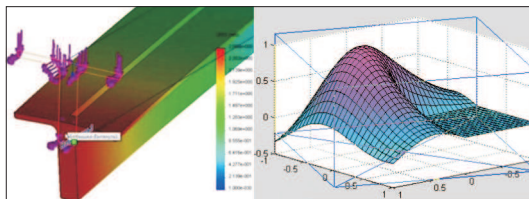


## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ



УДК 628.22:532.5.013

О.А. ПРОДОУС, Д.И. ШЛЫЧКОВ

### ОБ ИЗМЕНЕНИИ ЗНАЧЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПОРНЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ИЗ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ТРУБ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

Показано влияние фактической толщины слоя внутренних отложений в напорных канализационных коллекторах из стальных и чугунных труб на значения характеристик гидравлического потенциала труб  $d_{\text{вн}}$ ,  $V$  и  $i$ . Для конкретного примера приведен анализ значений этих характеристик и построены графики зависимости  $i_{\phi} = f(\Delta_{\phi})$  и  $i_{\phi} = f(d_{\text{вн}}^{\phi})$  для чугунных труб с  $d_{\text{н}} = 429$  мм. Предложено на основе гидравлических исследований разработать эффективные скоростные режимы напорных потоков для удлинения сроков образования внутренних отложений.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** напорный коллектор, металлические трубы, слой отложений, гидравлический расчет, анализ характеристик.

DOI 10.32683/0536-1052-2020-744-12-70-77

**Введение.** Природа образования слоя отложений на внутренней поверхности канализационных напорных труб аналогична природе образования отложений в водопроводах из стали и серого чугуна, однако имеются некоторые особенности, которые зависят [1]:

- от скоростного режима движения сточных вод в коллекторе;
- физико-химического состава сточных вод.

Физико-химический состав бытовых сточных вод влияет на морфологию и структуру толщины слоя отложений, которая практически исследованиям не подвергалась.

Старые напорные коллекторы канализации, как правило, укладывались из стальных и чугунных труб (серого чугуна), поэтому подвержены образованию отложений на внутренних стенках труб, как показано на рис. 1 [2].

Собранные в приемном отделении канализационной насосной станции (КНС-1) сточные воды транспортируются далее с помощью насосов на более высокую отметку трассы для дальнейшего самотечного движения по трубопроводу до следующей КНС-2, а затем на очистные сооружения, как принципиально показано на рис. 2.

© Продоус О.А., Шлычков Д.И., 2020

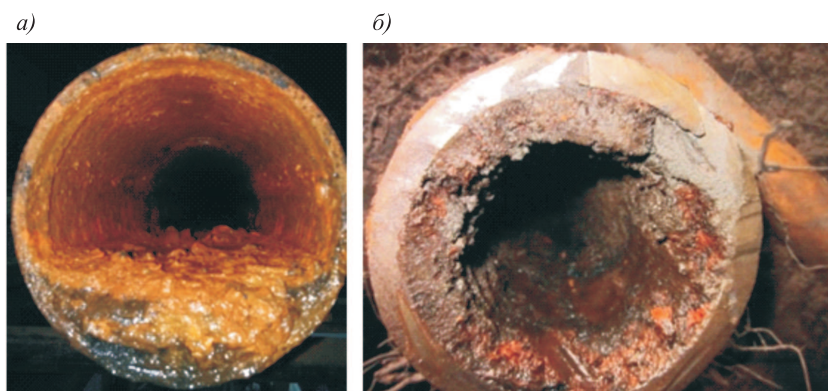


Рис. 1. Отложения на внутренней поверхности канализационных коллекторов

а – стальной коллектор после десяти лет эксплуатации; б – чугунный коллектор после семи лет эксплуатации

Однако скоростной режим движения стоков влияет также на скорость образования слоя отложений на внутренних стенках труб и на величину их фактического внутреннего диаметра, и, в конечном счете, на продолжительность срока остаточного использования напорного коллектора [3]. При этом, естественно, разная толщина слоя отложений  $\Delta_{\phi}$  на внутренней поверхности коллектора должна проявляться на его пропускной способности  $q_{\phi}$  и влиять на продолжительность использования коллектора [3].

Из уравнения неразрывности потока

$$q_{\phi} = \omega V_{\phi} = \frac{\pi (d_{\text{вн}}^{\phi})^2 V_{\phi}}{4} \text{ (м}^3/\text{с)}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения труб,  $\text{м}^2$ ;

$V_{\phi}$  – фактическая средняя скорость потока,  $\text{м/с}$ ;

$d_{\text{вн}}^{\phi}$  – фактический внутренний диаметр труб,  $\text{м}$ ,

следует, что величина фактического расхода  $q_{\phi}$  в напорном коллекторе зависит от величины фактической средней скорости потока  $V_{\phi}$  и от величины

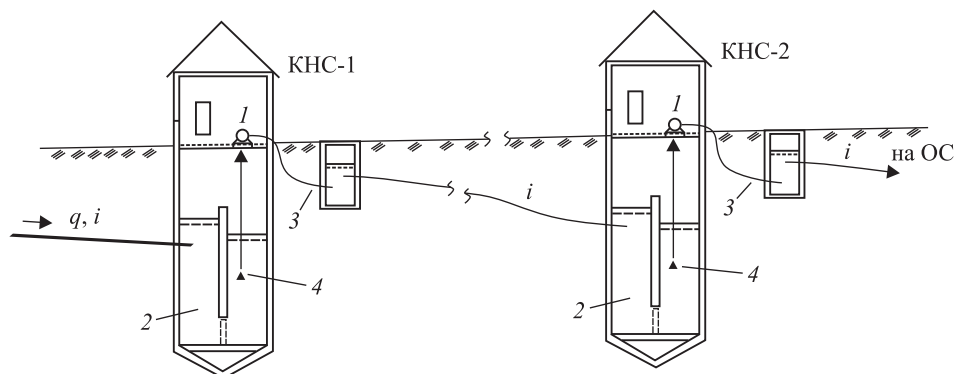


Рис. 2. Принципиальная схема напорного перекачивания бытовых сточных вод  
1 – насосные агрегаты; 2 – приемное отделение КНС; 3 – напорный коллектор; 4 – всасывающая линия насоса

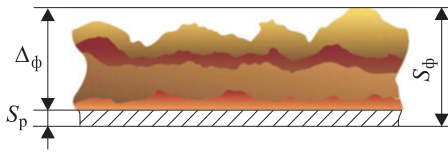


Рис. 3. Толщина слоя отложений

фактического внутреннего диаметра труб с отложениями  $d_{\text{вн}}^{\phi}$ , т.е., чем больше значение  $V_{\phi}$ , тем меньше значение величины  $d_{\text{вн}}^{\phi}$  [4, 5].

Расчет значения фактического слоя отложений  $\Delta_{\phi}$  и внутреннего диаметра труб коллектора  $d_{\text{вн}}^{\phi}$  с разной толщиной отложений  $\Delta_{\phi}$  производится по формулам (рис. 3):

$$\Delta_{\phi} = (d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - 2\Delta_{\phi}, \quad (2)$$

$$d_{\text{вн}}^{\phi} = (d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - 2\Delta_{\phi}, \quad (3)$$

где  $d_{\text{н}}$  – наружный диаметр труб по стандарту, м;

$S_{\text{р}}$  – толщина стенки трубы по ГОСТ, м;

$\Delta_{\phi}$  – значение фактической (измеренной) толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб [1], м.

Покажем изменение значений  $d_{\text{вн}}^{\phi}$ ,  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$  на конкретном примере.

**Условие задачи.** По напорному коллектору из чугунных раструбных труб по ГОСТ 9583–75,  $d_{\text{н}} = 0,429$  м (429,0 мм), с толщиной стенки трубы  $S_{\text{р}} = 12,5$  мм (0,0125 м) перекачивается расход  $q = 140$  л/с (0,140 м<sup>3</sup>/с). Толщина на фактического слоя внутренних отложений на стенках труб  $\Delta_{\phi} = 60$  мм (0,06 м) за семь лет эксплуатации.

Рассчитать и сравнить значения характеристик гидравлического потенциала  $d_{\text{вн}}^{\phi}$ ,  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$  новых и бывших в эксплуатации семь лет чугунных труб с  $d_{\text{н}} = 429,0$  мм.

**Решение.** 1. Вычисляют значение  $V_{\text{р}}$  для новых и бывших в эксплуатации чугунных труб  $V_{\phi}$  по формуле  $V_{\text{р}(\phi)} = \frac{4q}{\pi(d_{\text{вн}}^{\text{р}(\phi)})^2}$ , м/с.

$$V_{\text{р}} = \frac{4 \cdot 0,14}{3,142 \cdot 0,404^2} = \frac{0,56}{0,5128} = 1,09 \text{ м/с};$$

$$V_{\phi} = \frac{0,56}{3,142 \cdot 0,284^2} = \frac{0,56}{0,2534} = 2,21 \text{ м/с},$$

где  $d_{\text{вн}}^{\phi} = (d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - 2\Delta_{\phi} = (0,429 - 2 \cdot 0,0125) - 2 \cdot 0,06 = 0,404 - 0,12 = 0,284$  м (формула (3)).

2. Определяют расчетные  $i_{\text{р}}$  и фактические  $i_{\phi}$  значения величины потерь напора (гидравлического уклона) в новых и бывших в эксплуатации трубах. Расчет проводят по формуле [1]

$$i_{\text{р}(\phi)} = 0,00107 \frac{V_{\text{р}(\phi)}^2}{[(d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - 2\Delta_{\phi}]^{1,3}} \text{ (м/м)}, \quad (4)$$

при  $V_{\text{р}(\phi)} \geq 1,2$  м/с и

$$i_{p(\Phi)} = 0,000912 \frac{V_{p(\Phi)}^2}{(d_{\text{вн}}^{p(\Phi)})^{1,3}} \left( 1 + \frac{0,867}{V_{p(\Phi)}} \right)^{0,3} \quad (\text{м/м}), \quad (5)$$

при  $V_{p(\Phi)} < 1,2$  м/с.

При  $V_p = 1,09$  м/с по формуле (4) значение  $i_p$  составит

$$i_p = 0,000912 \frac{1,09^2}{0,404^{1,3}} \left( 1 + \frac{0,867}{1,09} \right)^{0,3} = \frac{0,001084}{0,3078} =$$

$$= \frac{0,001084}{0,3078} (1 + 0,795)^{0,3} = 0,00352 \cdot 1,918 = 0,00420 \text{ м/м.}$$

При  $V_\Phi = 2,21$  м/с по формуле (4)

$$i_\Phi = \frac{0,00107 \cdot 2,21^2}{[(0,429 - 2 \cdot 0,0125) - 2 \cdot 0,06]^{1,3}} = \frac{0,005226}{[0,404 - 20,06]^{1,3}} =$$

$$= \frac{0,005226}{0,284^{1,3}} = \frac{0,005226}{0,1947} = 0,02684 \text{ м/м.}$$

Для сравнения величин фактических значений характеристик гидравлического потенциала труб с разной толщиной слоя отложений  $\Delta_\Phi = 10\text{--}60$  мм в табл. 1 представлены значения этих характеристик при скоростных режимах в диапазоне значений  $V_\Phi = 1,0\text{--}3,0$  м/с [6].

Анализ значений характеристик новых труб и после семи лет эксплуатации [7] показывает, что:

значение расчетного внутреннего диаметра новых труб  $d_{\text{вн}}^p$  больше фактического значения  $d_{\text{вн}}^\Phi$  после семи лет эксплуатации за счет образования толщины слоя отложений на стенках труб  $\Delta_\Phi = 60$  мм (0,06 м):  $d_{\text{вн}}^p = 0,404$  м >  $d_{\text{вн}}^\Phi = 0,284$  м в 1,42 раза;

значение расчетной скорости потока в новых трубах  $V_p$  меньше значения фактической  $V_\Phi$ , также из-за наличия толщины слоя внутренних отложений  $\Delta_\Phi$ , уменьшающей величину фактического внутреннего диаметра труб  $d_{\text{вн}}^\Phi$  и, следовательно, значение  $V_\Phi$ :  $V_p = 1,09$  м/с <  $V_\Phi = 2,21$  м/с в 2,03 раза;

значение фактических потерь напора (гидравлического уклона) в трубах  $i_\Phi$  за счет слоя внутренних отложений после семи лет эксплуатации больше значения расчетного  $i_p$  для новых труб:  $i_\Phi = 0,02684$  м/м >  $i_p = 0,00420$  м/м в 6,39 раза.

Таблица 1. Характеристики гидравлического потенциала новых и ненновых чугуных труб диаметром  $d_n = 429$  мм

Чугунные трубы	$d_{\text{вн}}^{p(\Phi)}$ , мм	$V_{p(\Phi)}$ , м/с	$i_{p(\Phi)}$ , м/м
Новые по ГОСТ 9583–75	0,404	1,09	0,00420
После семи лет эксплуатации	0,284	2,21	0,02684

Таблица 2. Фактические значения характеристик гидравлического потенциала труб коллектора с внутренними отложениями

Толщина слоя отложений $\Delta_\phi$ , мм	Скоростной режим $V_\phi$ в коллекторе, м/с	$d_{вн}^\phi$ , м	$i_\phi$ , м
10	1,0	1,384	0,003701
20	1,4	0,364	0,00780
30	1,8	0,344	0,01388
40	2,2	0,324	0,02241
50	2,6	0,304	0,03401
60	3,0	0,284	0,04946

Примечание.  $d_{вн}^\phi$  – рассчитываются по формуле (3);  $i_\phi$  – по формуле (4).

Для построения графиков зависимости  $i_\phi = f(\Delta_\phi)$  и  $i_\phi = f(d_{вн}^\phi)$  в табл. 2 приведены значения фактических потерь напора  $i_\phi$  в трубопроводе с  $d_n = 429$  мм с разной толщиной фактического слоя внутренних отложений в диапазоне значений  $\Delta_\phi = 10-60$  мм при скоростном режиме потока в диапазоне  $V_\phi = 1-3,0$  м/с [8].

На рис. 4 и 5 представлены графики зависимости  $i_\phi = f(\Delta_\phi)$  и  $i_\phi = f(d_{вн}^\phi)$ .

Сравнение значений характеристик гидравлического потенциала труб (см. табл. 2) [9] и графиков зависимости  $i_\phi = f(\Delta_\phi)$  и  $i_\phi = f(d_{вн}^\phi)$  на рис. 4 и 5 показывает, что для приведенных условий задачи:

чем больше значение  $\Delta_\phi$ , тем меньше  $d_{вн}^\phi$  и тем больше значение фактических потерь напора  $i_\phi$  в канализационном коллекторе диаметром  $d_n = 0,429$  м;

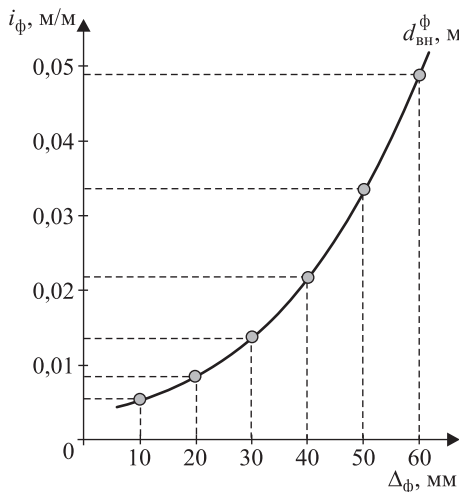


Рис. 4. График зависимости  $i_\phi = f(\Delta_\phi)$  для чугунных труб с  $d_n = 0,429$  м разной толщиной слоя отложений  $\Delta_\phi$  при скоростном режиме потока  $V_\phi = 1,0-3,0$  м/с

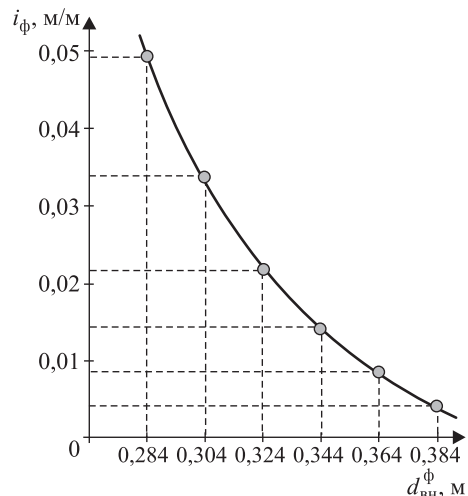


Рис. 5. График зависимости  $i_\phi = f(d_{вн}^\phi)$  при разной толщине слоя внутренних отложений на стенках труб

значение фактического внутреннего диаметра труб с отложениями  $d_{\text{вн}}^{\text{ф}} = 0,284$  м (при  $\Delta_{\text{ф}} = 60$  мм) отличается от расчетного внутреннего диаметра новых труб  $d_{\text{вн}}^{\text{р}} = 0,404$  м в 1,42 раза;

значение фактических потерь напора  $i_{\text{ф}}$  в коллекторе с разной толщиной слоя внутренних отложений  $\Delta_{\text{ф}}$  при скоростном режиме потока в диапазоне значений  $V_{\text{ф}} = 1,0\text{--}3,0$  м/с изменяется с  $i_{\text{ф}} = 0,00371$  м/м (при  $V_{\text{ф}} = 1,0$  м/с) до  $i_{\text{ф}} = 0,04946$  м/м (при  $V_{\text{ф}} = 3,0$  м/с) в 13,33 раза. Это приводит к увеличению энергозатрат насосов, перекачивающих сточные воды [10].

**Выводы.** 1. Приведенные данные подтверждают необходимость проведения специальных гидравлических исследований канализационных коллекторов из стали и серого чугуна для разработки эффективных скоростных режимов транспортирования потока бытовых сточных вод для удлинения периода образования фактического слоя отложений на внутренней поверхности труб.

2. Необходима разработка методики прогнозирования и обоснованных графиков гидродинамической очистки напорных канализационных коллекторов от слоя внутренних отложений, с учетом физико-химического состава сточных вод.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бляшко Я.И. Использование канализационных стоков водоканалов напорно-самотечных водоводов и сбросов ТЭЦ для выработки электрической энергии // Главный энергетик. 2020. № 6. С. 35–44.
2. Шлычков Д.И. Проблемы технического состояния действующих трубопроводных систем // Инновации и инвестиции. 2020. № 4. С. 207–210.
3. Воищева И.И., Новиков М.Г., Продоус О.А. Продление периода эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения из стальных и чугунных труб // Инженерные системы «АВОК-Северо-Запад». 2019. № 1. С. 44–47.
4. Продоус О.А., Новиков М.Г., Самбурский Г.А., Шпилов А.А., Тереховт Л.Д., Якубчик П.П., Чесноков В.А. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна. СПб.; М., 2021. 40 с.
5. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. пособие. М., 2014. 382 с.
6. Орлов В.А. Энергосбережение как результат реконструкции водопроводных сетей бестраншейными методами // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: Сб. докл. Первой национальной конференции. М., 2020. С. 866–870.
7. Воищева И.И., Нижник Т.Ю., Стрикаленко Т.В., Баранова А.И. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида // Вода: химия и экология. 2018. № 10-12. С. 99–108.
8. Продоус О.А. Методика оценки продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. № 1. С. 4–10.
9. Shlychkov D. Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency // Orcion. 2019. Vol. 35. No. 24. P. 1626–1636.

10. Продоус О.А. Зависимость продолжительности исследования металлических трубопроводов водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб // Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения». 19 марта 2020. М., 2020. С. 113–117.

**Продоус Олег Александрович**, д-р техн. наук, проф., ген. директор  
ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург

**Шлычков Дмитрий Иванович**, канд. техн. наук, ст. препод.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено 02.11.2020

**Prodous Oleg Aleksandrovich**, DSc, Professor, General Director

INCO-Expert LLC, St. Petersburg, Russia

**Shlychkov Dmitriy Ivanovich**, PhD, Senior Lecturer

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

### **ON THE CHANGE IN THE VALUES OF THE HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF PRESSURE SEWER HEADERS MADE OF STEEL AND CAST IRON PIPES WITH INTERNAL DEPOSITS**

The effect of the actual thickness of the layer of internal deposits in pressure sewer headers made of steel and cast iron pipes on the values of the characteristics of the hydraulic potential of pipes  $d_{\text{вн}}$ ,  $V$  and  $i$  is shown. For a specific example, an analysis of the values of these characteristics is given and graphs of the dependence  $i_{\phi} = f(\Delta_{\phi})$  and  $i_{\phi} = f(d_{\text{вн}}^{\phi})$  for cast iron pipes with  $d_n = 429$  mm are plotted. It is proposed, on the basis of hydraulic studies, to develop effective high-speed regimes of pressure flows to lengthen the time of formation of internal deposits.

**Key words:** pressure header, metal pipes, sediment layer, hydraulic calculation, performance analysis.

#### REFERENCES

1. *Blyashko Ya.I.* Ispol'zovaniye kanalizatsionnykh stokov vodokanalov naporno-samotekhnicheskikh vodovodov i sbrosov TETs dlya vyrabotki elektricheskoy energii [Use of sewerage wastewater from pressure-gravity water conduits and discharges from thermal power plants for generating electrical energy]. *Glavnyy energetik* [Chief Power Engineer]. 2020. No. 6. Pp. 35–44. (in Russian)
2. *Shlychkov D.I.* Problemy tekhnicheskogo sostoyaniya deystvuyushchikh truboprovodnykh sistem [Problems of the technical condition of operating pipeline systems]. *Innovatsii i investitsii* [Innovations and investments]. 2020. No. 4. Pp. 207–210. (in Russian)
3. *Vointseva I.I., Novikov M.G., Prodous O.A.* Prodleniye perioda ekspluatatsii truboprovodov sistem vodosnabzheniya iz stal'nykh i chugunnykh trub [Extension of the period of operation of pipelines of water supply systems made of steel and cast iron pipes]. *Inzhenernyye sistemy "AVOK-Severo-Zapad"* [Engineering systems "AVOK-North-West"]. 2019. No. 1. Pp. 44–47. (in Russian)
4. *Prodous O.A., Novikov M.G., Samburskiy G.A., Shipilov A.A., Terekhovt L.D., Yakubchik P.P., Chesnokov V.A.* Rekomendatsii po rekonstruktsiyi novykh metallicheskikh truboprovodov vodosnabzheniya iz stali i serogo chuguna [Recommendations for the reconstruction of new metal water supply pipelines made of steel and gray cast iron]. St. Petersburg, Moscow, 2021. 40 p. (in Russian)



5. *Shevelev F.A., Shevelev A.F.* Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta vodoprovodnykh trub: Spravochnoye posobiye [Tables for hydraulic calculation of water pipes: Reference manual]. Moscow, 2014. 382 p. (in Russian)
  6. *Orlov V.A.* Energoberezheniye kak rezul'tat rekonstruktsii vodoprovodnykh setey bestransheynymi metodami [Energy saving as a result of reconstruction of water supply networks by trenchless methods]. Aktual'nye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya: Sbornik dokladov Pervoy natsional'noy konferentsiyi [Actual problems of the construction industry and education. Collection of reports of the First National Conference]. Moscow, 2020. Pp. 866–870. (in Russian)
  7. *Vointseva I.I., Nizhnik T.Yu., Strikalenko T.V., Baranova A.I.* Antikorrozionnye svoystva obezzarazhivayushchikh reagentov na osnove poligeksametilenguanidina gidrokhlorida [Anticorrosive properties of disinfecting reagents based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride]. Voda: khimiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]. 2018. No. 10-12. Pp. 99–108. (in Russian)
  8. *Prodous O.A.* Metodika otsenki prodolzhitel'nosti ispol'zovaniya metallicheskih truboprovodov sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Methodology for assessing the duration of the use of metal pipelines for water supply and water disposal systems]. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye [Water treatment. Water supply]. 2021. No. 1. Pp. 4–10. (in Russian)
  9. *Shlychkov D.* Energy-saving as an integral part of technical and economic efficiency. Opcion. 2019. Vol. 35, No. 24. Pp. 1626–1636.
  10. *Prodous O.A.* Zavisimost' prodolzhitel'nosti issledovaniya metallicheskih truboprovodov vodosnabzheniya ot tolshchiny sloya otlozheniy na vnutrenney poverkhnosti trub [Dependence of the duration of the study of metal water supply pipelines on the thickness of the sediment layer on the inner surface of the pipes]. Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsiyi "Yakovlevskiy chteniye". 19 marta 2020 [Collection of reports of the XV International Scientific and Technical Conference "Yakovlev's Readings". March 19, 2020]. Moscow, 2020. Pp. 113–117. (in Russian)
-