

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 3. С. 162–168.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (3): 162–168.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.1/332.621

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-162-168

EDN: QVBNEW

КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ КАК ФАКТОР ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОДОЛЖЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Олег Александрович Продоус¹, Дмитрий Иванович Шлычков²

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

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

Аннотация. В процессе эксплуатации гидравлические характеристики трубопроводов изменяются ввиду определенных причин, в частности за счет наличия слоя отложений. Важным параметром оценки эксплуатации трубопроводов является коэффициент эффективности.

Цель исследования: доказательство необходимости использования при гидравлических расчетах сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями значений расчетного коэффициента эффективности эксплуатации сетей для возможности прогнозирования значений гидравлических характеристик труб с любой (измеренной) толщиной слоя отложений.

Материалы и методы. Используются расчетные зависимости, многократно опубликованные авторами в печати.

Результаты. Для оценки возможности прогнозирования значений характеристик гидравлического потенциала труб с отложениями предложено использовать при гидрав-

лических расчетах труб значения коэффициента эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения.

Разработана форма расчетных таблиц для составления справочного пособия «Таблицы для гидравлического расчета сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб».

Ключевые слова: сети водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями, гидравлический расчет труб, зависимость гидравлических характеристик труб от толщины слоя осадка, внутренние отложения, коэффициент эффективности эксплуатации сети

Для цитирования: Продоус О.А., Шлычков Д.И. Коэффициент эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения как фактор оценки возможности продолжения дальнейшей их эксплуатации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 3. С. 162–168. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-162-168. EDN: QVBNEW

ORIGINAL ARTICLE

EFFICIENCY COEFFICIENT OF WATER SUPPLY AND REMOVAL AS AN ASSESSMENT FACTOR OF FURTHER OPERATION

Oleg A. Prodous¹, Dmitrii I. Shlychkov²

¹ *ООО "INCO-expert", Saint-Petersburg, Russia*

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

Abstract. During operation, pipeline hydraulic characteristics change due to the presence of sedimentary layers in pipes. The efficiency coefficient is an important parameter for the evaluation of the pipeline operation.

Purpose: The aim of this work is to prove the necessity of using the efficiency coefficient in the hydraulic analysis of water supply and removal with internal sedimentary layers in pipes in order to predict their hydraulic characteristics with any (measured) thickness of the sedimentary layer.

Methodology: Dependences used herein are repeatedly published by the authors.

Research findings: Calculation tables are developed to design the reference manual "Calculation tables for hydraulic analysis of water removal in pipes with sedimentary layers".

Practical implication: The proposed values of the efficiency coefficient of water supply and removal can be used in hydraulic calculations to predict the hydraulic potential of pipes with sedimentary layers.

Keywords: water supply, water removal, sedimentary layer, hydraulic analysis, efficiency coefficient

For citation: Prodous O.A., Shlychkov D.I. Efficiency coefficient of water supply and removal as an assessment factor of further operation. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (3): 162–168. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-162-168. EDN: QVBNEW

Введение

В процессе жизненного цикла трубопроводов водоснабжения и водоотведения из любого вида материалов на этапе эксплуатации наблюдается изме-

нение значений характеристик гидравлического потенциала труб: $d_{\text{вн}}$, V , i за счет наличия слоя внутренних отложений [1]. Основными причинами изменения значений указанных характеристик являются:

- качественный состав транспортируемой воды, зависящий от вида источника водоснабжения (поверхностный или подземный);
- продолжительность периода эксплуатации трубопровода (возраст);
- гидравлический режим эксплуатации труб;
- наличие слоя отложений (осадка) на внутренней поверхности труб;
- местные сопротивления (тройники, отводы, клапаны и др.).

Принято считать, что эффективными с гидравлической точки зрения являются напорные трубопроводы, имеющие минимальные фактические потери напора на сопротивление по длине $i_{\text{ф}}$ [1] и, соответственно, минимальные энергозатраты насосного оборудования, перекачивающего питьевую воду потребителям $N_{\text{дв}}^{\text{ф}}$ [2]; для самотечных сетей водоотведения – трубопроводы, работающие при нормативно установленной степени наполнения труб конкретного диаметра $\frac{H}{d_{\text{вн}}}$ с рекомендованными минимальными скоростями $V_{\text{мин}}$ [3].

Приведенные выше причины изменения значений характеристик гидравлического потенциала труб способствуют также образованию слоя отложений на внутренней поверхности водопроводных труб или слоя отложений (осадка) в лотковой части труб водоотведения [4, 5]. Каким критерием следует оценивать изменение значений гидравлических характеристик труб?

Методы

Оптимальным критерием, по мнению авторов статьи, является коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов водоснабжения или водоотведения $K_{\text{эф}}$, определяемый по формуле

$$K_{\text{эф}} = \frac{\left(d_{\text{вн}}^{\text{ф}}\right)^2 V_{\text{ф}} \cdot i_{\text{ф}}}{\left(d_{\text{вн}}^{\text{н}}\right)^2 V \cdot i}, \quad (1)$$

где $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, $V_{\text{ф}}$, $i_{\text{ф}}$ – значения фактических характеристик гидравлического потенциала труб, подвергаемых оценке; $d_{\text{вн}}^{\text{н}}$, V , i – значения тех же характеристик для новых труб; $K_{\text{эф}}$ – это безразмерный коэффициент, являющийся отношением произведения значений характеристик гидравлического потенциала труб, бывших в эксплуатации (изношенных), к произведению тех же характеристик для новых труб. Принято считать, что диапазон изменения значений $K_{\text{эф}}$ – от 1 до 0:

$$0 \leq K_{\text{эф}} \leq 1.$$

Чем больше величина значения $K_{\text{эф}}$, тем меньше по величине изменения в процессе эксплуатации имеют характеристики гидравлического потенциала труб, и наоборот.

Результаты

Исследование значений $K_{эф}$ для труб разного диаметра и различных видов материалов позволило авторам разработать специальные таблицы для водопроводных труб с отложениями (табл. 1) и самотечных сетей с осадком в их лотковой части (табл. 2). По этим таблицам производится оценка периода их остаточной эксплуатации до проведения реконструкций (замены) трубопровода или гидродинамической очистки труб от слоя отложений [6, 7].

Таблица 1

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

Table 1

Efficiency coefficient values for pipes with sedimentary layers

| Значение величины $K_{эф}$ | Продолжительность периода остаточной эксплуатации трубопровода из стали и серого чугуна $T_{исп}$, лет |
|------------------------------|---|
| $0,95 \leq K_{эф} \leq 1$ | $T_{исп} \geq 10$ лет с ежегодным контролем значений фактических потерь напора $i_{ф}$ и толщины фактического слоя отложений $\sigma_{ф}$ |
| $0,90 \leq K_{эф} \leq 0,95$ | $T_{исп} \geq$ не менее 5 лет с ежегодным контролем значений $i_{ф}$ и $\sigma_{ф}$ |
| $0,8 \leq K_{эф} \leq 0,90$ | Трубопровод эксплуатировать нецелесообразно |
| $K_{эф} < 0,80$ | Трубопровод эксплуатировать недопустимо |

Таблица 2

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

Table 2

Efficiency coefficient values for water removal pipes

| Значение величины $K_{эф}$ | Возможность продолжения дальнейшей эксплуатации сети |
|----------------------------|--|
| $0,6 \leq K_{эф} \leq 1$ | Возможно |
| $0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$ | Требуется проведение гидродинамической очистки сети |
| $K_{эф} \leq 0,5$ | Сеть эксплуатировать недопустимо |

Настоящий подход при оценке возможности продолжения дальнейшей эксплуатации трубопроводов реализуем только при известных параметрах величины значений $K_{эф}$, легко вычисляемых по известным, опубликованным ранее в печати формулам [8].

Представленные в табл. 1 и 2 значения $K_{эф}$ обладают большой практической значимостью, т. к. позволяют эксплуатирующим сети водоснабжения и водоотведения организациям планировать (прогнозировать) эксплуатационные расходы, обоснованно проводить реконструкцию сетей или замену труб, а также планировать своевременное проведение их гидродинамической очистки.

Таким образом, значения коэффициента эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения необходимо учитывать при проведении гидравлических расчетов труб для прогнозирования периода их дальнейшей остаточной эксплуатации. Такой подход является гидравлически обоснованным, поскольку учитывает состояние сетей (толщину слоя отложений) на момент проведения их оценки.

Вышеприведенные результаты являются основанием для рекомендации включения $K_{эф}$ в разрабатываемое в настоящее время авторами справочное пособие «Таблицы для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб».

Ниже приводится форма таких расчетных таблиц, в которых используется значение $K_{эф}$, обеспечивающее возможность прогнозирования значений характеристик гидравлического потенциала сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб (табл. 3).

Таблица 3

**Форма таблиц для гидравлического расчета сетей водоотведения
из любого вида материала труб**

Table 3

Calculation table for hydraulic analysis of water removal pipes

| Толщина слоя отложе- ний h , м | Рас- ход q , м ³ /с | Приве- денный диа- метр труб $d_{пр}$, м | Приве- денная ско- рость V , м/с | Коэф- фициент А. Шези C | Приве- денный гидрав- лический уклон $i_{пр}$, м/м | Фактическая степень наполнения труб $\frac{H_{ф}}{d_{пр}}$ ** | $K_{эф}$ * |
|---|---|--|--|------------------------------------|--|--|------------|
| | | | | | | | |

* Безразмерный коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации сети водоотведения определяется по формуле (1).

** $H_{ф} = H_n + h$, м, где H_n – нормативный уровень наполнения, м, рассчитывается по СП 32.13330.2018, h – толщина слоя отложений, м, измеряется или задается.

Представленная форма расчетных таблиц (табл. 3) отличается от своих аналогов тем, что в нее добавлено значение толщины слоя осадка в лотковой части труб h и приведено значение коэффициента эффективности эксплуатации сети $K_{эф}$. Это является ее существенной особенностью. Отличие и преимущество данной формы таблиц заключается в том, что при проектировании или эксплуатации по известному (измеренному) значению толщины слоя отложений в трубах h можно рассчитать значения фактических гидравлических характеристик труб: $d_{вн}^{\phi}$, V_{ϕ} и i_{ϕ} с конкретным слоем отложений в их лотковой части h и прогнозировать период остаточной продолжительности эксплуатации сетей (см. табл. 1 и 2) до проведения их реконструкции или замены труб на новые [9, 10, 11].

Приведенная в настоящей статье информация является продолжением серии публикаций авторов по теме «Оценка эффективности эксплуатации инженерных сетей – новое научное направление в сфере водоснабжения и водоотведения» [12].

Выводы

Использование расчетного коэффициента эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения расширяет диапазон данных о трубопроводах и обеспечивает:

– возможность проведения анализа значений гидравлических характеристик труб с разной толщиной слоя внутренних отложений;

- возможность прогнозирования периода остаточной эксплуатации трубопроводов с разной толщиной слоя отложений (осадка);
- условия для обоснования необходимости разработки проектов реконструкции (замены) трубопроводов водоснабжения и водоотведения на новые;
- обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки трубопроводов от слоя отложений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Продоус О.А., Шлычков Д.И., Пархоменко С.В.* Необходимость разработки таблиц для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Вестник ВолгГАСУ. 2022. Вып. 2 (87). С. 107–114.
2. *Дикаревский В.С., Продоус О.А., Якубчик П.П., Смирнов Ю.А.* Резервы экономии электроэнергии при транспортировании воды по водоводам из железобетонных труб // Рациональное использование воды и топливно-энергетических ресурсов в коммунальном водном хозяйстве : тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара (Алма-Ата, 6–8 августа 1985 г.). Москва : КСМ ВСНТО, 1985. С. 90–92.
3. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85. Издание официальное. Москва, 2019. 76 с.
4. *Продоус О.А.* Технический аудит состояния городского водопровода и канализации для оценки их возможностей на перспективу // Трубопроводы и экология. 2011 № 2. С. 14.
5. *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. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746
6. *Продоус О.А., Новиков М.Г., Самбурской Г.А., Шитилов А.А., Терехов Л.Д., Якубчик П.П., Чесноков В.А.* Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна. Санкт-Петербург ; Москва : ООО «Свое издательство», 2021. 36 с.
7. *Продоус О.А., Шлычков Д.И., Абросимова И.А.* Обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 1. С. 106–114. DOI 10.22227/1997-0935.2022.1 URL: <http://vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive>
8. *Продоус О.А., Шлычков Д.И.* Об опыте модернизации систем водоснабжения и водоотведения в ЖКХ и промышленности : материалы VII конференции, 29.09. – 03.10.2022. Пятигорск. URL: <https://pump.ru/conference/arkhiv/>
9. *Федоров Н.Ф., Волков Л.Е.* Гидравлический расчет канализационных сетей (Расчетные таблицы). 4-е изд., испр. Ленинград : Стройиздат, 1968. 252 с.
10. *Лукиных А.А., Лукиных Н.А.* Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. 4-е изд., доп. Москва : Стройиздат, 1974. 160 с.
11. *Патент № 207822.* Устройство для измерения толщины отложений в трубе / Продоус О.А., Шлычков Д.И. Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ 18.11.2021 г.
12. *Продоус О.А., Шлычков Д.И.* Прогнозирование возможности продолжения эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями с лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 4 (39). С. 646–653.

REFERENCES

1. *Prodous O.A., Shlychikov D.I., Parkhomenko S.V.* Development of calculation tables for the hydraulic analysis of gravity flow sewerage networks with sedimentation in the flume pipe. *Vestnik VolgGASU*. 2022; 2 (87): 107–114. (In Russian)
2. *Dikarevsky V.S., Prodous O.A., Yakubchik P.P., Smirnov Yu.A.* Reserves of energy saving during water transportation through pipelines made of reinforced concrete pipes. In: *All-Union Sci. Seminar "Rational Use of Water, Fuel and Energy Resources in Municipal Water Management"*, Alma-Ata, 1985. Pp. 90–92. (In Russian)

3. SP 32.13330.2018 Sewerage. Outdoor networks and structures. Moscow, 2019. 76 p. (In Russian)
4. Prodous O.A. Technical audit of urban water supply and sewerage to assess their future capabilities. *Truboprovody i ekologiya*. 2011; (2): 14. (In Russian)
5. Prodous O.A., Shlychikov D.I., Yakubchik P.P., Parkhomenko S.V. Influence of sedimentary layer thickness in water supply system on their operation. *Vestnik MGSU*. 2022; 17 (6): 738–746. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746 (In Russian)
6. Prodous O.A., Novikov M.G., Sambursky G.A., Shipilov A.A., Terekhov L.D., Yakubchik P.P., Chesnokov V.A. Recommendations for reconstruction of non-standard metal water supply pipelines made of steel and gray cast iron. Saint-Petersburg: Moscow, 2021. 36 p. (In Russian)
7. Prodous O.A., Shlychikov D.I., Abrosimova I.A. Hydrodynamic cleaning of gravity drainage networks. *Vestnik MGSU*. 2022; 17 (1): 106–114. DOI 10.22227/1997-0935.2022.1 <http://vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive> (In Russian)
8. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Experience in updating water and wastewater systems in housing and industry. In: *Proc. 7th Conf.*, 2022, Pyatigorsk. Available: <https://pump.ru/conference/arkhiv/> (In Russian)
9. Fedorov N.F., Volkov L.E. Hydraulic calculation of sewer networks (Calculation tables), 4th ed. Leningrad: Stroyizdat, 1968. 252 p. (In Russian)
10. Lukinykh A.A., Lukinykh N.A. Tables for hydraulic analysis of sewer networks according to the Pavlovsky formula, 4th ed., Moscow: Stroyizdat, 1974. 160 p. (In Russian)
11. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Device for measuring sedimentary layer thickness in pipes. UMP Rus. Fed. No. 207822, 2021. (In Russian)
12. Prodous O.A., Shlychikov D.I. Forecasting continuous operation of gravity drainage networks with sedimentary layers in pipe tray. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2021; 11 (4 (39)): 646–653. (In Russian)

Сведения об авторах

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

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

Authors Details

Oleg A. Prodous, DSc, Professor, independent expert in water supply and removal, ООО "INCO-expert", 37/1, Moskovskii Ave., 190005, Saint-Petersburg, Russia, pro@enco.su

Dmitrii I. Shlychikov, PhD, A/Professor, The National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, ShlychikovDI@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 17.01.2023
Одобрена после рецензирования 20.03.2023
Принята к публикации 16.05.2023

Submitted for publication 17.01.2023
Approved after review 20.03.2023
Accepted for publication 16.05.2023