

О. А. ПРОДОУС
Д. И. ШЛЫЧКОВ
П. П. ЯКУБЧИК

ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАЦИИ

CAUSES AND CONSEQUENCES OF CHANGES IN THE VALUES OF HYDRAULIC
CHARACTERISTICS OF METAL WATER SUPPLY AND SANITATION NETWORKS
DURING THEIR OPERATION

Цель работы: Заключается в проведении сравнительного анализа значений характеристик гидравлического потенциала металлических трубопроводов, используемых при оценке энергопотребления насосных агрегатов, установленных на трубопроводах с разной толщиной слоя внутренних отложений.

Методы: Разработаны в табличной форме причины изменения значений гидравлических характеристик металлических трубопроводов в процессе их эксплуатации. На конкретном примере показано изменение значений характеристик гидравлического потенциала труб с разной толщиной слоя внутренних отложений, входящих в расчетную зависимость для определения фактического энергопотребления насосных агрегатов.

Результаты и обсуждение: Предложено разработать для всего сортамента выпускаемых стальных труб и труб из серого чугуна шкалу предельно-допустимых значений толщины слоя внутренних отложений, по которой должно приниматься решение о продолжении или остановке эксплуатации трубопроводов.

Заключение: Рекомендовать на основе гидравлического расчета характеристик гидравлического потенциала труб для приведенного примера минимизировать использование в проектах сетей водоснабжения и водоотведения стальных и чугунных труб из серого чугуна. Учитывать при эксплуатации металлических трубопроводов динамику изменения энергопотребления насосных агрегатов при разной толщине слоя внутренних отложений.

Purpose: It consists in carrying out a comparative analysis of the values of the characteristics of the hydraulic potential of metal pipelines used in assessing the energy consumption of pumping units installed on pipelines with different thickness of the layer of internal deposits.

Methods: The reasons for changing the values of hydraulic characteristics of metal pipelines during their operation are developed in tabular form. A concrete example shows the change in the values of the characteristics of the hydraulic potential of pipes with different thickness of the layer of internal deposits included in the calculated dependence for determining the actual energy consumption of pumping units.

Results: It is proposed to develop for the entire range of manufactured steel pipes and pipes made of gray cast iron, a scale of maximum permissible values of the thickness of the layer of internal deposits, according to which a decision should be made to continue or stop the operation of pipe wires.

Conclusion: To recommend, based on the hydraulic calculation of the characteristics of the hydraulic potential of pipes for the given example, minimizing the use of steel and cast iron pipes made of gray cast iron in projects of water supply and drainage networks. When operating metal pipelines, take into account the dynamics of changes in the energy consumption of pumping units with different thickness of the layer of internal deposits.

Ключевые слова: гидравлический расчет, металлические сети водоснабжения и водоотведения, характеристики гидравлического потенциала, энергопотребление насосов, внутренние отложения

Keywords: hydraulic calculation, metal networks of water supply and sanitation, characteristics of hydraulic potential, energy consumption of pumps, internal deposits.

Введение

Установлено, что в процессе жизненного цикла «Эксплуатация» водопроводные сети из металлических труб (серого чугуна), а также сети водоотведения из любых видов материалов при определенных условиях подвержены образованию на стенках труб слоя внутренних отложений, изменяющих значения характеристик гидравлического потенциала труб – $V, d_{\text{вн}}, i$ [1–8].

На рис. 1 приведены фрагменты отложений на внутренней поверхности металлических сетей водоснабжения и сетей водоотведения.

Наличие слоя внутренних отложений на стенках труб приводит к последствиям, изменяющим значения характеристик гидравлического потенциала труб и влияющим на продолжительность использования изношенных сетей и энергопотребление насосных агрегатов для напорных сетей и коллекторов [1, 2].

На рис. 2 перечислены причины и последствия изменения значений гидравлических характеристик трубопроводов водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями.

Методы

На конкретном примере на основе рис. 1 проведем гидравлический расчет и покажем изменения значений характеристик гидравлического потенциала напорного коллектора водоотведения из чугунных труб диаметром $d_{\text{н}} = 0,404$ м.

Условие задачи

По напорному чугунному коллектору диаметром $d_{\text{н}} = 0,404$ м (ГОСТ 9583-75) с толщиной стенки $S_{\text{н}} = 12,5$ мм (0,0125 м) перекачивается расход сточных вод $q = 140$ л/с (0,14 м³/с). Толщина слоя внутренних отложений $\sigma = 25$ мм (0,025 м).

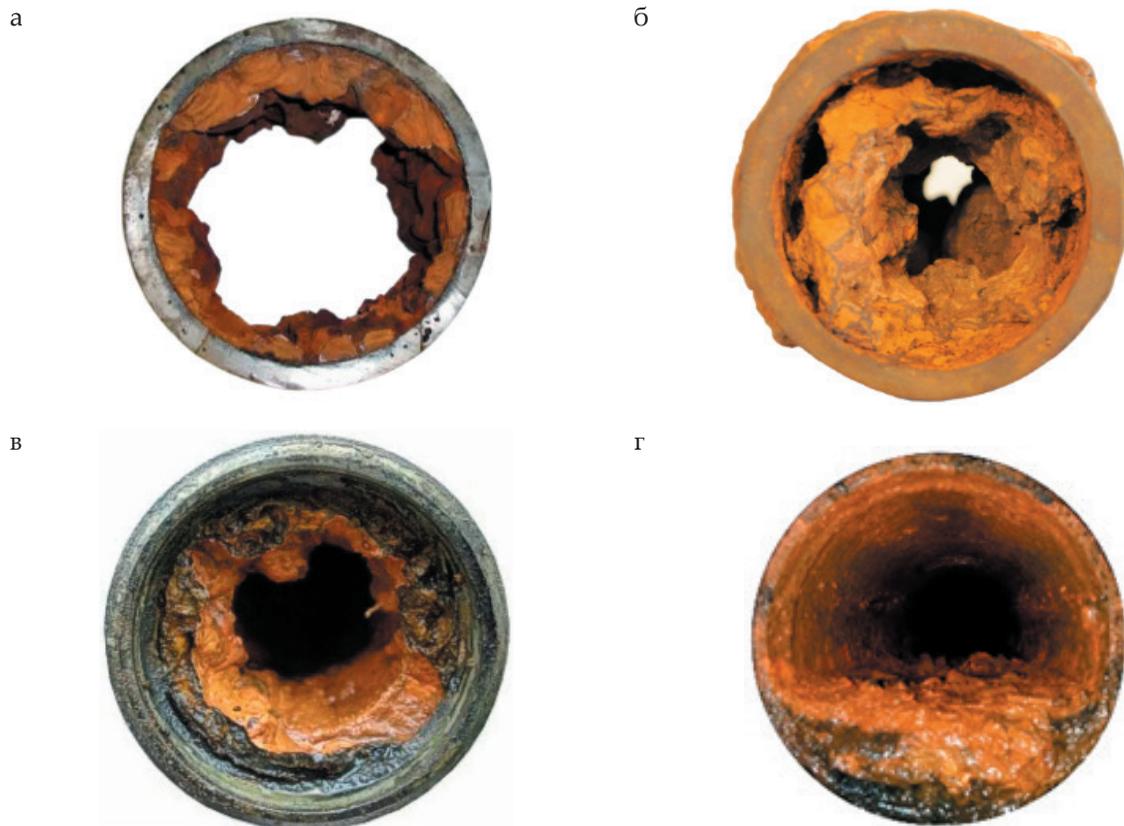


Рис. 1. Фрагменты внутренних отложений на стенках металлических труб: а, б – напорные сети водоотведения; в, г – самоточные сети водоотведения



Рис. 2. Причины и последствия изменения значений гидравлических характеристик трубопроводов водоснабжения и водоотведения

Рассчитать и сравнить значения фактических характеристик гидравлического потенциала труб $d_{вн}^\Phi$, V_Φ , i_Φ и новых чугунных труб диаметром $d_n = 0,429$ м. Показать изменение значения энергопотребления насосного агрегата $N_{дв}^\Phi$ для заданных условий задачи.

Решение

С учетом фактического внутреннего диаметра вычисляют значения средней скорости потока V_n для новых чугунных труб и труб с толщиной слоя отложений $\sigma = 25$ мм:

$$V_n = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{вн}^2} = \frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 0,379^2} = \frac{0,56}{0,4510} = 1,24 \text{ м/с};$$

$$d_{вн} = d_n - 2S_p = 0,404 - 0,025 = 0,379 \text{ м};$$

$$d_{вн}^\Phi = (d_n - 2S_p) - 2\sigma = (0,404 - 0,025) - 2 \cdot 0,025 = 0,379 - 0,05 = 0,329 \text{ м};$$

$$V_\Phi = \frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 0,329^2} = \frac{0,56}{0,3399} = 1,65 \text{ м/с}.$$

Производят расчет значений гидравлического уклона для новых чугунных труб d_n и для труб со слоем отложений $\sigma = 0,025$ м. Расчет производят по формуле [9, 10]:

$$i_{n(\Phi)} = 0,00107 \frac{V_{n(\Phi)}^2}{[(d_n - 2S_p) - 2\sigma]^{1,3}}, \text{ м/м};$$

$$i_n = \frac{0,00107 \cdot 1,24^2}{[0,404 - 2 \cdot 0,0125]^{1,3}} = \frac{0,00165}{0,379^{1,3}} = \frac{0,00165}{0,2833} = 0,00582 \text{ м/м};$$

$$i_\Phi = \frac{0,00107 \cdot 1,65^2}{[(0,404 - 2 \cdot 0,0125) - 2 \cdot 0,025]^{1,3}} = \frac{0,00291}{0,329^{1,3}} = \frac{0,00291}{0,2357} = 0,01234 \text{ м/м}.$$

Изменение фактических значений гидравлических характеристик чугунных труб $d_{вн} = 0,404$ м с разной толщиной слоя внутренних отложений σ в диапазоне значений $\sigma = 0 \div 30$ мм ($0 \div 0,03$ м) приведено в табл. 1.

Эффективность работы напорных и безнапорных трубопроводов водоснабжения и водотведения ($K_{эф}^*$), по мнению авторов, рекомендуется оценивать значением безразмерного коэффициента гидравлической эффективности трубопроводов, который представляет собой отношение значения энергопотребления насосного оборудования, установленного в новом трубопроводе $N_{дв}^p$, к значению энергопотребления в трубопроводе с фактической толщиной слоя отложений $\sigma_{ф}$ – $N_{дв}^ф$ или отношение произведения значений характеристик гидравлического потенциала новых труб ($V_{р'} d_{вн}^p i_p$) к произведению значений тех же характеристик для труб с конкретной толщиной слоя отложений на их внутренней поверхности [11]:

$$K_{эф} = \frac{N_{дв}^p}{N_{дв}^ф} = \frac{V_{р'} \cdot (d_{вн}^p)^2 \cdot i_p}{V_{ф} \cdot (d_{вн}^ф)^2 \cdot i_{ф}}, \quad (1)$$

где $N_{дв}^p$ – паспортное значение энергопотребления насосного агрегата в новом трубопроводе, кВт/ч;

$N_{дв}^ф$ – фактическое значение энергопотребления насосного агрегата, работающего в трубопроводе с толщиной слоя отложений $\sigma_{ф}$, кВт/ч;

$V_{р'} d_{вн}^p i_p$ – значения расчетных (паспортных) характеристик гидравлического потенциала новых труб на момент запуска трубопровода в эксплуатацию;

$V_{ф} d_{вн}^ф i_{ф}$ – значения фактических характеристик гидравлического потенциала изношенных труб с отложениями на момент оценки.

Предельное значение толщины слоя внутренних отложений σ в табл. 1 выделено жирным шрифтом.

Анализ значений гидравлических характеристик, представленных в табл. 1, показывает следующее.

Для условий приведенного примера значения фактического внутреннего диаметра трубы с внутренними отложениями разной толщины уменьшаются в диапазоне значений от $d_{вн}^ф = 0,400$ м (труба без отложений) до $d_{вн}^ф = 0,319$ м (труба со слоем отложений $\sigma = 0,03$ м, т. е. на 15,83 % или в 1,19 раза. Следствием этого является увеличение скоростного режима потока от $V = 1,24$ м/с (в новой чугунной трубе) до $V_{ф} = 2,47$ м/с (в трубе со слоем отложений $\sigma = 0,03$ м), т. е. на 49,8 % или в 1,99 раза.

При этих условиях в сравнении с новой трубой возрастают значения фактических потерь напора на сопротивление по длине (гидравлический уклон) $i_{ф}$ в диапазоне

$$i_p = 0,00581 \text{ м/м} \leq i_{ф} \leq 0,02883 \text{ м,}$$

т. е. на 51,29 % (труба со слоем отложений $\sigma = 0,03$ м) или в 4,96 раза.

По данным табл. 1 на рис. 3 построен график зависимости $i_{ф} = f(\sigma)$, подтверждающий, что чем меньше значения фактического внутреннего диаметра $d_{вн}^ф$ в трубах со слоем отложений σ , тем больше значения гидравлического уклона $i_{ф}$ и тем больше значения фактической скорости потока $V_{ф}$. Это также подтверждается значениями коэффициента гидравлической эффективности трубопровода $K_{эф}$, характеризующего для приведенного примера влияние толщины слоя внутренних отложений σ на значения гидравлических характеристик трубопровода.

Для приведенного примера определим предельное значение σ , больше которого дальнейшая эксплуатация трубопровода **недопустима**, которое составляет (см. табл. 1) – 0,018 м! То есть при $\sigma_{ф} = 0,018$ м трубопровод должен сниматься с эксплуатации.

Экспертная оценка специалистами, занимающимися эксплуатацией водопроводных сетей из металлических труб, рекомендует следующее.

Таблица 1

Толщина слоя отложений σ , м	Фактическая средняя скорость $V_{ф}$, м/с	Фактический внутренний диаметр труб с отложениями $d_{вн}^ф$, м	Фактические удельные потери напора 1000 $i_{ф}$	Коэффициент гидравлической эффективности трубопровода $K_{эф}^*$
0	1,24	0,379	5,81	1,0
0,005	1,31	0,369	6,71	0,87
0,01	1,38	0,359	7,72	0,76
0,018	1,52	0,343	9,94	0,58
0,02	0,55	0,339	10,49	0,56
0,03	2,47	0,319	28,83	0,14

Уменьшение значения величины фактического внутреннего диаметра стальных и чугунных труб (из серого чугуна) с внутренними отложениями – не должно превышать значения 5 % от величины номинального внутреннего диаметра труб, т. е.

$$d_{вн}^{\phi} \leq d_{вн} = (d_n - 2 \cdot S_p) - 2 \sigma \leq 5 \%$$

Для приведенного примера это соответствует значению:

$$d_{вн}^{\phi} = d_{вн}^н - 5\% = 0,379 - 0,01895 = 0,360 \text{ м.}$$

Итак, для приведенного примера предельное значение фактической толщины слоя отложений σ_{ϕ} не должно превышать значения

$$\sigma_{\phi} = 0,379 - 0,360 = 0,018 \text{ м (1,8 мм).}$$

В табл. 1 – выделено жирным шрифтом.

При этом предельное значение величины коэффициента гидравлической эффективности трубопровода $K_{\text{эф}}$ составит:

$$K_{\text{эф}} = \frac{0,00581 \cdot 0,379^2 \cdot 1,24}{0,00994 \cdot 0,343^2 \cdot 1,52} = \frac{0,001035}{0,001778} = 0,58.$$

Это доказывает, что при значении $K_{\text{эф}} = 0,58$ дальнейшая эксплуатация напорного коллектора диаметром $d_n = 0,404 \text{ м}$ – **недопустима**.

Для условий рассмотренной задачи рассчитаем фактическое энергопотребление насосно-

го оборудования, установленного на напорном коллекторе диаметром = 0,404 м при толщине слоя внутренних отложений = 0,03 м (30 мм).

Методика расчета значений энергопотребления насосно-силового оборудования изложена в работах [2, 11].

Расчет значения $N_{\text{дв}}^{\phi}$ для условий приведенного примера производится по формуле [11, 12]:

$$N_{\text{дв}}^{p(\phi)} = 10^6 \cdot i_{p(\phi)} \cdot (d_{\text{вн}}^{p(\phi)})^2 \cdot V_{p(\phi)} \cdot \frac{0,00808}{\eta}, \text{ кВт/ч, (2)}$$

где $N_{\text{дв}}^{p(\phi)}$ – значение энергопотребления насосного оборудования в новом (р) и изношенном (ф) трубопроводе на момент оценки, кВт/ч;

$i_{p(\phi)}$, $d_{\text{вн}}^{p(\phi)}$, $V_{p(\phi)}$ – значения характеристик гидравлического потенциала новых (р) и изношенных (ф) труб с толщиной слоя отложений σ ; η – КПД насосного агрегата. Для расчетов принимают значение $\eta = 0,7$.

В табл. 2 представлены значения энергопотребления насосных агрегатов, установленных в новом трубопроводе $N_{\text{дв}}^p$ и в трубопроводе с разной толщиной слоя внутренних отложений σ_{ϕ} .

По данным табл. 2 на рис. 4 построен график зависимости $N_{\text{дв}}^{\phi} = f(\sigma_{\phi})$.

График, представленный на рис. 4 для приведенного примера, подтверждает изменение энергопотребления насосных агрегатов и показывает, что чем больше значение толщины слоя отложений σ , тем больше энергопотребление насосных агрегатов (табл. 2). При значении $\sigma \geq 0,018 \text{ м}$, фактическое значение энергопотре-

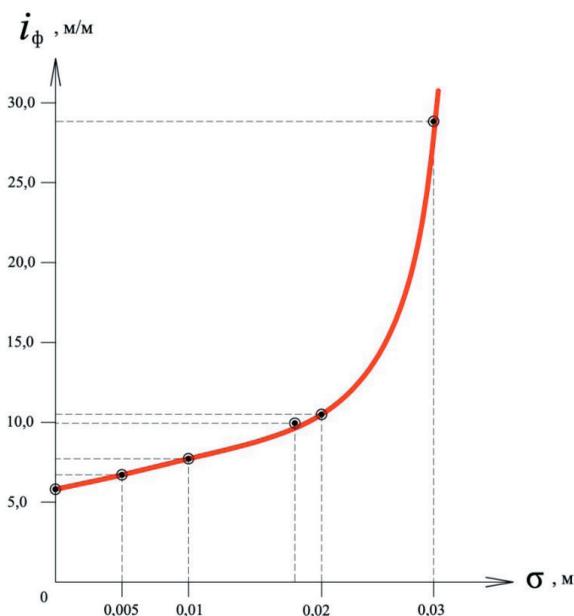


Рис. 3. График зависимости $i_{\phi} = f(\sigma)$

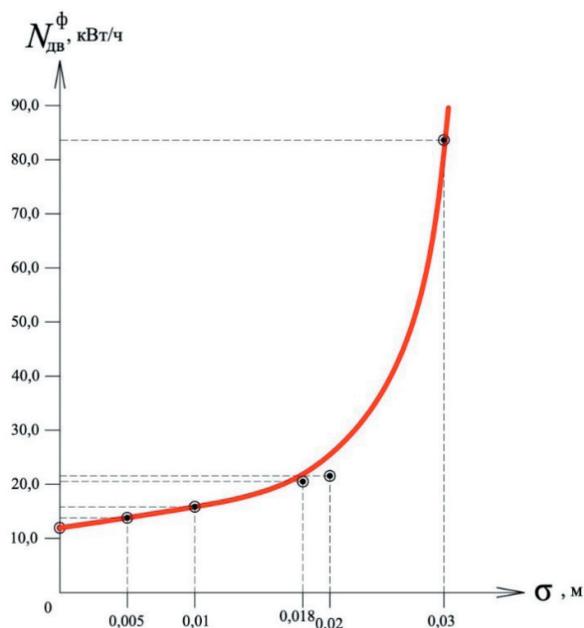


Рис. 4. График зависимости $N_{\text{дв}}^{\phi} = f(\sigma_{\phi})$

Таблица 2

Энергопотребление насосных агрегатов

Фактический внутренний диаметр труб $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, м	Фактическая толщина слоя внутренних отложений $\sigma_{\text{ф}}$, м	Фактическое энергопотребление насосных агрегатов $N_{\text{дв}}^{\text{ф}}$, кВт/ч
0,379	0	11,94
0,369	0,005	13,81
0,359	0,010	15,84
0,343	0,018	20,51
0,339	0,020	21,56
0,319	0,030	83,62

бления насосных агрегатов $N_{\text{дв}}^{\text{ф}}$, установленных в трубопроводе диаметром $d_{\text{н}}^{\text{ф}} = 0,404$ м – резко возрастает. Это означает, что в процессе эксплуатации напорных коллекторов из чугунных труб необходимо контролировать фактические значения толщины слоя внутренних отложений $\sigma_{\text{ф}}$.

Заключение

Анализ графиков, представленных на рис. 3 и 4, позволяет сделать следующие выводы:

1. Для всего сортамента стальных и чугунных труб (из серого чугуна), выпускаемых по ГОСТу, необходимо разработать шкалу предельных значений допустимой толщины слоя внутренних отложений σ , регламентирующую возможность продолжения дальнейшей эксплуатации трубопроводов.

2. Минимизировать законодательно использование стальных и чугунных труб из серого чугуна при разработке проектов сетей водоснабжения и водоотведения.

3. Разработать методику контроля значений фактической толщины слоя внутренних отложений $\sigma_{\text{ф}}$ в процессе эксплуатации трубопроводов из металлических труб.

4. По значению толщины слоя отложений σ разработать законодательно методику обоснования необходимости проведения гидродинамической (механической) очистки напорных сетей водоснабжения и водоотведения из металлических труб.

5. При подборе насосных агрегатов для металлических сетей водоснабжения и водоотведения учитывать динамику изменения энергопотребления насосных агрегатов, работающих в трубопроводах с разной толщиной слоя внутренних отложений $\sigma_{\text{ф}}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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». М.: Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. С. 113–117.

2. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Об изменении значений гидравлических характеристик напорных канализационных коллекторов из стальных и чугунных труб с внутренними отложениями // Известия вузов. Строительство. 2020. № 12 (744). С. 70–77.

3. Шлычков Д.И. Проблемы технического состояния действующих трубопроводных систем // Инновации и инвестиции. 2020. № 4. С. 207–210.

4. Продоус О. А., Якубчик П.П., Шпилов А.А. Прогнозирование падения рабочего давления в изношенном металлическом водоводе с отложениями при частичной замене труб на полиэтиленовые // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2021. № 2. С. 32–36.

5. Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Долженко Л.А. Устойчивость функционирования очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С. 54–58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10.

6. Шувалов М.В., Шувалов Р.М. Капитальный ремонт и реконструкция канализационных сетей в Самаре // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 2. С. 23–28. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.02.4.

7. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справочное пособие. М., 2020. 429 с.

8. Продоус О.А., Терехов Л.Д. Оценка влияния технологических допусков на трубы из полимерных материалов на энергопотребление насосных агрегатов // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. №2. С. 61–64.

9. Продоус О.А., Шпилов А.А., Якубчик П.П. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями: справочное пособие. 1-е изд. СПб. – М., 2021. 238 с., ил.

10. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов из стали и серого чу-

гуна / О.А. Продоус, М.Г. Новиков, Г.А. Самбурский, А.А. Шипилов, Л.Д. Терехов, П.П. Якубчик, В.А. Чесноков. СПб.– М., 2021. 36 с.

11. Резервы экономии электроэнергии при транспортировании воды по водоводам из железобетонных труб / В.С. Дикаревский, О.А. Продоус, П.П. Якубчик, Ю.А. Смирнов // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара «Рациональное использование воды и топливно-энергетических ресурсов в коммунальном водном хозяйстве» (Алма-Ата, 6-8 августа 1985 г.). М.: КСМ ВСНТО, 1985. С. 90–92.

12. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Методологические подходы к оценке эффективности эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 4. С. 34–41. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.5.

REFERENCES

1. Prodous O.A. Dependence of the duration of use of metal pipelines of water supply systems on the thickness of the layer of deposits on the inner surface of pipes. *Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Jakovlevskij chtenija»* [Collection of reports of the XV International Scientific and Technical Conference “Yakovlevsky Readings”]. Moscow, MISI Publishing House – MGSU, 2020, pp. 113–117. (In Russian).

2. Prodous O.A., Shlychkov D.I. On Changes in Hydraulic Characteristics of Pressure Sewer Headers Made of Steel and Cast Iron Pipes with Internal Deposits. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo* [News of universities. Construction], 2020, no. 12(744), pp. 70–77. (in Russian)

3. Shlychkov D.I. Problems with the technical condition of existing pipeline systems. *Innovacii i investicii* [Innovation and Investment], 2020, no. 4, pp. 207–210. (in Russian)

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

5. Wilson E.V., Serpokyrylov N.S., Dolzhenko L.A. Sustainability of wastewater treatment facilities in critical situations. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2018, vol. 8, no. 1, pp. 54–58. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10

6. Shuvalov M.V., Shuvalov R.M. Overhaul and reconstruction of sewage networks in Samara. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2022, vol. 12, no. 2, pp. 23–28. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.02.4

7. Shevelev F.A., Shevelev A.F. *Tablicy dlja gidravlicheskogo rascheta vodoprovodnyh trub: spravochnoe posobie* [Tables for hydraulic calculation of water pipes: reference manual]. Moscow, 2020. 429 p.

8. Prodous O.A., Terehov L.D. Evaluation of the impact of process tolerances on polymer pipes on the power consumption of pump units. *Vodospabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary equipment], 2020, no. 2, pp. 61–64. (in Russian)

9. Prodous O.A., Shipilov A.A., Jakubchik P.P. *Tablicy dlja gidravlicheskogo rascheta vodoprovodnyh trub iz stali i serogo chuguna s vnutrennimi otlozhenijami: spravochnoe posobie. 1-e izd* [Tables for hydraulic calculation of water pipes made of steel and gray cast iron with internal deposits: spravochnoe manual. 1st ed.]. St. Petersburg. Moscow, 2021. 238 p.

10. Prodous O.A., Novikov M.G., Samburskij G.A., Shipilov A.A., Terehov L.D., Jakubchik P.P., Chesnokov V.A. *Rekomendacii po rekonstrukcii nenovyh metallicheskih truboprovodov iz stali i serogo chuguna* [Recommendations for the reconstruction of new metal pipelines made of steel and gray cast iron]. St. Petersburg. Moscow, 2021. 36 p.

11. Dikarevskij V.S., Prodous O.A., Jakubchik P.P., Smirnov Ju.A. Reserves of power saving when transporting water through water ducts made of reinforced concrete pipes. *Tezisy dokladov Vsesojuznogo nauchno-tehnicheskogo seminarina «Racional'noe ispol'zovanie vody i toplivno-jenergeticheskikh resursov v kommunal'nom vodnom hozjajstve»* [Abstracts of the reports of the All-Union Scientific and Technical Seminar “Rational Use of Water and Fuel and Energy Resources in the Municipal Water Industry”]. Moscow, CSM VSNT0, 1985, pp. 90–92. (In Russian).

12. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Methodological Approaches to Assessing the Efficiency of Gravity Drainage Networks with Sediments in the Pipe Tray. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 34–41. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.5

Об авторах:

ПРОДОУС Олег Александрович

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

PRODOUS Oleg A.

Doctor of Engineering Science, Professor, CEO
INKO-Engineering LLC
190005, Russia, St. Petersburg, Moskovsky pr., 37/1, lit. Ah,
pom. 1-N
E-mail: pro@enco.su

ШЛЫЧКОВ Дмитрий Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры
водоснабжения и водоотведения,
заместитель директора института инженерно-
экологического строительства и механизации
Московский государственный строительный
университет
129337, г. Москва, Ярославское ш., д.26, УЛБ, каб. 322г,
E-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru

SHLYCHKOV Dmitry I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the
Water Supply and Wastewater Chair
Deputy Director of the Institute of Engineering and
Environmental Construction
and mechanization
Moscow State University of Civil Engineering
129337, Moscow, Yaroslavl sh., 26, ULB, office 322g,
E-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru

ЯКУБЧИК Петр Петрович

кандидат технических наук, профессор кафедры
водоснабжения и водоотведения и гидравлики
Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I
105187, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9
E-mail: P.Jakub@mail.ru

YAKUBCHIK Petr P.

PhD in Engineering Science, Professor of the Water
Supply and Drainage and Hydraulics Chair
St. Petersburg State University of Railways of Emperor
Alec-Sandr I
105187, Russia, St. Petersburg, Moskovsky pr., 9
E-mail: P.Jakub@mail.ru

Для цитирования: Продоус О.А., Шлычков Д.И., Якубчик П.П. Причины и последствия изменения значений гидравлических характеристик металлических сетей водоснабжения и водоотведения в процессе их эксплуатации // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 3. С. 42–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.06.

For citation: Prodous O.A., Shlychkov D.I., Jakubchik P.P. Causes and consequences of changes in the values of hydraulic characteristics of metal water supply and sanitation networks during their operation. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 42–49. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.06.