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of the MGSU], 2022, vol. 17, no. 4, pp. 487–500. (in Russ.)
19. Schwermer K.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.

Информация об авторах:

Продоус Олег Александрович, доктор технических наук, профессор, независимый эксперт по водоснабжению и канализации, Санкт-Петербург, Россия; pro@enco.su

Шлычков Дмитрий Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия; SHlyichkovDI@mgsu.ru

Information about the authors:

Oleg A. Prodous, Doctor of Technical sciences, Professor, independent expert on water supply and sewerage, St. Petersburg, Russia; pro@enco.su

Dmitry I. Shlychikov, PhD in Technical sciences, Associate Professor, Water Supply and Sewage Department, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia; SHlyichkovDI@mgsu.ru

Статья поступила в редакцию 29.05.2024, принята к публикации 20.06.2024.

The article was submitted 29.05.2024 and approved after reviewing 20.06.2024.