

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.2/336.3

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-129-138

О.А. ПРОДОУС<sup>1</sup>, Д.И. ШЛЫЧКОВ<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>ООО «ИНКО-эксперт»,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ОТЛОЖЕНИЙ В ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ И СЕТЯХ ВОДООТВЕДЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

**Аннотация.** На практике установлено, что при определенных условиях, в зависимости от характеристик питьевой воды, на внутренней поверхности стальных водопроводных труб и труб из серого чугуна образуется слой отложений, изменяющий в процессе эксплуатации сетей водоснабжения значения гидравлических характеристик труб и энергопотребление насосных агрегатов, перекачивающих питьевую воду потребителям.

Целью исследования является расчет значений характеристик гидравлического потенциала труб для подтверждения расчетных зависимостей для гидравлического расчета водопроводных труб с внутренними отложениями. Аналогично для самотечных сетей из любого вида материалов в лотковой части труб при определенной скорости потока образуется слой осадка, изменяющий также значения характеристик гидравлического потенциала труб, влияющий на величину значений фактического гидравлического уклона, характеризующего период продолжительности эксплуатации сети водоотведения до необходимости проведения его гидродинамической очистки.

Используются расчетные зависимости, уточненные авторами для гидравлического расчета металлических водопроводных труб и самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями.

Доказано влияние толщины слоя внутренних отложений в водопроводных металлических сетях на величину значений характеристик их гидравлического потенциала, а также влияние толщины слоя осадка в лотковой части самотечных сетей водоотведения на величину значений гидравлических характеристик труб. Приведен конкретный пример, подтверждающий наличие зависимости гидравлического уклона сети водоотведения от толщины слоя отложений в лотковой части труб. Пример подтвержден графиками.

Предложено в процессе жизненного цикла «Эксплуатация» для водопроводных и самотечных сетей водоотведения производить инструментальный контроль толщины слоя внутренних отложений, для чего использовать запатентованное авторами устройство.

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

**Для цитирования:** Продоус О.А., Шлычков Д.И. Влияние толщины слоя отложений в водопроводных сетях и сетях водоотведения на характеристики их гидравлического потенциала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 6. С. 129–138.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-129-138

O.A. PRODOUS<sup>1</sup>, D.I. SHLYCHKOV<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>ООО "INCO-expert",

<sup>2</sup>The National Research Moscow State University of Civil Engineering

## SEDIMENT THICKNESS IN WATER PIPES AND HYDRAULIC POTENTIAL

**Abstract. Purpose:** Calculation of the pipe hydraulic potential affected by sediments in water pipes. For gravity sewerage pipes of any material, a sludge layer is formed in the chute of pipes at a certain flow rate, which also changes the hydraulic potential of pipes affecting the actual hydraulic gradient, characterizing the period of operation of the drainage network before it needs to be hydrodynamically cleaned. **Methodology/approach:** Dependences are suggested for the hydraulic calculation of metal water pipes and gravity drainage networks with internal deposits. **Research findings:** The influence of the layer thickness of internal sediments in water metal pipes on their hydraulic potential is shown as well as the influence of this thickness in the tray part of gravity drainage networks on the hydraulic characteristics of pipes. The dependence shows the hydraulic curve slope of the drainage network relative to the sediment layer thickness in the tray part of pipes. **Practical implications:** Instrumental control is proposed for the sediment layer thickness during the operation of water pipes and gravity drainage networks using the proposed device patented by the authors.

**Keywords:** water supply, internal deposits, gravity network, hydraulic potential, pipes, sediment layer, internal deposits, dependencies

**For citation:** Prodous O.A., Shlychov D.I. Vliyanie tolshchiny sloya otlozhenii v vodoprovodnykh setyakh i setyakh vodootvedeniya na kharakteristiki ikh gidravlicheskogo potentsiala [Sediment thickness in water pipes and hydraulic potential]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 6. Pp. 129–138.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-129-138

### Введение

Установлено, что в процессе жизненного цикла «Эксплуатация» на внутренней поверхности металлических труб из стали и серого чугуна, а также в лотковой части самотечных сетей водоотведения из разных видов материалов образуется слой отложений, как показано на рис. 1 [1, 2].

Наличие слоя отложений на стенках труб, естественно, вызывает изменение значений характеристик их гидравлического потенциала, характеризуемого значениями параметров:  $d_{\text{вн}}$ ,  $V$ ,  $i$ . Известно, что чем больше значение фактической скорости потока  $V_{\text{ф}}$ , тем меньше значение  $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$  и тем больше значение фактического гидравлического уклона  $i_{\text{ф}}$  [3, 4]. Также установлено, что для водопроводных труб величина фактических потерь напора на сопротивление по длине является функцией, мм/м (м/м)

$$i_{\text{ф}} = f(\sigma, d_{\text{ф}}, V_{\text{ф}}). \quad (1)$$

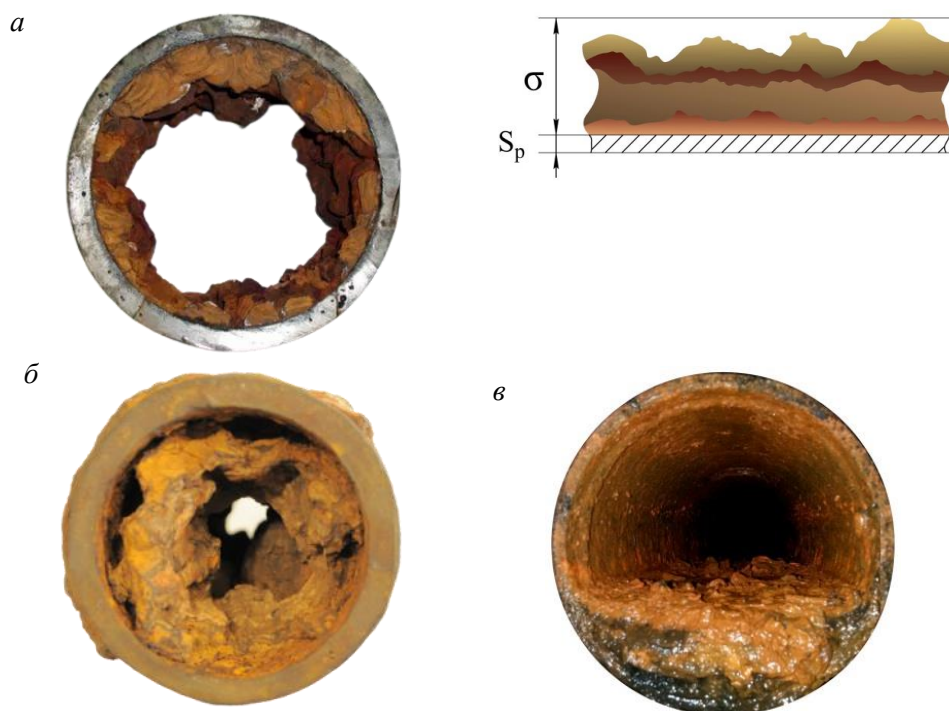


Рис. 1. Фрагмент слоя отложений на стенках:

*a* – стальных; *б* – чугунных из серого чугуна; *в* – в самотечных сетях водоотведения из разных видов материалов

Принято расчет значений  $i_\phi$ , м/м, для металлических водопроводных труб производить по уточненной авторами формуле профессора Ф.А. Шевелева, имеющий вид

$$i_\phi = 0,00107 \frac{V_\phi^2}{d_\phi^{1,3}} = 0,00107 \frac{V_\phi^2}{\left[ (d_n - 2S_p) - 2\sigma_\phi \right]^{1,3}}, \quad (2)$$

где  $V_\phi$  – фактическая скорость движения воды, м/с:

$$V_\phi = \frac{4 \cdot q}{\pi (d_{\text{вн}}^\phi)^2}; \quad (3)$$

$q$  – заданный расход, м<sup>3</sup>/с;  $d_{\text{вн}}^\phi$  – измеренный (фактический) внутренний диаметр труб с отложениями, м;  $S_p$  – толщина стенки трубы по государственному стандарту, м;  $\sigma_\phi$  – фактическая толщина слоя отложений на стенках труб, м, измеряемая ультразвуковым толщиномером [1].

Толщина слоя внутренних отложений  $\sigma$  в металлических сетях водоснабжения определяется с помощью ультразвуковых переносных расходомеров с накладными датчиками в комплекте с толщиномером [Там же]. Фактическая толщина слоя отложений  $\sigma_\phi$ , м, определяется как разность значений:

$$\sigma_{\phi} = d_{\text{вн}} - d_{\text{вн}}^{\phi},$$

где  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр трубы по государственному стандарту, м:

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{н}} - 2S_p,$$

где  $d_{\text{н}}$  – наружный диаметр трубы по государственному стандарту, м;  $S_p$  – толщина стенки трубы по государственному стандарту, м.

На рис. 2 представлен фрагмент отложений в лотковой части труб сети водоотведения.

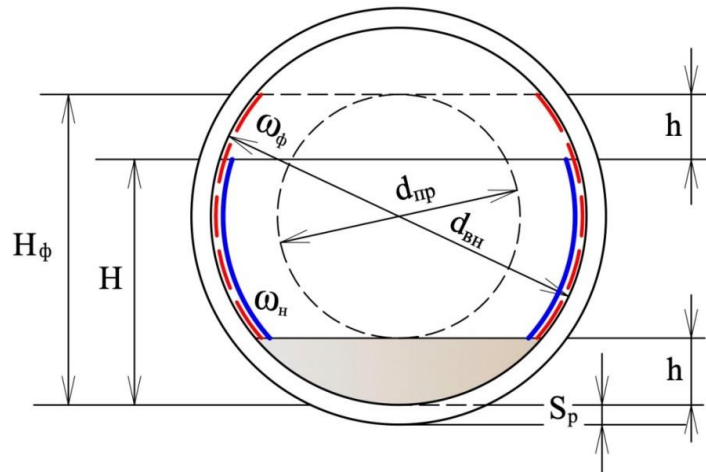


Рис. 2. Колебание значений фактического уровня наполнения в трубе с отложениями в ее лотковой части

Расчет значений  $i_{\phi}$ , м/м, для самотечных сетей водоотведения (рис. 2) с отложениями в лотковой части труб производится по уточненной авторами формуле А. Шези, имеющей вид [6]:

$$i_{\phi} = \frac{4 \cdot V_{\phi}^2}{C^2 \cdot d_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где  $V_{\phi}$  – фактическая скорость потока, м/с, определяется по формуле (3);  $C$  – коэффициент А. Шези, определяется по формуле, уточненной акад. В.Н. Павловским, имеющей вид [7]:

$$C = \frac{R_{\text{пр}}^{1/6}}{n} = \frac{\left(\frac{d_{\text{пр}}}{4}\right)^{1/6}}{n}, \quad (5)$$

где  $R_{\text{пр}}$  – приведенный гидравлический радиус трубы,  $R_{\text{пр}} = \frac{d_{\text{пр}}}{4}$ , м;  $n$  – коэффициент шероховатости труб, принимаемый значения в диапазоне  $n = 0,012-0,014$ .

Приведенный диаметр труб  $d_{пр}$ , м, для самотечных сетей с отложениями в их лотковой части (рис. 2) определяется по выведенной авторами формуле, имеющей вид [8, 9]:

$$d_{пр} = \sqrt{d_{вн}^2 - (d_{вн}^\phi)^2} = \sqrt{d_{вн}^2 - (d_{вн} - h)^2}, \quad (6)$$

где  $d_{вн} = d_n - 2S_p$ ; (7)

$d_n$  – наружный диаметр труб по государственному стандарту, м;  $h$  – толщина слоя отложений в лотковой части, м.

Значения  $d_{пр}$  характеризуют величину фактической площади смоченного периметра трубы  $\omega_\phi$  для пропуска заданного расхода  $q$ . Чем больше значение  $d_{пр}$ , тем меньше толщина слоя осадка  $h$  в лотковой части труб и тем больше фактическая площадь смоченного периметра трубы  $\omega_\phi$  (рис. 2).

Диапазон изменения значений  $d_{пр}$ : от 0 (труба без слоя осадка  $h$ ) до значения  $h$ , соответствующего значению, обосновывающему необходимость проведения гидравлической очистки сети, в зависимости от величины приведенного диаметра труб  $d_{пр}$  [4]. Покажем это на конкретном примере.

### Условия задачи

По самотечной сети из бетонных труб диаметром 400 мм перемещается поток бытовых сточных вод  $q = 150$  л/с. Толщина слоя осадка  $h$  в лотковой части труб  $h = 70$  мм (0,07 м). Определить значения характеристик гидравлического потенциала труб ( $d$ ,  $V$ ,  $i$ ) для заданных условий задачи. Рассчитать минимальную толщину слоя осадка  $h$ , при которой требуется проведение гидродинамической очистки сети.

### Решение

1. По формулам (3), (4) и (6) определяют значения характеристик гидравлического потенциала труб ( $d$ ,  $V$ ,  $i$ ) для новых бетонных труб и труб с толщиной слоя осадка  $h$  в их лотковой части.

2. Результаты расчетов значений характеристик сводят для сравнения в табл. 1 и 2. Методика гидравлических расчетов значений характеристик труб приведена в работе [8].

Таблица 1

**Гидравлические характеристики бетонных труб**

Гидравлические характеристики бетонных труб							
новых				с осадком $h = 70$ мм (0,07 м)			
$d_{вн}$ , м	$V$ , м/с	$C^*$	$i$ , м/м	$d_{пр}$ , м	$V_{пр}$ , м/с	$C_{пр}$	$i_{пр}$ , м/м
0,400	1,18	52,38	0,0032	0,174	6,31	57,44	0,2774

\*  $C$  – коэффициент А. Шези, определяемый по формуле, уточненной акад. В.Н. Павловским:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n},$$

где  $R$  – гидравлический радиус, м,  $R = \frac{d_{вн}}{4}$ ;  $n$  – коэффициент шероховатости стенок труб, изменяющийся в диапазоне значений [7]:  $n = 0,012$ – $0,014$ .

Таблица 2

**Гидравлические характеристики новых бетонных труб диаметром 400 мм**

Внутренний диаметр $d_{\text{вн}}$ , м	Скорость потока $V$ , м/с				
	0,8	4,50	7,0	12,0	15,0
	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Коэффициент А. Шези	52,38	52,38	52,38	52,38	52,38
Гидравлический уклон $i_{\text{ф}}$ , м/м	0,00233	0,07381	0,17859	0,52484	0,82007

3. Определение минимального значения толщины слоя осадка  $h$  для необходимости проведения гидродинамической очистки сети.

Установлено расчетами для приведенного примера, что минимальная толщина слоя осадка  $h$  в лотковой части труб равна значению  $h = 70$  мм (0,07 м) и соответствует значению  $H_{\text{ф}} = 0,308$  м (табл. 3) [11].

Таблица 3

**Гидравлические характеристики бетонных труб диаметром 400 мм с отложениями в лотковой части**

Характеристики труб	Толщина слоя осадка $h$ , м				
	0	0,05	0,07	0,10	0,12
Приведенный диаметр $d_{\text{пр}}$ , м	0,4	0,206	0,174	0,135	0,114
Фактическая скорость потока $V_{\text{ф}}$ , м/с	1,18	4,50	5,31	10,49	14,71
Коэффициент А. Шези	66,01	59,98	57,44	55,06	53,53
Фактический гидравлический уклон $i_{\text{ф}}$ , м/м	0,00320	0,11270	0,27740	0,84430	2,64970

В табл. 2 по условиям задачи приведены значения гидравлических характеристик новых бетонных труб, а в табл. 3 – труб с толщиной слоя осадка в диапазоне значений  $h = 0,05–0,12$  м в их лотковой части.

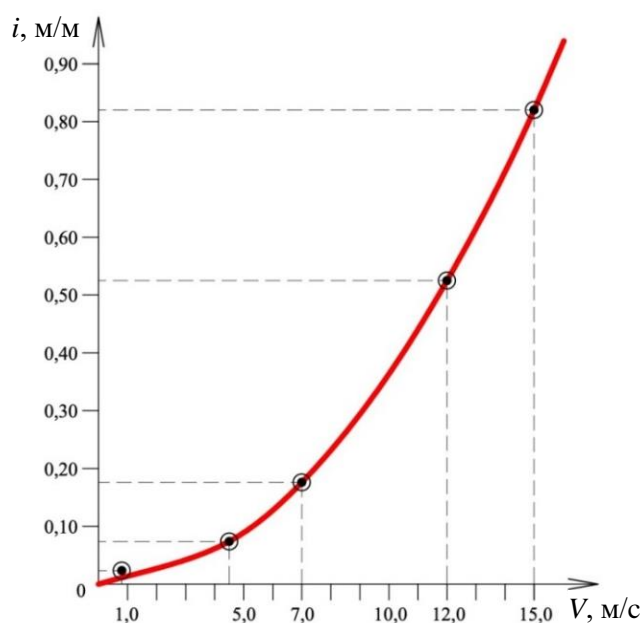
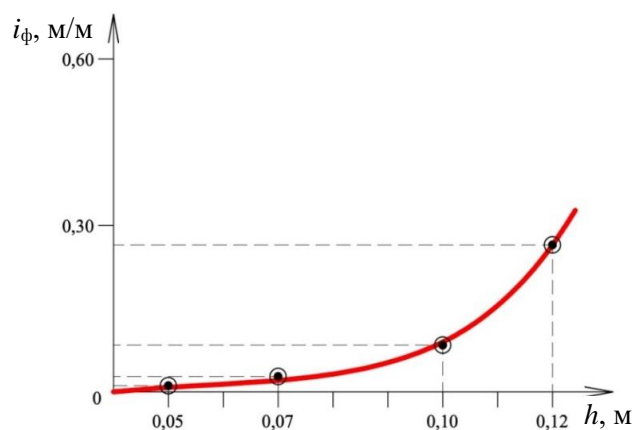
По данным табл. 2 и 3 для приведенного примера на рис. 3 построен график зависимости  $i = f(V)$  для условий поставленной задачи. Для построения графиков принят диапазон изменения значений от  $V_{\text{мин}} = 0,8$  м/с до  $V_{\text{мин}} = 12,0$  м/с ( $h = 0,12$  м) (табл. 1).

В табл. 2 приведены значения гидравлических характеристик труб с разной толщиной слоя осадка  $h$  и разным значением приведенных диаметров труб  $d_{\text{пр}}$  [9].

По данным табл. 2 для приведенного примера на рис. 3 построен график зависимости  $i = f(V)$  для диапазона скоростей потока  $V = 0,8–15,0$  м/с.

График на рис. 3 свидетельствует об изменении значений гидравлического уклона  $i$  от скоростного режима потока сточной жидкости.

По данным табл. 3 на рис. 4 представлен график зависимости  $i_{\text{ф}} = f(h)$ , подтверждающий, что толщина слоя осадка в лотковой части труб  $h$  оказывает существенное влияние на величину значений фактического гидравлического уклона  $i_{\text{ф}}$ .

Рис. 3. График зависимости  $i = f(V)$ Рис. 4. График зависимости  $i_{\phi} = f(h)$ 

Анализ графиков на рис. 3 и 4 для приведенного примера показывает следующее:

1. Изменение скоростного режима потока  $V$  влияет на величину значений гидравлического уклона  $i$ , что подтверждает необходимость регулирования значений минимальных (незаиляющих) скоростей в сетях водоотведения разных диаметров, предусмотренных требованиями СП 32.13330.2012 (табл. 1).

2. Наличие отложений в лотковой части труб толщиной  $h = 0,05$ – $0,12$  м увеличивает значения фактического гидравлического уклона  $i_{\phi}$  в диапазоне от  $i_{\phi} = 0,11270$  м/м ( $h = 0,05$  м) до  $i_{\phi} = 2,64970$  м/м ( $h = 0,12$  м), т. е. на 95,75 %, или в 23,51 раза (табл. 2).

Приведенные сведения по сети водоотведения из бетонных труб диаметром 0,400 м позволяют сделать следующий вывод: наличие слоя отложений в лотковой части труб сетей водоотведения из разного вида материалов влияет на величину значений характеристик их гидравлического потенциала ( $d_{пр}$ ,  $V_{пр}$ ,  $i_{ф}$ ), и поэтому требуется в процессе жизненного цикла «Эксплуатация» осуществлять инструментальный контроль толщины фактического слоя отложений в трубах с отложениями в их лотковой части [10].

Представляет практический интерес знание предельного значения уровня наполнения сети водоотведения  $H_{ф}$  для условий поставленной задачи.

Приведем расчет значения  $H_{ф}$ . Расчет производится по методике, приведенной в работе [11].

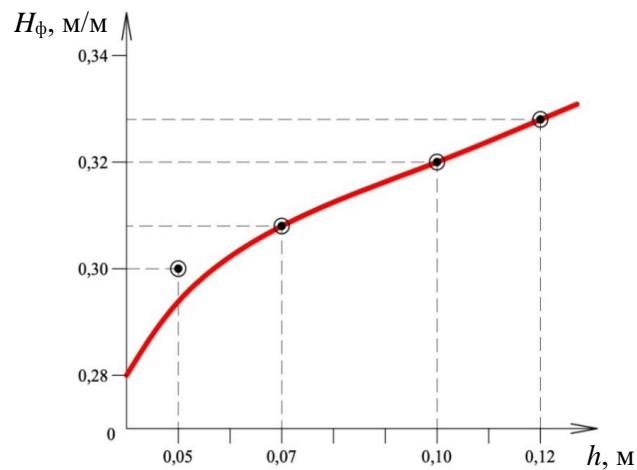
Для условий приведенного примера и толщине слоя осадка  $h$  в лотковой части труб в диапазоне значений  $h = 0\text{--}120$  мм (0,00–0,12 м), значение внутреннего диаметра  $d_{вн}$  характеризуется значением приведенного диаметра  $d_{пр}$ , таким образом, уровень наполнения в трубе диаметром  $d_{вн} = 0,400$  м составит (табл. 3).

Таблица 4

**Наполнение в трубе диаметром  $d_{вн} = 0,400$  мм,  $H_{ф}$  при разных значениях  $h$**

Фактическое наполнение в трубе $H_{ф}$ , м	Толщина слоя осадка $h$ , м, в лотковой части трубы				
	0	0,05	0,07	0,10	0,12
Приведенный диаметр $d_{пр}$ , м	0,280	0,300	0,308	0,320	0,328

Из табл. 4 следует, что при толщине слоя осадка  $h = 0,12$  м в лотковой части труб последние начинают работать практически полным сечением, что недопустимо по требованиям СП 32.13330.2018 из-за отсутствия возможности достаточного вентилирования сети для устранения дурно пахнущих газов, выделяемых из сточных вод [12]. По данным табл. 4 на рис. 5 приведен график зависимости  $H_{ф} = f(h)$ , свидетельствующий о том, что чем больше значение  $h$ , тем выше уровень фактического наполнения труб  $H_{ф}$ .

Рис. 5. График зависимости  $H_{ф} = f(h)$



Таким образом, доказано влияние толщины слоя внутренних отложений  $\sigma$  в металлических сетях водоснабжения (рис. 1) на значения характеристик гидравлического потенциала труб  $d_{\text{вн}}$ ,  $V$  и  $i$ , а также влияние толщины слоя осадка  $h$  в лотковой части самотечных сетей водоотведения на значения гидравлических характеристик самотечного потока бытовых сточных вод.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Продоус О.А., Шипилов А.А., Якубчик П.П.* Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями : справочное пособие. 1-е изд. Санкт-Петербург ; Москва : ООО «Перо», 2021. 238 с.
2. *Продоус О.А., Шлычков Д.И.* Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб самотечных сетей водоотведения // Известия вузов. Строительство. 2021. № 6 (750). С. 95–98.
3. *Продоус О.А., Шипилов А.А.* Гидравлический критерий обоснования необходимости разработки проектов реконструкции водопроводных сетей из металлических труб // Водные системы и технологии. 2020. № 1. С. 26–31. URL: <https://cloud.mail.ru/public/xeuP/gxLhGxHET>
4. *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>
5. *Продоус О.А.* Уточненный вид расчетной зависимости для гидравлического расчета изношенных металлических водопроводных труб с внутренними отложениями // Яковлевские чтения : сб. Москва : НИУ МГСУ, 2021. С. 178–193.
6. *Продоус О.А., Шлычков Д.И.* Зависимость фактической скорости потока в самотечных сетях водоотведения от толщины слоя отложений в лотковой части труб // Технологии очистки воды : материалы XIII Международной научно-практической конференции ТЕХНОВОД-2021, 14–17 декабря 2021 г. Сочи, Красная Поляна. 2021. С. 101–104.
7. *Чупин Р.В.* Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Иркутск : Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2015. 418 с.
8. *Продоус О.А., Шлычков Д.И.* Сравнительный анализ расчетных зависимостей для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 462–469. URL: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-462-469>
9. *Продоус О.А., Шлычков Д.И., Пархоменко С.В.* Обоснование допустимого уровня наполнения в трубах самотечных сетей водоотведения // Сб. докладов участников XVII Международной научно-технологической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, 17–18 марта. Москва, 2022. С. 85–95.
10. *Патент № 207822* Российская Федерация. Устройство для измерения толщины отложений в трубе : дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей РФ 18.11.2021 г. : опубл. 18.11.2021 / Продоус О.А., Шлычков Д.И. Бюл. № 32.
11. *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.
12. *Богомолов М.В., Кармазиков Ф.В., Костюченко С.В.* Методы удаления запахов в системах транспортировки и очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 7. С. 33–43.

## REFERENCES

1. *Prodous O.A., Shipilov A.A., Yakubchik P.P.* Tablitsy dlya gidravlichesкого rascheta vodoprovodnykh trub iz stali i serogo chuguna s vnutrennimi otlozheniyami [Tables for hydraulic calculation of water pipes made of steel and gray cast iron with internal deposits], 1st ed., Saint-Petersburg; Moscow: Pero, 2021. 238 p. (rus)

2. *Prodous O.A., Shlychkov D.I.* Mekhanizm obrazovaniya sloya otlozhenii v lotkovoi chasti trub samotechnnykh setei vodootvedeniya [Formation mechanism of deposits in tray part of pipes of gravity drainage networks]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2021. No. 6 (750). Pp. 95–98. (rus)
3. *Prodous O.A., Shipilov A.A.* Gidravlicheskiy kriterii obosnovaniya neobkhodimosti razrabotki proektov rekonstruktsii vodoprovodnykh setei iz metallicheskh trub [Hydraulic criterion for substantiating reconstruction projects on metal water pipes]. *Vodnye sistemy i tekhnologii*. 2020. No. 1. Pp. 26–31. Available: <https://cloud.mail.ru/public/xeyP/gxLhGxHET> (rus)
4. *Prodous O.A., Shlychkov D.I.* Prognozirovanie vozmozhnosti prodolzheniya ekspluatatsii samotechnnykh setei vodootvedeniya s otlozheniyami v lotkovoi chasti trub [Possibility of continuing operation of gravity drainage networks with deposits in the tray part of pipes]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2021. V. 11. No. 4. Pp. 646–653. Available: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653> (rus)
5. *Prodous O.A.* Utochnennyi vid raschetnoi zavisimosti dlya gidravlicheskogo rascheta iznoshennykh metallicheskh vodoprovodnykh trub s vnutrennimi otlozheniyami [Hydraulic calculation of worn metal water pipes with internal sediments]. In: *Yakovlevskie chteniya ('Yakovlev Readings')*. Moscow: MGSU, 2021. Pp. 178–193. (rus)
6. *Prodous O.A., Shlychkov D.I.* Zavisimost' fakticheskoi skorosti potoka v samotechnnykh setyakh vodootvedeniya ot tolshchiny sloya otlozhenii v lotkovoi chasti trub [Actual flow rate in gravity drainage networks vs. sediment layer thickness in the tray part of pipes]. In: *Tekhnologii ochistki vody: materialy 8 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. 8th Int. Sci. Conf. 'Water Purification Technology')*. Sochi, Krasnaya Polyana. 2021. Pp. 101–104. (rus)
7. *Chupin R.V.* Optimizatsiya razvivayushchikhsya sistem vodootvedeniya [Optimization of wastewater disposal systems]. Irkutsk, 2015. 418 s. (rus)
8. *Prodous O.A., Shlychkov D.I.* Sravnitel'nyi analiz raschetnykh zavisimostei dlya gidravlicheskogo rascheta samotechnnykh setei vodootvedeniya [Hydraulic calculation of gravity drainage systems]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2021. V. 11. No. 3. Pp. 462–469. Available: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-462-469> (rus)
9. *Prodous O.A., Shlychkov D.I., Parkhomenko S.V.* Obosnovanie dopustimogo urovnya napolneniya v trubakh samotechnnykh setei vodootvedeniya [Permissible level of pipe filling of gravity drainage networks]. In: *Sb. dokladov uchastnikov 17 Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnologicheskoi konferentsii, posvyashchennoi pamyati akademika RAN S.V. Yakovleva (Proc. Int. Sci. Conf. devoted to Academician Yakovlev)*. Moscow, 2022. Pp. 85–95. (rus)
10. *Prodous O.A., Shlychkov D.I.* Ustroistvo dlya izmereniya tolshchiny otlozhenii v trube [Device for sediment thickness measurement in a pipe]. Patent Russ. Fed. N 207822, 2021. (rus)
11. *Prodous O.A., Shlychkov D.I., Abrosimova I.A.* Obosnovanie neobkhodimosti provedeniya gidrodinamicheskoi ochistki samotechnnykh setei vodootvedeniya [Hydrodynamic cleaning of gravity drainage networks]. *Vestnik MGSU*. 2022. V. 17. No. 1. Pp. 106–114. (rus)
12. *Bogomolov M.V., Karamazikov F.V., Kostyuchenko S.V.* Metody udaleniya zapakhov v sistemakh transportirovki i ochistki stochnykh vod [Hydrodynamic cleaning of gravity drainage networks]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2016. No. 7. Pp. 33–43. (rus)

#### 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](mailto: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](mailto:ShlyichkovDI@mgsu.ru)

#### Authors Details

*Oleg A. Prodous*, DSc, Professor, Director General, ООО "INCO-expert", 37/1, Moskovskii Ave., 190005, Saint-Petersburg, Russia; [pro@enco.su](mailto:pro@enco.su)

*Dmitry I. Shlyichkov*, PhD, A/Professor, The National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, [ShlyichkovDI@mgsu.ru](mailto:ShlyichkovDI@mgsu.ru)