

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

---

УДК 628.144:532.542

О. А. ПРОДОУС<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., независимый эксперт по водоснабжению и водоотведению; П. П. ЯКУБЧИК<sup>2</sup>, канд. техн. наук, проф. кафедры водоснабжения, водоотведения и гидравлики; Д. И. ШЛЫЧКОВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения; С. С. БАЛАШОВ<sup>2</sup>, аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения и гидравлики

## НОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОВОДОВ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

<sup>1</sup>Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, Московский проспект 37/1, лит. А, пом. 1-Н. Тел.: (921) 967-27-25; эл. почта: pro@enco.su

<sup>2</sup>Россия, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»  
190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9. Тел.: (921) 346-54-45; эл. почта: p.jakub@mail.ru

<sup>3</sup>Россия, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»  
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. Тел.: (926) 286-56-54; эл. почта ShlyichkovDI@mgsu.ru

*Ключевые слова:* металлические трубы водоснабжения, внутренние отложения, гидравлический расчет, новая зависимость.

---

*Предложен новый вид расчетной зависимости для гидравлического расчета металлических водопроводных труб с внутренними отложениями, учитывающий фактическую толщину слоя отложений, изменяющий значения фактического внутреннего диаметра труб, характеризуемого значением фактической скорости движения воды. Разработана универсальная зависимость для гидравлического расчета металлических водопроводных труб с внутренними отложениями любой толщины и на конкретном примере показана точность использования предложенной зависимости для гидравлического расчета таких труб.*

---

Практикой эксплуатации металлических водопроводных сетей из стальных труб и труб из серого чугуна установлено, что внутренняя поверхность труб из таких видов материалов в процессе жизненного цикла «Эксплуатация» покрывается слоем внутренних отложений  $\sigma_{\text{ф}}$ , изменяющим значения характеристик их гидравлического потенциала ( $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ ,  $V_{\text{ф}}$ ,  $i_{\text{ф}}$ ), рис. 1 [1, 2].

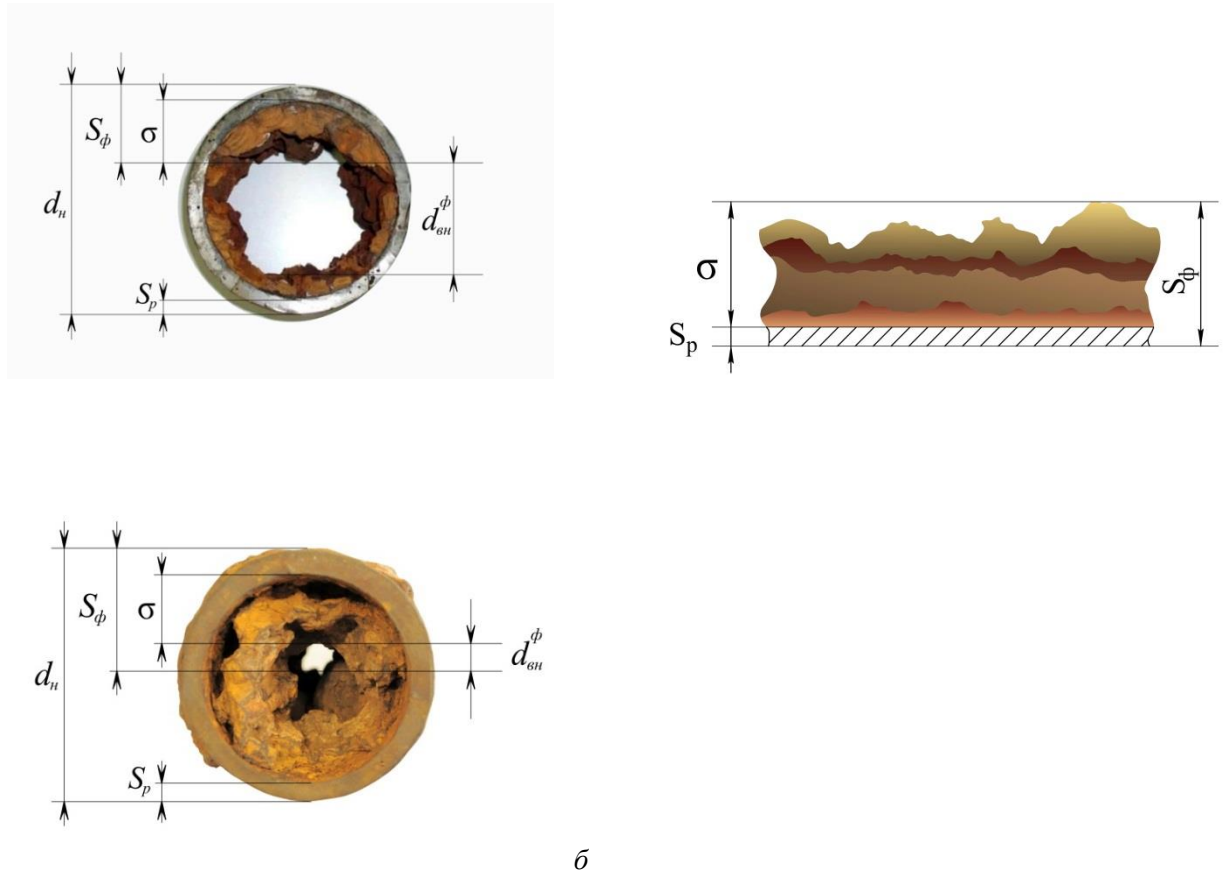


Рис. 1. Отложения на внутренней поверхности водопроводных труб: *а* – стальных; *б* – чугунных из серого чугуна

Гидравлический расчет водопроводов из стали и серого чугуна с внутренними отложениями принято производить по специальным таблицам, облегчающим расчет с достаточной практической точностью [1, 2]. В таких таблицах принято для расчетов использовать классическую формулу Дарси-Вейсбаха, имеющую вид:

$$h = i \cdot \ell, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $h$  – потери напора на сопротивление по длине водопровода, м;  $\ell$  – длина водопровода, м;  $i$  – гидравлический уклон или потери напора на сопротивление по длине труб в 1 п.м, м/м. При  $\ell = 1$  п.м.,  $h = i$ , м/м.

При этих двух условиях формула Дарси-Вейсбаха принимает вид [3]:

$$i = \lambda \frac{V^2 \cdot \ell}{2g \cdot d_{\text{вн}}}, \text{ м/м}, \quad (2)$$

где:

$\lambda$  – безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления труб;

$V$  – средняя скорость движения воды, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр труб, м (рис. 1):

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}, \text{ м}; \quad (3)$$



$d_n$  – наружный диаметр труб по ГОСТ для труб из конкретного вида материала, м;

$S_p$  – толщина стенки трубы по ГОСТ, м.

При наличии фактического слоя внутренних отложений  $\sigma_\phi$  фактический внутренний диаметр труб  $d_{вн}^\phi$  определяется по формуле, учитывающей фактическую толщину слоя отложений  $\sigma_\phi$  (рис. 1):

$$d_{вн}^\phi = (d_n - 2S_p) - 2\sigma_\phi = d_{вн} - 2\sigma_\phi, \text{ м.} \quad (4)$$

### Методы исследований

В результате исследований, проведенных профессором Ф. А. Шевелевым на металлических водопроводных трубах разного диаметра, им было предложено для не новых стальных и чугунных труб определять значение коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda$  по формуле, имеющей вид (при температуре воды  $10^\circ \text{C}$ ,  $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ):

$$\lambda = \frac{0,0179}{(d_{вн}^\phi)^{1,3}} \left( 1 + \frac{0,867}{V_\phi} \right)^{0,3}, \quad (5)$$

где:  $d_{вн}^\phi$  – фактический внутренний диаметр труб с отложениями, м;

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

$$V_\phi = \frac{4 \cdot q}{\pi (d_{вн}^\phi)^2}, \text{ м/с.} \quad (6)$$

Принято считать, что  $V_\phi \geq 1,2 \text{ м/с}$  [4].

При наличии фактического слоя внутренних отложений в трубах  $\sigma_\phi$  их фактический внутренний диаметр  $d_{вн}^\phi$  определяется по формуле (4), учитывающей толщину этого слоя (рис. 1).

Подстановка формул (5), (6) и (4) в формулу (2) с учетом преобразований дает следующий новый вид расчетной зависимости для гидравлического расчета металлических водопроводных труб с любой толщиной слоя внутренних отложений  $\sigma_\phi$ :

$$i_\phi = \frac{0,00148 \cdot q^2}{(d_{вн} - 2\sigma_\phi)^{5,3}} \cdot \left( 1 + \frac{0,681 \cdot (d_{вн} - 2\sigma_\phi)^2}{q} \right)^{0,3}, \text{ м/м,} \quad (7)$$

где  $q$  – заданный расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\sigma_\phi$  – фактическая (измеренная толщиномером) толщина слоя внутренних отложений на стенках труб, м.

Предлагаемый авторами вид расчетной зависимости (7) предусматривает сравнение значений  $i_\phi$ , рассчитанных по таблицам [1, 2] и по формуле (7). Проведем такое сравнение для условий конкретного примера.

Значения характеристик гидравлического потенциала труб, подсчитанных по Справочному пособию [2] и по новой зависимости (7), для удобства сравнения сведены в табл. 1.

Таблица 1



**Зависимости значений гидравлического потенциала от толщины слоя отложений**

$\sigma_{\phi}$ , мм	$q$ , м <sup>3</sup> /с	Значение характеристик гидравлического потенциала труб								
		по таблицам [1]			по таблицам [2]			по новой зависимости (7)		
		$d_{вн}^{\phi}$ , м	$V_{\phi}$ , м/с	$i_{\phi}$ , м/м	$d_{вн}^{\phi}$ , м	$V_{\phi}$ , м/с	$i_{\phi}$ , м/м	$d_{вн}^{\phi}$ , м	$V_{\phi}$ , м/с	$i_{\phi}$ , м/м
0	0,038	0,205	1,15	0,01114	0,205	1,15	0,01110	0,205	1,15	0,01124
10	0,038	0,183	1,45	0,02033	0,183	1,41	0,01935	0,183	1,41	0,01996
15	0,038	0,173	1,62	0,02739	0,173	1,58	0,02614	0,173	1,58	0,02655
20	0,038	0,163	1,82	0,03755	0,163	1,78	0,03584	0,163	1,78	0,03597
25	0,038	0,153	2,07	0,05252	0,153	2,02	0,05012	0,153	2,02	0,04973
30	0,038	0,143	2,37	0,07515	0,143	2,30	0,07094	0,143	2,30	0,07034

**Результаты и обсуждения**

Анализ значений характеристик труб для приведенного примера показывает, что при прочих равных условиях изменение фактической толщины слоя внутренних отложений  $\sigma_{\phi}$  влияет на величину значений фактической скорости движения воды  $V_{\phi}$  (формула (6)) и величину фактического гидравлического уклона  $i_{\phi}$  (формула (7)). Чем больше значение  $\sigma_{\phi}$ , тем больше значение  $V_{\phi}$  и тем больше значение  $i_{\phi}$ . Расчет величин значений  $i_{\phi}$  по разным формулам дает разный результат.

Для подтверждения этого заключения на рис. 2 построены графики зависимостей по данным табл. 1:

$$i_{\phi}^{таб 1} = f(\sigma_{\phi}), \quad i_{\phi}^{таб 2} = f(\sigma_{\phi}) \quad \text{и} \quad i_{\phi}^{нов} = f(\sigma_{\phi})$$

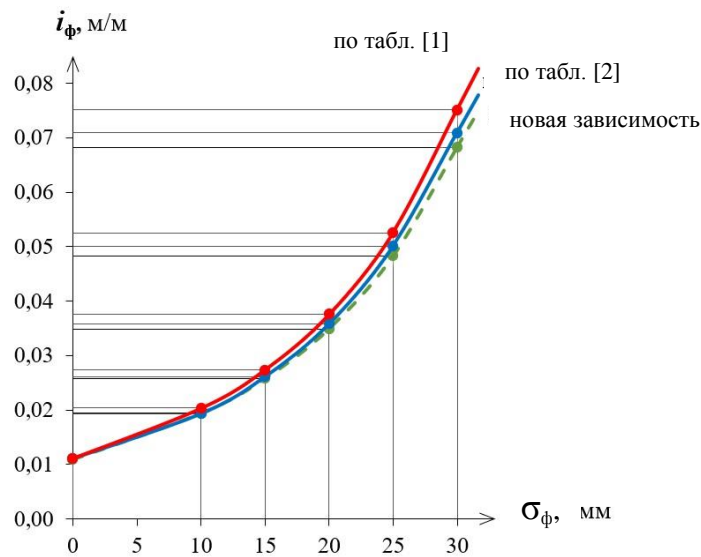


Рис. 2. Сравнение графиков расчетных зависимостей  $i_{\phi}^{таб 1} = f(\sigma_{\phi})$ ,  $i_{\phi}^{таб 2} = f(\sigma_{\phi})$  и  $i_{\phi}^{нов} = f(\sigma_{\phi})$



Графики, приведенные на рис. 2, подтверждают вывод о том, что чем больше значение  $\sigma_{\phi}$ , тем больше значения  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$ . То есть зависимость (7) для гидравлического расчета металлических водопроводов с внутренними отложениями  $\sigma_{\phi}$  уточняет гидравлический расчет металлических труб из стали и серого чугуна.

Поэтому после проведения дополнительного анализа новой зависимости (7) в следующем издании Справочного пособия [2] будут учтены сведения, приведенные в данной статье.

Покажем изменение величины относительных погрешностей  $\delta_{\phi}^{отн}$ , возникающих при использовании табличных [1, 2] и расчетных по формуле (7) значений характеристик гидравлического потенциала труб для условий приведенного примера при  $\sigma_{\phi} = 20$  мм.

Результаты расчета значений характеристик труб для сравнения сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения гидравлического потенциала при толщине слоя отложений 20 мм**

Толщина слоя отложений $\sigma_{\phi}$ , мм	$q$ , м <sup>3</sup> /с	Значения гидравлических характеристик					
		по таблицам [2]			по зависимости (8)		
		$d_{вн}^{\phi}$ , м	$V_{\phi}$ , м/с	$i_{\phi}$ , м/м	$d_{вн}^{\phi}$ , м	$V_{\phi}$ , м/с	$i_{\phi}$ , м/м
20	0,038	0,165	1,78	0,03528	0,165	1,78	0,03308
Процент расхождения значений погрешности расчета, $\delta$ , %							
----	----	----	----	----	----	----	6,24

Истинное значение величины фактического гидравлического уклона  $i_{\phi}$  для рассмотренного примера определяется с учетом величины относительной погрешности  $\delta_{i_{\phi}}^{отн}$  его вычисления по формуле (8):

$$i_{\phi}^{ист} = i_{\phi} \pm \delta_{i_{\phi}}^{отн}, \text{ м/м}, \quad (8)$$

где:

$\delta_{i_{\phi}}^{отн}$  – относительная погрешность вычисления значения  $i_{\phi}$  определяется по формуле:

$$\delta_{i_{\phi}}^{отн} = \left| \frac{i_p^{таб}}{i_{\phi}} \right| \cdot 100 \% ; \quad (9)$$

$i_p^{таб}$  – расчетное табличное значение  $i_p$  для условий приведенного примера, м/м;

$i_{\phi}$  – фактическое значение, рассчитанное по формуле (7), м/м

$$\delta_{i_{\phi}}^{отн} = \left| \frac{0,03528}{0,03308} \right| \cdot 100 \% = 1,0665 \cdot 100\% = 106,65 \%,$$

$$\delta_{i_{\phi}}^{отн} = 106,65 \% - 100 \% = 6,65 \%$$



Тогда истинное значение  $i_{\phi}^{\text{ист}}$  по формуле (8) составит:

$$i_{\phi}^{\text{ист}} = i_{\phi} \pm 6,65 \% = 0,03308 \pm 0,0022 = 0,03528 \text{ м/м.}$$

Это свидетельствует о том, что истинное значение фактического гидравлического уклона  $i_{\phi}^{\text{ист}}$  отличается от фактического значения  $i_{\phi}$  на величину относительной погрешности расчета  $\delta_{\phi}^{\text{отн}}$ , рассчитанной по формуле (9).

На практике установлено, что предельное значение расчетных значений гидравлических характеристик труб следует определять с точностью, не превышающей  $\delta_{\phi}^{\text{пр}} = 5,0 \%$  [7].

### **Заключение**

Так как процент расхождения значений  $i_{\phi}$  по таблицам [1, 2] и новой зависимости (7) составляет  $\delta_{\phi} = 6,24 \%$ , то это означает, что предельное значение  $i_{\phi}$  нарушено:

$$\delta^{\text{пр}} = 5,0 \% < \delta_{\phi} = 6,24 \%, \text{ на } 1,24 \%.$$

Поэтому представленные на примере задачи данные и построенные на рис. 2 графики зависимостей (см. рис. 2) позволяют сделать следующие выводы:

1) предложен уточненный вид формулы Дарси-Вейсбаха (2) для металлических водопроводных труб с любой толщиной фактического слоя внутренних отложений  $\sigma_{\phi}$  (формула (7));

2) отмечена необходимость уточнения значений характеристик труб в Справочных пособиях [1, 2] за счет использования при расчетах новой зависимости (7).

Таким образом, использование новой расчетной зависимости (7) для гидравлического расчета металлических водопроводов с внутренними отложениями позволит обеспечить выполнение требований нормативного документа СП 31.13330.2021 (п. 11.45), за счет использования более точного Справочного пособия (2) для гидравлического расчета металлических водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями с уточнением величины фактических значений  $i_{\phi}$  с помощью зависимости (8), учитывающей любое изменение значений толщины слоя внутренних отложений  $\sigma_{\phi}$  в металлических водопроводных трубах из стали и серого чугуна.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – 12-е издание. – Москва : Бастет, 2020. – 428 с. – ISBN: 978-5-903178-43-8. – Текст : непосредственный.

2. Продоус, О. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями : справочное пособие / О. А. Продоус, А. А. Шипилов, П. П. Якубчик. – Москва : Перо, 2021. – 238 с. : ил. – ISBN 978-5-00189-357-8. – Текст : непосредственный.

3. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение : учебник для вузов / Н. Н. Абрамов. – 2-е издание, переработанное, дополненное. – Москва : Стройиздат, 1974. – 480 с. – Текст : непосредственный.

4. Шевелев, Ф. А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах / Ф. А. Шевелев. – Москва : Госстройиздат, 1953. – 208 с. – Текст : непосредственный.



5. Продоус, О. А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена : справочное пособие / О. А. Продоус. – Издание 3-е, дополненное. – Санкт-Петербург : Свое издательство, 2017. – 240 с. : ил. – ISBN 978-5-4386-1360-2. – Текст : непосредственный.

6. Продоус, О. А. Гидравлическое прогнозирование продолжительности использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения / О. А. Продоус. – Текст : непосредственный // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2020. – № 11 (155). – С. 28–32.

7. Продоус, О. А. Систематизация гидравлического расчета металлических сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями на стенках труб / О. А. Продоус, Д. И. Шлычков. – Текст : электронный // Строительство: наука и образование. – 2022. – Том 12, Выпуск 3. – С. 115–124. – URL: <http://nso-journal.ru>. – DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.7.

8. Продоус, О. А. Анализ погрешностей при гидравлическом расчете металлических трубопроводов водоснабжения с использованием справочных пособий Ф. А. Шевелева / О. А. Продоус, А. А. Шипилов, Л. Д. Терехов, П. П. Якубчик. – Текст : непосредственный // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2021. – № 2 (158). – С. 50–55.

9. Продоус, О. А. Допустимая погрешность значений расчетных параметров при гидравлическом расчете трубопроводов из полимерных материалов / О. А. Продоус. – Текст : непосредственный // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2021» : материалы XIII Международной научно-практической конференции, Сочи, Красная Поляна, 14-17 декабря 2021. – Новочеркасск, 2021. – С. 95-100. – ISBN 978-5-907391-44-4.

10. Продоус, О. А. Уточненный вид расчетной зависимости для гидравлического расчета изношенных металлических водопроводных труб с внутренними отложениями / О. А. Продоус. – Текст : непосредственный // Яковлевские чтения : сборник XVI Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева / Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – Москва, 2021. – С. 178–193. – ISBN: 978-5-7264-2855-0.

11. Продоус, О. А. Новый подход к гидравлическому расчету металлических трубопроводов водоснабжения с отложениями на их внутренних стенках / О. А. Продоус, П. П. Якубчик. – Текст : непосредственный // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. – 2022. – № 1. – С. 28–30.

12. Влияние толщины слоя внутренних отложений в трубопроводах систем водоснабжения и водоотведения на продолжительность периода их остаточной эксплуатации / О. А. Продоус, Д. И. Шлычков, П. П. Якубчик, С. В. Пархоменко. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2022. – Том 17, выпуск 6. – С. 738–746. – DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746.

**PRODOUS Oleg Aleksandrovich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor, independent expert on water supply and water disposal; YAKUBCHIK Pyotr Petrovich<sup>2</sup>, candidate of technical sciences, professor of the chair of water supply and hydraulics; SHLYCHKOV Dmitry Ivanovich<sup>3</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of water supply and water disposal; BALASHOV Sergey Sergeevich<sup>2</sup>, postgraduate student of the chair of water supply and hydraulics**

#### **A NEW DEPENDENCE FOR THE HYDRAULIC CALCULATION OF METAL WATER PIPES WITH INTERNAL DEPOSITS**



<sup>1</sup>37/1, Moskovsky pr., lit. A, room 1-N, St. Petersburg, 190005. Tel.: +7 (921) 967-27-25;  
e-mail: pro@enco.su

<sup>2</sup>Emperor Alexander I St. Peterburg State Transport University  
9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031. Tel.: +7 (921) 346-54-45;  
e-mail: p.jakub@mail.ru

<sup>3</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering  
26, Yaroslavskoe sh., Moscow, 129337. Tel.: +7 (926) 286-56-54;  
e-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru

*Key words:* metal water supply pipes, internal deposits, hydraulic calculation, new dependence.

---

*The article suggests a new type of calculation dependence for the hydraulic distribution of metal water pipes with internal deposits, taking into account the actual thickness of the sediment layer, changing the values of the actual internal diameter of the pipes, characterized by the value of the actual water velocity. A universal dependence for the hydraulic calculation of metal water pipes with internal deposits of any thickness has been developed and the accuracy of using the proposed dependence for the hydraulic calculation of such pipes is shown by a concrete example.*

---

#### REFERENCES

1. Shevelev F. A., Shevelev A. F. *Tablitsy dlya gidravlicheskogo raschyota vodoprovodnykh trub [Tables for hydraulic calculation of water pipes] : spravochnoe posobie. 12-e izdanie.* Moscow: Bastet, 2020. – 428 p. – ISBN: 978-5-903178-43-8.
2. Prodous O. A., Shipilov A. A., Yakubchik P. P. *Tablitsy dlya gidravlicheskogo raschyota 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] : spravochnoe posobie.* Moscow : Pero, 2021. – 238 p. il. – ISBN 978-5-00189-357-8.
3. Abramov N. N. *Vodosnabzhenie [Water supply] : uchebnyk dlya VUZov. 2-e izdanie, pererab., dopolnen..* Moscow : Stroyizdat. 1974. – 480 p.
4. Shevelev F. A. *Issledovanie osnovnykh gidravlicheskikh zakonmernostey turbulentnogo dvizheniya v trubakh [Investigation of the main hydraulic patterns of turbulent motion in pipes].* – Moscow : Gosstroyizdat. 1953. 208 p.
5. Prodous O. A. *Tablitsy dlya gidravlicheskogo raschyota trub napornykh iz polietilena [Tables for the hydraulic calculation of pressure pipes made of polyethylene] : spravochnoe posobie. Izd. 3-e dopolnen.* Saint-Petersburg: Svoye izdatelstvo, 2017. – 240 p. il. – ISBN 978-5-4386-1360-2.
6. Prodous O. A. *Gidravlichesкое прогнозирование продолжительности использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоснабжения [Hydraulic forecasting of the duration of use of metal pipelines for water supply and sanitation].* Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie [Water purification. Water treatment. Water supply], 2020. № 11 (155). – P. 28–32.
7. Prodous O. A., Shlychikov D. I. *Sistematizatsiya gidravlicheskogo raschyota metallicheskih setey vodosnabzheniya i vodootvedeniya s vnutrennimi щедщярутшнфш на stenkakh trub [Systematization of hydraulic calculation of metal water supply and sanitation networks with internal deposits on the walls of pipes // Stroitelstvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. 2022. Vol. 12. Issue 3. Moscow. – P. 115–124. // URL: <http://nso-journal.ru> . DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.7.*
8. Prodous O. A., Shipilov A. A., Terekhov L. D., Yakubchik P. P. *Analiz pogreshnostey pri gidravlicheskome raschyote metallicheskih truboprovodov vodosnabzheniya s ispolzovaniem spravochnykh posobiy F.A. Sheveleva [Error analysis in the hydraulic calculation of metal water supply pipelines using F.A. Shevelev's reference manuals]. //*





Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie [Water purification. Water treatment. Water supply]. 2021. № 2 (158). – P. 50–55.

9. Prodous O. A. Dopustimaya pogreshnost znachiy raschyotnykh parametrov pri gidravlicheskom raschyote truboprovodov iz polimernykh materialov [Permissible error in the values of design parameters in the hydraulic calculation of pipelines made of polymer materials]. // Tekhnologii ochistki vody “TEKHNOVOD-2021” [Water purification Technologies TECHNO-WATERS-2021] : materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sochi, Krasnaya Polyana, December 14-17, 2021. – Novocherkassk, 2021. P. 95–100. – ISBN 978-5-907391-44-4.

10. Prodous O. A. Utochnyonny vid raschyotnoy zavisimosti dlya gidravlicheskogo raschyota iznoshennykh metallicheskih vodoprovodnykh trub s vnutrennimi otlozheniyami [A refined type of calculation dependence for the hydraulic calculation of worn metal water pipes with internal deposits]. // Yakovlevskie chteniya [Yakovlev readings] : sbornik XVI Mezhdunar. nauchno-tekhnich. konferentsii, posvyashchyonnoy pamyati akademika RAN S. V. Yakovleva / Natsional. issled. Moskov. gos. stroit. un-t. Moscow, 2021. – P. 178–193. – ISBN: 978-5-7264-2855-0.

11. Prodous O. A., Yakubchik P. P. Novy podkhod k gidraavlicheskomu raschyotu metsllicheskih truboprovodov vodosnabzheniya s otlozheniyami na ikh vnutrennikh stenkakh [A new approach to the hydraulic calculation of metal water supply pipelines with deposits on their inner walls]. // Inzhenernye sistemy. AVOK severo-zapad [Engineering systems. AVOC North-West]. 2022. № 1. – P. 28–30.

12. Prodous O. A., Shlychkov D. I., Yakubchik P. P., Parkhomenko S. V. Vliyanie tolshchiny sloya vnutrennikh otlozheniy v truboprovodakh sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya na prodolzhitel'nost perioda ikh ostatochnoy ekspluatatsii [Influence of the thickness of the layer of internal sediments in pipelines of water supply and drainage systems on the duration of their residual operation] // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. 2022. – Vol. 17, issue 6. P. 738-746. // DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746.

© О. А. Продоус, П. П. Якубчик, Д. И. Шлычков, С. С. Балашов, 2024

Получено: 28.11.2023 г.