

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 151–162.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 151–162.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 504.06

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-151-162

EDN: MNWUMI

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ НА ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗНОШЕННЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ И КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

Олег Александрович Продоус¹, Дмитрий Иванович Шлычков²,
Александр Анатольевич Шестаков², Андрей Геннадьевич Челоненко²

¹Независимый эксперт по «Водоснабжению и канализации»,

г. Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет

г. Москва, Россия

Аннотация. *Актуальность.* В статье дается обоснование необходимости разработки отсутствующих в действующих нормативных документах требований на значения гидравлических характеристик водопроводных и канализационных труб с внутренними отложениями. Отсутствие таких требований приводит к изменению фактического внутреннего диаметра труб, скоростного режима потока и потерь напора на сопротивление по длине, а также к увеличению энергопотребления насосного оборудования. Представленный материал позволит эксплуатирующим организациям принимать обоснованные решения о необходимости вывода изношенных инженерных сетей из эксплуатации.

Цель. Разработать и обосновать требования на допустимую с гидравлической точки зрения толщину слоя отложений на внутренней поверхности изношенных металлических водопроводных и канализационных труб для обоснования их вывода из эксплуатации.

Методы. В качестве способа обоснования используется количественный метод оценки эффективности эксплуатации труб по гидравлическому критерию с анализом значений характеристик их гидравлического потенциала.

Результаты. Предложена специальная таблица с диапазоном количественных значений коэффициентов эффективности эксплуатации изношенных трубопроводов, по которым устанавливается остаточный период эксплуатации труб для обоснования их вывода из работы.

Выводы. Разработаны предложения для внесения в действующие СП 31.13330.2021 и СП 32.13330.2018, обосновывающие необходимость вывода из эксплуатации изношенных металлических водопроводных и канализационных трубопроводов с внутренними отложениями.

Ключевые слова: трубопроводы из стали и серого чугуна, внутренние отложения, гидравлическая оценка эффективности эксплуатации, срок службы

Для цитирования: Продоус О.А., Шлычков Д.И., Шестаков А.А., Челоненко А.Г. О необходимости разработки нормативных требований на вывод из эксплуатации изношенных водопроводных и канализационных трубопроводов с внутренними отложениями // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 151–162. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-151-162. EDN: MNWUMI

ORIGINAL ARTICLE

TOWARDS REGULATIONS OF DECOMMISSIONING EXHAUSTED WATER AND SEWER PIPELINES WITH RESIDUES

Oleg A. Prodous¹, Dmitrii I. Shlychkov²,
Aleksandr A. Shestakov², Andrei G. Chelonenko²

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

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

Abstract. The article provides a justification for the need to develop requirements for hydraulic characteristics of water and sewer pipes with internal deposits, that are absent in current regulations. The absence of such requirements leads to a change in the actual inner pipe diameter, flow rate and pressure losses, higher energy consumption of the pumping equipment.

Purpose: To develop quantitative requirements for residue layer thickness on the inner surface of exhausted water and sewer pipes to substantiate their decommissioning.

Methodology/approach: The quantitative method is used to assess the pipe operation efficiency according to the hydraulic criterion with the analysis of their hydraulic potential.

Research findings: Quantitative values are proposed for the operational efficiency of exhausted pipelines according to which the residual pipe operation is determined to justify their decommissioning. Research findings will allow organizations to make decisions on decommissioning of exhausted engineering networks.

Value: The developed proposals can be introduced in construction rules 31.13330.2021 and 32.13330.2018, justifying the need to decommission exhausted water and sewer pipelines with residues.

Keywords: steel pipeline, cast iron pipeline, internal deposits, hydraulic assessment, service life

For citation: Prodous O.A., Shlychkov D.I., Shestakov A.A., Chelonenko A.G. Towards Regulations of Decommissioning Exhausted Water and Sewer Pipelines with Residues. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 151–162. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-151-162. EDN: MNWUMI

Введение

Практикой эксплуатации металлических сетей водоснабжения и канализации из стали и серого чугуна без внутренних покрытий установлено, что на внутренней (рабочей) поверхности труб в процессе их жизненного цикла образуется слой внутренних отложений (рис. 1).

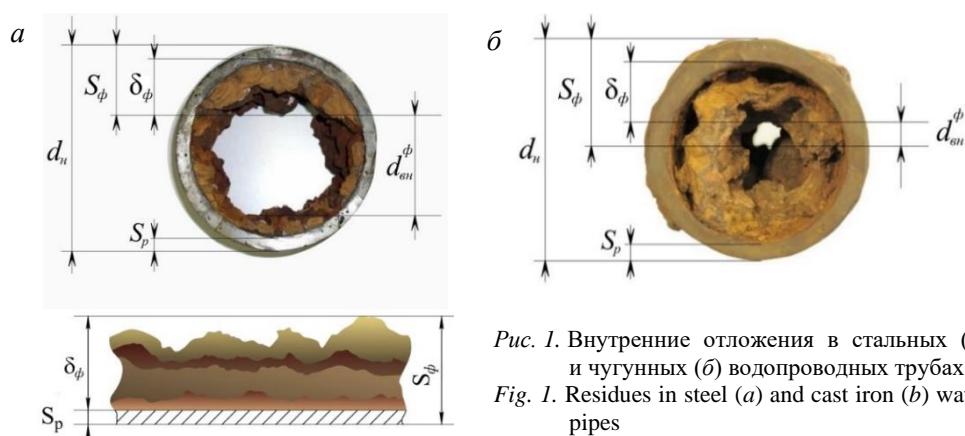


Рис. 1. Внутренние отложения в стальных (а) и чугунных (б) водопроводных трубах
Fig. 1. Residues in steel (a) and cast iron (b) water pipes

В монографии [1] впервые в отечественной и зарубежной практике описан механизм образования слоя внутренних отложений, толщина которого увеличивается во времени в зависимости от качественных характеристик транспортируемой по напорным трубам питьевой воды или сточной жидкости. Процесс образования отложений на внутренней поверхности изношенных металлических труб происходит непрерывно, вплоть до полной закупорки их внутреннего сечения, когда трубопровод невозможно эксплуатировать.

До настоящего времени окончательно не разработаны вопросы, связанные с прогнозом периода остаточной эксплуатации изношенных коммунальных сетей из металлических труб с внутренними отложениями. Авторами настоящей статьи предложены предельно допустимые с гидравлической точки зрения значения толщины слоя отложений, при достижении которых трубопровод обоснованно выводится из эксплуатации или может ограниченное время продолжать работу [2, 3].

Методы

Рассмотрим более подробно предложенный авторами метод оценки эффективности эксплуатации изношенных металлических водопроводных и канализационных сетей по коэффициенту гидравлической эффективности их работы [3].

Коэффициент гидравлической эффективности работы инженерных сетей – критерий, характеризующий их эксплуатационное состояние с учетом фактиче-

ских значений характеристик гидравлического потенциала труб ($d_{\text{вн}}^{\Phi}$, V_{Φ} , i_{Φ}) и энергопотребления насосных агрегатов, транспортирующих питьевую воду или сточную жидкость в напорном режиме [4, 5].

Гидравлический износ металлического трубопровода (труб) – это состояние внутренней (рабочей) поверхности, характеризуемое значением фактического внутреннего диаметра труб с отложениями, при котором, м,

$$d_{\text{вн}}^{\Phi} \leq d_{\text{ф}}^{\text{доп}}; \quad d_{\text{вн}}^{\Phi} = (d_{\text{н}} - 2S_p) - 2\delta, \quad (1)$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр труб (ГОСТ), м; S_p – толщина стенки трубы по сор-таменту, м; δ – толщина слоя внутренних отложений, м, измеряется с помощью ультразвукового толщиномера [6]; $d_{\text{ф}}^{\text{доп}}$ – допустимый с гидравлической точки зрения фактический внутренний диаметр труб со слоем отложений $\delta_{\text{ф}}$, м.

Расчет $d_{\text{ф}}^{\text{доп}}$ будет приведен ниже на примере.

Эксплуатационное состояние внутренней (рабочей) поверхности металлических труб определяется по результатам работы ультразвукового толщиномера. Принцип действия основан на излучении прибором ультразвуковых волн, которые отражаются от поверхности с конкретной фактической толщиной слоя внутренних отложений. Принцип его работы заключается в точном вычислении времени прохождения импульса от излучателя ультразвуковой волны до исследуемой поверхности с конкретным слоем отложений. Поскольку ультразвук отражается от границы с разнородными материалами (металлическая стенка трубы и слой внутренних отложений на ее поверхности), то измерение производится в режиме «импульс/эхо», т. е. толщиномер прослушивает эхо с противоположной стороны, между посланным прибором и отраженным от измеряемой толщины слоя отложений сигналом, за несколько миллионных долей секунды. В толщиномер занесены данные о скорости звука, поэтому зависимость для расчета $\delta_{\text{ф}}$ имеет вид, мм:

$$d_{\text{вн}}^{\Phi} = V \cdot t / 2, \quad (2)$$

где V – скорость ультразвука; t – измеренное прибором время прохождения ультразвука, мс.

Разные материалы обладают различными свойствами передачи звуковых волн.

В твердых материалах (сталь и чугун) передача звуковых волн выше, а в мягких (слой отложений) – ниже.

Изменение значения фактического внутреннего диаметра металлических труб с внутренними отложениями $d_{\text{вн}}^{\Phi}$ допустимо только до значения $d_{\text{ф}}^{\text{доп}}$, обоснованного с гидравлической точки зрения. Продемонстрируем это на конкретном примере.

Условия задачи

По водопроводу из стальных электросварных труб диаметром $d_{\text{н}} = 219$ мм (0,219 м) транспортируется питьевая вода $q = 27$ л/с (0,027 м³/с). Фактическая

толщина слоя внутренних отложений $\delta_{\phi} = 9$ мм (0,009 м). Определить предельное значение фактического внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}^{\phi}$, при котором трубопровод выводится из эксплуатации.

Решение

1. Определяют значение фактического внутреннего диаметра:

$$d_{\text{вн}}^{\phi} = (d_{\text{н}} - 2S_p) - 2\delta_{\phi}, \text{ м}, \quad (3)$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр трубы (ГОСТ), м; S_p – толщина стенки трубы (ГОСТ), м;

$$S_p = 4,5 \text{ мм} = 0,0045 \text{ м};$$

$$d_{\text{вн}}^{\phi} = (0,219 - 2 \cdot 0,0045) - 2 \cdot 0,009 = 0,192 \text{ м}.$$

2. Вычисляют значение фактической скорости движения воды V_{ϕ} :

$$V_{\phi} = \frac{4q}{\pi(d_{\text{вн}}^{\phi})^2} = \frac{4 \cdot 0,027}{3,14 \cdot 0,192^2} = \frac{0,108}{0,1158} = 0,93 \text{ м/с}.$$

3. По уточненной авторами формуле профессора Ф.А. Шевелева определяют значение фактического гидравлического уклона труб (потерь напора на сопротивление по длине в 1 пог. м):

$$i_{\phi} = 0,00107 \frac{V_{\phi}^2}{(d_{\text{вн}}^{\phi})^{1,3}} = \frac{0,00107 \cdot 0,93^2}{(0,192)^{1,3}} = \frac{0,000925}{0,117} = 0,13214 \text{ мм/м}.$$

4. Рассчитывают значение фактического гидравлического уклона i_{ϕ} в диапазоне изменения толщины слоя внутренних отложений от 0 (новые трубы) до $\delta_{\phi} = 20$ мм. Данные расчета заносят в табл. 1 для построения графиков зависимостей $i_{\phi} = f(\delta_{\phi})$ и $K_{\text{эф}} = f(\delta_{\phi})$ (рис. 2, 3).

Таблица 1

Значения характеристик гидравлического потенциала труб

Table 1

Hydraulic potential values of pipes

| Толщина слоя внутренних отложений δ , мм | Гидравлические характеристики труб | | | Коэффициент эффективности эксплуатации |
|---|------------------------------------|------------------|-------------------|--|
| | $d_{\text{вн}}^{\phi}$, м | V_{ϕ} , м/с | i_{ϕ} , мм/м | K_{ϕ} |
| 0 | 0,210 | 0,78 | 0,00495 | 1,0 |
| 1 | 0,209 | 0,79 | 0,00511 | 0,97 |
| 5 | 0,200 | 0,86 | 0,00641 | 0,77 |
| 10 | 0,190 | 0,95 | 0,00837 | 0,59 |
| 11 | 0,188 | 0,97 | 0,00884 | 0,56 |
| 15 | 0,180 | 1,06 | 0,01117 | 0,44 |
| 20 | 0,170 | 1,19 | 0,01517 | 0,33 |

5. Рассчитывают значения коэффициента эффективности эксплуатации труб в диапазоне значений $\delta_{\phi} = 0$ –20 мм.

6. Вычисляют истинное значение фактического внутреннего диаметра труб с внутренними отложениями, учитывая экспертное мнение специалистов, эксплуатирующих металлические сети водоснабжения и канализации [7], которые рекомендуют: $(d_{\text{вн}}^{\phi})^{\text{ист}} \leq 0,95 \cdot d_{\text{вн}}^{\text{р}}$, м, т. е. значение $d_{\text{вн}}^{\phi}$ не должно превышать 5 % от расчетного внутреннего диаметра труб по сортаменту.

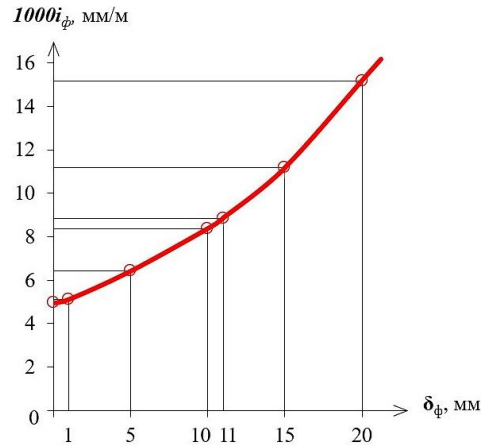


Рис. 2. График зависимости $1000i_{\phi} = f(\delta_{\phi})$
Fig. 2. $1000i_{\phi} = f(\delta_{\phi})$ dependence

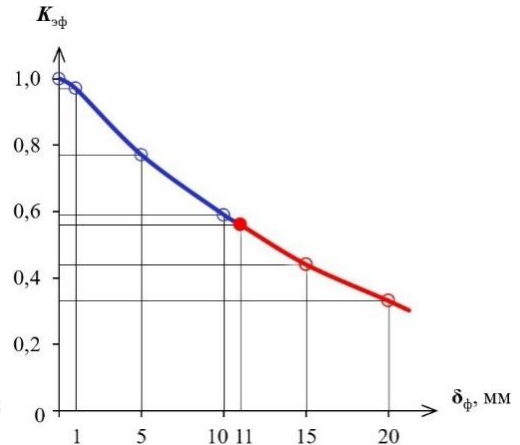


Рис. 3. График зависимости $K_{\text{эф}} = f(\delta_{\phi})$
Fig. 3. $K_{\text{эф}} = f(\delta_{\phi})$ dependence

Для приведенного примера это значение составляет:

$$(d_{\text{вн}}^{\phi})^{\text{ист}} = 0,95 \cdot 0,210 = 0,199 \text{ м},$$

тогда предельно допустимое значение толщины слоя внутренних отложений:

$$\delta_{\phi}^{\text{пр}} = d_{\text{вн}}^{\text{р}} - (d_{\text{вн}}^{\phi})^{\text{ист}} = 0,210 - 0,199 = 0,011 \text{ м} = 11,0 \text{ мм}.$$

Это предельно допустимое значение толщины слоя отложений $\delta_{\phi}^{\text{пр}}$ для рассмотренного примера означает, что при меньшем значении δ_{ϕ} трубопровод имеет удовлетворительные с гидравлической точки зрения значения характеристик гидравлического потенциала труб, т. е. **является эффективным**.

Результаты

На основе расчетных данных, приведенных в табл. 1, построены графики зависимостей $1000i_{\phi} = f(\delta_{\phi})$ и $K_{\text{эф}} = f(\delta_{\phi})$, анализ которых позволяет сделать следующие выводы:

– чем больше толщина слоя отложений δ_{ϕ} , тем больше значение фактического гидравлического уклона i_{ϕ} (потери напора на сопротивление по длине) и больше энергопотребление насосных агрегатов, транспортирующих воду потребителям или отводящим сточные воды на очистку [8];

– с увеличением значения δ_{ϕ} значение коэффициента эффективности эксплуатации водопроводных и канализационных сетей $K_{\text{эф}}$ увеличивается, стано-

вится короче период продолжительности их остаточной эксплуатации, оцениваемый значением этого коэффициента по специальным таблицам (табл. 2 и 3), разработанным авторами [9].

Таблица 2

Диапазон изменения $K_{эф}$ для сетей водоснабжения

Table 2

Changes in K_{ef} for water supply networks

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

Таблица 3

Диапазон изменения $K_{эф}$ для самотечных сетей канализации

Table 3

The range of K_{ef} values for gravity sewerage systems

| 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 |

Эффективным с гидравлической точки зрения считается трубопровод, обладающий минимальными потерями напора на сопротивление по длине (гидравлическим уклоном), характеризуемый эффективной скоростью потока V и эффективным внутренним диаметром $d_{вн}$ (без внутренних отложений). Следовательно, количественная оценка эффективности эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения необходима и актуальна, т. к. такая оценка позволяет прогнозировать изменение гидравлического потенциала труб в процессе их жизненного цикла «Эксплуатация» и в итоге определять период их остаточной эксплуатации до замены труб на новые [10]. Количественная оценка эффективности эксплуатации трубопроводов позволяет проводить:

- разработку прогнозов значений характеристик гидравлического потенциала труб на перспективу;
- совершенствование общепринятых методик гидравлического расчета трубопроводов водоснабжения и водоотведения с учетом толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб.

Согласно выводам, приведенным в работе [10], количественная оценка гидравлической эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоот-

ведения по величине значения $K_{\text{эф}}$ (формула (1)) позволяет определить по специальным таблицам (табл. 1 и 2) остаточный период продолжительности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения до проведения гидродинамической очистки или полного вывода из эксплуатации.

Количественная оценка эффективности их эксплуатации должна производиться с помощью гидравлического критерия оценки. Таким критерием, согласно результатам исследований, проведенных авторами данной статьи и другими специалистами, является безразмерный коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации трубопровода водоснабжения или водоотведения ($K_{\text{эф}}$), определяемый по формуле [10]:

$$K_{\text{эф}} = \frac{(d_{\text{вн}}^{\text{р}})^2 V_{\text{р}} \cdot i_{\text{р}}}{(d_{\text{вн}}^{\text{ф}})^2 V_{\text{ф}} \cdot i_{\text{ф}}}, \quad (4)$$

где $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ – фактический (измеренный) внутренний диаметр труб с отложениями на момент оценки, м; $V_{\text{р}}$ – скорость в новой трубе, м/с; $i_{\text{р}}$ – расчетный гидравлический уклон в новой трубе, мм/м; $d_{\text{вн}}^{\text{р}}$ – расчетный внутренний диаметр новых труб, 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, мм/м.

Коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации трубопровода $K_{\text{эф}}$ – это величина, отражающая характер изменения значений гидравлических характеристик труб ($d_{\text{вн}}$, V , i) в случае образования слоя внутренних отложений рабочей поверхности труб.

В работе [11] обоснован диапазон значений величины $K_{\text{эф}}$ для водопроводных и канализационных труб из стали и серого чугуна диаметром 400 мм и для бетонных труб самотечных сетей водоотведения диаметром 400 мм. Диапазон значений $K_{\text{эф}}$ следующий:

- для водопроводных труб: $0,9 \leq K_{\text{эф}} \leq 0,95$;
- для труб канализации: $0,5 \leq K_{\text{эф}} \leq 0,6$.

Поясним, что означает значение цифр в указанном диапазоне.

Расчетной значимостью для подсчета значений $K_{\text{эф}}$ является формула (4) – отношение произведения расчетных значений характеристик гидравлического потенциала новых труб $d_{\text{вн}}$, V , i к значению произведения тех же характеристик для труб с отложениями $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, $V_{\text{ф}}$, $i_{\text{ф}}$. Величина $K_{\text{эф}}$ изменяется в диапазоне значений: $0 \leq K_{\text{эф}} \leq 1$.

Методика оценки параметров, приведенная в табл. 2 и 3, обеспечивает возможность прогнозирования периода остаточной эксплуатации трубопроводов водоснабжения и канализации по результатам анализа величины значения основного критерия гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов $K_{\text{эф}}$, имеющих разную толщину слоя внутренних отложений ($\delta_{\text{ф}}$ – в водопроводных трубах и в сетях канализации).

Таким образом, на основании описанной методики прогнозирования остаточного периода эксплуатации трубопроводов, приведенного примера и анализа

нормативной документации и научной литературы, возникает необходимость разработки нормативных требований, обосновывающих вывод из эксплуатации изношенных водопроводных и канализационных трубопроводов с внутренними отложениями, которые должны быть включены в качестве обязательных в требования нормативных документов СП 31.13330.2021 и СП 32.13330.2018.

Для этого потребуется проведение комплексных специальных НИР и ОКР коллективом ученых и специалистов из разных регионов страны, которые по заданию Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ смогут провести такую работу. По результатам будут разработаны требования в действующие Своды правил, которые обеспечивают на государственном уровне:

- возможность прогнозирования продолжительности остаточного периода эксплуатации изношенных металлических трубопроводов водоснабжения и канализации с внутренними отложениями за счет контроля значений предельно допустимой толщины их слоя отложений;
- планирование финансовых затрат на реконструкцию или замену изношенных трубопроводов систем водоснабжения и канализации;
- экономии электропотребления насосно-силовым оборудованием напорных водопроводных и канализационных насосных станций;
- повышение эксплуатационного уровня предприятий, эксплуатирующих металлические водопроводные и самотечные канализационные сети городов и населенных пунктов.

Табл. 2 и 3, приведенные в настоящей работе, являются обобщением результатов исследований, проводимых авторами статьи на протяжении нескольких лет.

Предложенный авторами метод количественной оценки эффективной эксплуатации сетей водоснабжения и канализации с внутренними отложениями по значению величины коэффициента гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов $K_{\text{эф}}$ обеспечивает возможность:

- проведения анализа величины значений характеристик гидравлического потенциала труб с разной толщиной слоя внутренних отложений, влияющих на величину энергопотребления напорных систем водоснабжения или канализации;
- прогнозирования величины значений характеристик гидравлического потенциала труб с разной толщиной слоя внутренних отложений и фактического энергопотребления насосных агрегатов в напорных сетях водоснабжения;
- определения остаточного периода продолжительности эксплуатации до проведения реконструкции напорных сетей водоснабжения и гидродинамической очистки сетей канализации с разной толщиной слоя внутренних отложений.

Заключение

Таким образом, представленный в статье материал свидетельствует о необходимости:

- разработки специальной шкалы предельно допустимых значений $\sigma_{\text{ф}}$ для всего сортамента металлических труб из стали и серого чугуна, такая шкала может быть создана на основе проведения специальных НИР;

- разработки методики контроля значений $\sigma_{\text{ф}}$ на стадии жизненного цикла металлических трубопроводов «Эксплуатация»;
- разработки нормативных требований (государственного стандарта), регламентирующих для конкретных условий остановку дальнейшей эксплуатации трубопровода для проведения его гидродинамической очистки от слоя внутренних отложений;
- учета предельного значения допустимой толщины слоя отложений в трубах конкретного диаметра при разработке проектов реконструкции напорных сетей водоснабжения из металлических труб.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Гидравлический расчет сетей водоотведения с внутренними отложениями. Москва : Изд-во Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), 2022. 120 с. ISBN 978-5-7264-3170-3.
2. Продоус О.А. Гидравлическое прогнозирование использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 11 (155). С. 28–32. EDN: UXZWDB
3. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Прогнозирование возможности продолжения эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 4. С. 646–653. URL: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>
4. Продоус О.А., Шпилов А.А. Гидравлический критерий обоснования необходимости разработки проектов реконструкции водопроводных сетей из металлических труб // Водные системы и технологии. 2020. № 1. С. 26–31. URL: <https://cloud.mail.ru/public/xeYp/gxLhGxHET>
5. 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. 2022. № 5 (245). С. 28–30. EDN: ACPKJC
6. Толщиномеры ультразвуковые. Принцип работы // FB.ru. – URL: <https://fb.ru/article/243330/tolschinomeryi-ultrazvukovyie-printsip-raboty-i-instruksiya-proizvoditeli-otzyivyi?ysclid=lhi4pm2fwq129091241>
7. 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. Вып. 3. С. 115–124. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.7
8. 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. № 6. С. 738–746. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746
9. Продоус О.А. Гидравлическое прогнозирование продолжительности использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 11 (155). С. 28–32. EDN: UXZWDB
10. Продоус О.А., Новиков М.Г., Самбурский Г.А., Шпилов 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.
11. Продоус О.А. Гидравлическая оценка остаточного срока службы изношенных металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и водоотведение населенных мест и промышленных предприятий: эффективные решения и технологии : сб. докладов 4-й Международной конференции, Москва, 8–9 сентября 2020 г. в рамках форума «ЭКВАТЭК-2020». С. 1–9.

REFERENCES

1. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Hydraulic Analysis of Drainage Networks with Residues. Moscow, 2022. 120 p. (In Russian)
2. Prodous O.A. Hydraulic Forecast of Metal Pipeline Life for Water Supply and Sanitation. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2020; 11 (155): 28–32. (In Russian)
3. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Forecast of Continuing Operation of Gravity Flow Systems with Residues. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2021; 11 (4): 646–653. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653> (In Russian)
4. Prodous O.A., Shipilov A.A. Hydraulic Criterion for Substantiating Reconstruction of Water Supply Systems. *Vodnye sistemy i tekhnologii*. 2020; (1): 26–31. <https://cloud.mail.ru/public/xeYp/gxLhGxHET> (In Russian)
5. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychkov D.I. Dependence of Energy Consumption of Pumping Systems of Pressure Collectors on Sediment Thickness in Pipes. *Konditsionirovanie*. 2022; 5 (245): 28–30. (In Russian)
6. Operation principle of ultrasonic thickness gauges. Available: <https://fb.ru/article/243330/tolschinomeryi-ultrazvukovyye-printsip-raboty-i-instruktsiya-proizvoditeli-otzyivyi?ysclid=lhi4pm2fwq129091241> (In Russian)
7. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Systematization of Hydraulic Analysis of Metal Water Supply and Sanitation Networks with Residues. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2022; 12 (3): 115–124. Available: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.7 (In Russian)
8. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Yakubchik P.P., Parkhomenko S.V. Thickness Influence of Residue Layer in Water and Sewer Pipes on Residual Operation. *Vestnik MGSU*. 2022; 17 (6): 738–746. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746 (In Russian)
9. Prodous O.A. Hydraulic Analysis of Operation of Metal Water Supply and Sewer Pipelines. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2020; 11 (155): 28–32. (In Russian)
10. 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: Svoe izdatel'stvo, 2021. 36 p. (In Russian)
11. Prodous O.A. Hydraulic Analysis of Residual Service Life of Exhausted Metal Water and Sewer Pipelines. In: *Proc. 4th Int. Conf. 'Water Supply and Sanitation of Settlements and Industrial Enterprises: Effective Solutions and Technologies'*. Moscow, 2020. Pp. 1–9. (In Russian)

Сведения об авторах

Продоус Олег Александрович, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор, 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, SHlyichkovDI@mgsu.ru

Шестаков Александр Анатольевич, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, S321555@yandex.ru

Челоненко Андрей Геннадьевич, магистр, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, andreicelonenco@mail.ru

Authors details

Oleg A. Prodous, DSc, Professor, Director General, ООО "INCO-expert", 37/1, Moskovskii Ave., 190005, Saint-Petersburg, Russia, pro@enco.su

Dmitriy I. Shlychkov, PhD, A/Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, SHlyichkovDI@mgsu.ru

Alexander A. Shestakov, Research Assistant, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, S321555@yandex.ru

Andrey G. Chelonenko, Master's Degree, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, andreicelonenco@mail.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 04.07.2024
Одобрена после рецензирования 01.08.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 04.07.2024
Approved after review 01.08.2024
Accepted for publication 16.09.2024