

УДК 628.19

ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМАЯ ТОЛЩИНА СЛОЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА СТЕНКАХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОВОДОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПРЕКРАЩЕНИЯ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Продоус¹ О.А., Якубчик² П.П., Шлычков³ Д.И.¹ Независимый эксперт по водоснабжению и канализации,

190005, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 37/1, лит. А, пом. 1-Н, pro@enco.su

² ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС), 190031, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 9, p.jakub@mail.ru³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, ShlyichkovDI@mgsu.ru

Аннотация. В статье рассмотрен расчет значений предельно-допустимой с гидравлической точки зрения толщины слоя внутренних отложений в металлических трубах инженерных систем, оказывающий влияние на величину значений характеристик их гидравлического потенциала и на величину фактического энергопотребления насосных агрегатов, транспортирующих воду или тепло потребителям. Приведены графики зависимостей, демонстрирующие значительное расхождение величины гидравлического уклона и энергопотребления насосов в новом и изношенном металлических трубопроводах систем водоснабжения и теплоснабжения.

Предмет исследования: определение количественного критерия для оценки предельного состояния металлических трубопроводов инженерных сетей (водоснабжения и теплоснабжения). Таким критерием выступает предельно-допустимая толщина слоя внутренних отложений на стенках металлических трубопроводов, при превышении которой их дальнейшая эксплуатация становится нецелесообразной.

Материалы и методы: В основу методики положены аналитические зависимости для гидравлического расчета трубопроводов, основанные на формулах профессора Ф.А. Шевелева, уточненных авторами с учетом уменьшения живого сечения трубы из-за отложений. Метод включает расчет фактического внутреннего диаметра, скорости потока, гидравлического уклона и энергопотребления насосных агрегатов в зависимости от толщины слоя отложений (δ).

Результаты: На конкретном примере показано, что при толщине отложений стальной трубе гидравлический уклон увеличивается, а энергопотребление насосов повышается по сравнению с новым трубопроводом. Расчетным путем показана предельно-допустимая толщина слоя отложений, после которой эксплуатация становится неэффективной.

Выводы: На основании результатов сделан вывод о необходимости обязательного контроля толщины внутренних отложений для обоснования вывода сетей из эксплуатации. Авторы рекомендуют разработать шкалу предельно-допустимых толщин для всего сортамента труб и внести соответствующие требования в актуализированные версии сводов правил по наружным сетям.

Ключевые слова: водопровод из металлических труб, внутренние отложения, толщина слоя, гидравлический расчет, сравнение результатов.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность рассмотренной в данной статье методики расчета предельно-допустимых значений толщины слоя внутренних отложений на стенках металлических водопроводов инфраструктуры вытекает из выступления Президента РФ В.В. Путина на Совещании с членами Правительства РФ 10 марта 2021 года (Москва, Кремль, 18.30), на котором В.В. Путин призвал уделять проблеме изношенности коммунальных сетей больше внимания, потому что от этого страдают люди. По словам Президента: «..... не будут лишними методические рекомендации», – о которых пойдет речь в данной статье.

Исследованиями гидравлических характеристик металлических водопроводных труб без внутренних покрытий из стали и серого чугуна в середине 50-х годов 20-го века занимался известный ученый в области гидравлики трубопроводов – профессор Ф.А. Шевелев, которым были составлены специальные справочные пособия (более 10-ти изданий), используемые

специалистами проектных организаций для проведения гидравлического расчета водопроводных труб из разных видов материалов. Авторами данной статьи был предложен новый подход к гидравлическому расчету металлических водопроводов с отложениями на внутренних стенках труб за счет уточнения расчетной зависимости профессора Ф.А. Шевелева с учетом изменяющейся во времени толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб [1, 2, 3, 4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Толщина слоя внутренних отложений δ на стенках металлических труб из стали влияет на значение фактического внутреннего диаметра $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, как показано на рис. 1.

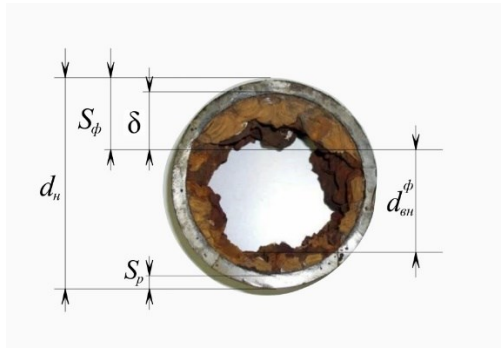


Рис. 1 Внутренние отложения в стальных трубах
Fig. 1 Internal deposits in steel pipes

где:

S_p – толщина стенки трубы по ГОСТ, м;

S_ϕ – фактическая толщина стенки трубы со слоем отложений, м;

δ – фактическая толщина слоя внутренних отложений, м;

d_n – наружный диаметр трубы по ГОСТ, м.

$$d_p = d_n - 2S_p, \text{ м} \quad (1)$$

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

В работах [1, 2, 5] доказано, что толщина слоя внутренних отложений δ_ϕ на стенках стальных и чугунных труб систем водоснабжения и напорной канализации изменяет значения характеристик гидравлического потенциала труб: $d_{вн}^\phi$, V_ϕ , i_ϕ и, как следствие, увеличивает энергопотребление насосных агрегатов, транспортирующих питьевую воду или сточную жидкость.

В сетях теплоснабжения также широко используются стальные трубы, подверженные образованию внутренних отложений в процессе их эксплуатации. Проблема образования слоя отложений в металлических сетях теплоснабжения усугубляется тем, что в них, в отличие от сетей водоснабжения с «холодной» водой ($\sim 10-20^\circ\text{C}$), транспортируется теплоноситель – горячая вода, имеющая среднюю температуру значительно большую, чем в сетях водоснабжения ($\sim 60^\circ\text{C}$).

Процесс образования слоя внутренних отложений в металлических сетях теплоснабжения до настоящего времени окончательно не учтен. Требуется проведение специальных комплексных НИР с участием заинтересованных государственных структур.

Из указанных работ следует, что чем больше значение толщины слоя внутренних отложений δ_ϕ , тем больше изменяются значения: $d_{вн}^\phi$, V_ϕ и i_ϕ . Изменение значения этих характеристик влияет также на величину фактического энергопотребления насосных агрегатов $N_{дв}^\phi$, определяемую по формуле, в которую входят эти характеристики. Формула имеет вид [5]:

$$N_{дв}^\phi = 10^6 \cdot i_\phi (d_{вн}^\phi)^2 \cdot V_\phi \cdot \frac{0,00808}{\eta}, \text{ кВт/ч}, \quad (3)$$

где:

i_ϕ – фактический гидравлический уклон, определяемый по уточненной авторами формуле Ф.А. Шевелева, имеющей вид [2]:

$$i_\phi = 0,00107 \frac{V_\phi^2}{[(d_n - 2S_p) - 2\delta]^{1,3}} \quad (4)$$

V_ϕ – фактическая скорость движения жидкости

$$V_\phi = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{вн}^\phi)^2}, \text{ м/с}; \quad (5)$$

q – заданный расход, л/с ($\text{м}^3/\text{с}$);

η – КПД насосного агрегата. Для расчетов обычно принимают $\eta=0,7$.

Для подтверждения этого, рассмотрим конкретный пример.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

По водопроводу из стальных электросварных труб диаметром $d_n=0,325$ м ($S_p=7,0$ мм ($0,007$ м)) перекачивается расход $q=134$ л/с ($0,134$ $\text{м}^3/\text{с}$). Толщина слоя внутренних отложений $\delta_\phi=25$ мм ($0,025$ м). Определить и сравнить значения характеристик гидравлического потенциала новых и изношенных труб с толщиной слоя отложений $\delta_\phi=25$ мм.

Построить графики зависимостей: $i_\phi = f(\delta_\phi)$ и $N_{дв}^\phi = f(\delta_\phi)$.

Рассчитать для условий задачи значение предельно-допустимой с гидравлической точки зрения толщины слоя внутренних отложений для прекращения дальнейшей эксплуатации изношенного стального водопровода.

Решение

1. Определяют значение фактического внутреннего диаметра изношенных труб $d_{вн}^\phi$ по формуле (2):

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

$$d_{вн}^\phi = (0,325 - 2 \cdot 0,007) - 2 \cdot 0,025 = 0,311 - 0,05 = 0,261 \text{ м.}$$

2. Определяют по формуле (5) фактическую скорость в трубах со слоем отложений $\delta_\phi=25$ мм

$$V_\phi = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{вн}^\phi)^2} = \frac{4 \cdot 0,134}{3,14 \cdot 0,261^2} = \frac{0,536}{0,2139} = 2,51, \text{ м/с.}$$

3. Рассчитывают по формуле (4) значение фактического гидравлического уклона i_ϕ в изношенном водопроводе:

$$i_\phi = 0,00107 \frac{2,51^2}{0,261^{1,3}} = \frac{0,00674}{0,1744} = 0,03865 \text{ мм/м}$$

4. По формуле (3) вычисляют значение фактического энергопотребления насоса, установленного на трубопроводе с заданной толщиной слоя внутренних отложений $\delta_\phi=25$ мм:

$$N_{\text{дв}}^{\Phi} = 10^6 \cdot 0,03865 \cdot 0,261^2 \cdot 2,51 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 76,26 \text{ кВт/ч.}$$

Для анализа значений характеристик новых и изношенных стальных труб, согласно условиям задачи, в таблицу 1 сведены характеристики сравниваемых труб.

Таблица 1. Показатели характеристик новых и изношенных стальных труб.
Table 1. Performance indicators of new and worn-out steel pipes.

Расход, $q, \text{ м}^3/\text{с}$	Новые стальные электросварные трубы				Изношенные стальные трубы				
	$d_{\text{вн}}^{\text{р}}, \text{ м}$	$V_{\text{р}}, \text{ м/с}$	$i_{\text{р}}, \text{ мм/м}$	$N_{\text{дв}}^{\text{р}}, \text{ кВт/ч}$	$\delta, \text{ мм}$	$d_{\text{вн}}^{\Phi}, \text{ м}$	$V_{\Phi}, \text{ м/с}$	$i_{\Phi}, \text{ мм/м}$	$N_{\text{дв}}^{\Phi}, \text{ кВт/ч}$
0,134	0,311	1,76	0,01513	29,72	25	0,261	2,51	0,03865	76,26
Процент расхождения значений, %									
	-----	-----	-----	-----	-----	16,1	29,9	60,9	61,0

Анализ значений характеристик, приведенных в табл. 1 показывает следующее:

- фактический внутренний диаметр труб $d_{\text{вн}}^{\Phi}$ с толщиной слоя отложений $\delta_{\Phi}=25$ мм меньше расчетного $d_{\text{вн}}^{\text{р}}$ в 1,19 раза:

$$d_{\text{вн}}^{\Phi} = 0,261 < d_{\text{вн}}^{\text{р}} = 0,311 \text{ м, в 1,19 раза;}$$

- фактический гидравлический уклон труб с отложениями i_{Φ} больше значения $i_{\text{р}}$ для новых труб:

$$i_{\Phi} = 0,03865 > i_{\text{р}} \text{ мм/м} = 0,01513 \text{ мм/м, в 2,6 раза;}$$

- фактическое энергопотребление насосного агрегата $N_{\text{дв}}^{\Phi}$ больше значения $N_{\text{дв}}^{\text{р}}$ для новых труб:

$$N_{\text{дв}}^{\Phi} = 76,27 \text{ кВт/ч} > N_{\text{дв}}^{\text{р}} = 29,72 \text{ кВт/ч, в 2,57 раза.}$$

Это также подтверждает вывод о том, что необходимо при гидравлическом расчете металлических труб с внутренними отложениями всегда учитывать фактическую толщину слоя отложений δ_{Φ} , входящую в расчетные формулы для определения значений фактических характеристик гидравлического потенциала труб с внутренними отложениями.

Подтвердим сказанное графиками зависимостей $i_{\Phi} = f(\delta_{\Phi})$ и $N_{\text{дв}}^{\Phi} = f(\delta_{\Phi})$ (рис. 2 и 3), построенными по данным табл. 2 для разной толщины слоя отложений δ_{Φ} .

Таблица 2. Расчетные характеристики труб
Table 2. Design characteristics of pipes

Заданный расход $q, \text{ м}^3/\text{с}$	Толщина слоя отложений, $\delta_{\Phi}, \text{ мм}$	Характеристики гидравлического потенциала труб			
		$d_{\text{вн}}^{\Phi}, \text{ м}$	$V_{\Phi}, \text{ м/с}$	$i_{\Phi}, \text{ мм/м}$	$N_{\text{дв}}^{\Phi}, \text{ кВт/ч}$
0,134	0	0,311	1,76	0,01513	29,72
	5	0,301	1,88	0,01801	35,40
	10	0,291	2,02	0,02175	42,93
	15	0,281	2,16	0,02599	51,15
	20	0,271	2,32	0,03144	61,82
	25	0,261	2,51	0,03865	76,27

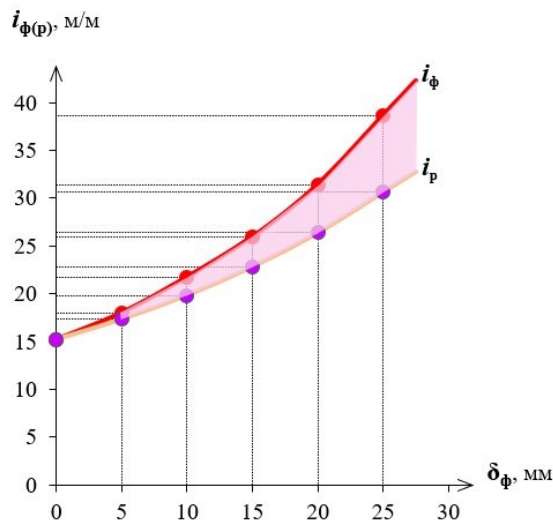


Рис. 2. График зависимости $i_{\Phi} = f(\delta_{\Phi})$
Fig. 2. Dependency graph $i_{ac} = f(\delta_{ac})$

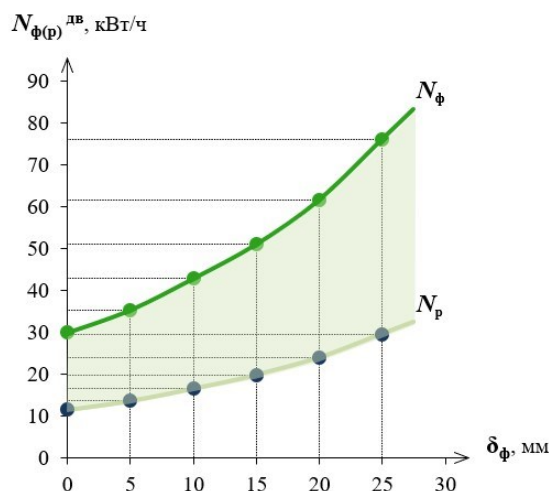


Рис. 3. График зависимости $N_{\text{дв}}^{\Phi} = f(\delta_{\Phi})$
Fig. 3. Dependency graph $N_{\text{дв}}^{\text{ac}} = f(\delta_{ac})$

Поясним далее физический смысл понятия предельно-допустимое значение конкретной характеристики труб, например, толщина слоя внутренних отложений δ_{ϕ} .

Под предельно-допустимым значением этой характеристики следует понимать такое размерное значение толщины слоя δ_{ϕ} , превышение которого приводит к изменению значений фактических характеристик гидравлического потенциала труб: $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} и i_{ϕ} [6]. Поэтому следует подобрать с помощью расчетных зависимостей (1–5) такое значение δ_{ϕ} , при котором значения $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} и i_{ϕ} резко не увеличивают значения характеристик i_{ϕ} и $N_{\text{дв}}^{\phi}$ (рис. 2, 3).

Методика расчета (см. рис. 1, 2, 3) базируется на использовании общепринятого в отрасли – экспертного мнения специалистов, эксплуатирующих напорные трубопроводы систем водоснабжения, напорной канализации и теплоснабжения из стальных труб. Принято считать, что при образовании слоя внутренних отложений δ_{ϕ} , фактический внутренний диаметр изношенных труб $d_{\text{вн}}^{\phi}$ не может уменьшиться за счет наличия этого слоя на величину, превышающую 5 % от значения их расчетного внутреннего диаметра по ГОСТ [7]:

$$d_{\text{вн}}^{\phi} \leq 0,95 d_{\text{вн}}^{\text{р}}, \text{ м.} \quad (6)$$

Для условий задачи:

$$d_{\text{вн}}^{\phi} = 0,95 \cdot 0,316 = 0,295 \text{ м}$$

$d_{\text{вн}}^{\phi} = 0,295 \text{ м} < d_{\text{вн}}^{\text{р}} = 0,311 \text{ м}$ на 5,0 % или в 1,05 раза.

Тогда, предельно-допустимое значение толщины слоя внутренних отложений $\delta_{\text{доп}}^{\text{пред}}$ для приведенного примера будет вычисляться, как разница между значениями расчетного $d_{\text{вн}}^{\text{р}}$ и фактического $d_{\text{вн}}^{\phi}$ внутреннего диаметра труб по формуле:

$$\delta_{\text{доп}}^{\text{пред}} = d_{\text{вн}}^{\text{р}} - d_{\text{вн}}^{\phi}, \text{ м} \quad (7)$$

$$\delta_{\text{доп}}^{\text{пред}} = 0,311 \text{ м} - 0,295 \text{ м} = 0,016 \text{ м} = 16,0 \text{ мм.}$$

Что также означает следующее: эффективность эксплуатации металлических инженерных сетей с внутренними отложениями на стенках труб должна оцениваться каким-то гидравлическим критерием, по которому будет производиться количественная (экспертная) оценка эффективности эксплуатации металлических водопроводных сетей и сетей теплоснабжения на основании разработанной авторами специальной методики оценки продолжительности периода остаточной эксплуатации напорных металлических водопроводных и канализационных сетей с внутренними отложениями, опубликованной в работе [6, 7, 8].

Разработанная методика предусматривает проводить такую оценку по величине гидравлического (безразмерного) коэффициента эффективности эксплуатации труб с отложениями, определяемого по следующей формуле [7]:

$$K_{\text{эф}} = \frac{N_{\text{дв}}^{\text{р}}}{N_{\text{дв}}^{\phi}} = \frac{(d_{\text{вн}}^{\text{р}})^2 \cdot V_{\text{р}} \cdot i_{\text{р}}}{(d_{\text{вн}}^{\phi})^2 \cdot V_{\phi} \cdot i_{\phi}} \quad (8)$$

где:

$N_{\text{дв}}^{\text{р}}$ – расчетное энергопотребление насосного агрегата, кВт/ч, (формула (2));

$N_{\text{дв}}^{\phi}$ – фактическое энергопотребление насосного агрегата, кВт/ч, (формула (2));

$d_{\text{вн}}^{\text{р}}$, $V_{\text{р}}$, $i_{\text{р}}$ – характеристики гидравлического потенциала новых стальных или чугунных труб из серого чугуна. Определяются по формулам (1), (5) и (4).

$d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} , i_{ϕ} – тоже для изношенных труб с толщиной слоя δ_{ϕ} . Определяются также по формулам (1), (5), (4), с учетом δ_{ϕ} .

С учетом экспертного мнения специалистов, эксплуатирующих металлические инженерные сети с внутренними отложениями, авторами разработана специальная таблица для количественной оценки эффективности эксплуатации металлических сетей по значению коэффициента $K_{\text{эф}}$.

Таблица имеет вид:

Таблица 3. Таблица значений $K_{\text{эф}}$
Table 3. Table of K_{ef} values

Период продолжительности остаточной эксплуатации трубопроводов, $T_{\text{ост.}}$, лет	Значение величины $K_{\text{эф}}$		
	$0,9 \leq K_{\text{эф}}^{\text{доп}} \leq 1$	$0,80 \leq K_{\text{эф}} \leq 0,90$	$K_{\text{эф}} \leq 0,80$

ВЫВОДЫ

На основании вышеизложенного можно сделать следующие **выводы**.

Требуется:

- Разработать шкалу предельно-допустимой толщины слоя внутренних отложений $\delta_{\text{доп}}^{\text{пр}}$ для труб из стали и серого чугуна для всего сортамента по ГОСТ.
- Рекомендовать и внести в п. 11, 45 СП 31.13330-2021 требование обязательного контроля значения фактической толщины слоя отложений $\delta_{\text{ф}}$ для обоснования прекращения дальнейшей эксплуатации сетей по фактическому значению коэффициента эффективности их работы при $K_{\text{эф}}^{\text{ф}} < K_{\text{эф}}^{\text{доп}}$.
- В приведенном примере допустимое значение $K_{\text{эф}}^{\text{доп}} = 0,53 < K_{\text{эф}} = 0,8$ (экспертное, рекомендованное значение). Поэтому трубопровод с толщиной слоя отложений $\delta_{\text{ф}} = 25$ мм **не может продолжать дальнейшую эксплуатацию**, так как $\delta_{\text{ф}} = 25 \text{ мм} > \delta_{\text{доп}}^{\text{пред}} = 16 \text{ мм}$. Его необходимо выводить из эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. // М.: ООО «Издательский Дом «Бастет». 2020. – 428 с.
2. 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 I-е издание 2021. // Издательство ООО «Перо», Санкт-Петербург – Москва. 2021. – 238 с. ил.
3. Продоус О.А., Якубчик П.П., Смолин Е.С. Сравнительный анализ зарубежной и отечественной расчетных зависимостей для гидравлического расчета металлических водопроводных труб с внутренними отложениями. // Журнал «Водоснабжение и санитарная техника». 2023. N 1. – С. 56-60. // DOI:10/35776/VST/2023.01.08
4. Продоус О.А., Якубчик П.П. Новый подход к гидравлическому расчету металлических трубопроводов водоснабжения с отложениями на внутренних стенках. // Журнал «Инженерные системы АВОК Северо-Запад». № 1. 2022. – С. 28-30.
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. // Журнал «Сантехника, отопление, кондиционирование». № 05 (245)/2022. – С. 28-30.
6. 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. // Научно-технический журнал по строительству и архитектуре «Вестник МГСУ», Том 17, выпуск 6/2022. – С. 738-746. // DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746
7. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Гидравлический расчет сетей водоотведения с внутренними отложениями. Монография. // Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Москва. 2022. – 120 с. ил.
8. Абрамов Н.Н. Расчет водопроводных сетей. // М.: «Стройиздат», 1976. 304с.
9. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. // М.: Наука. 1978. – 400 с.
10. Койда Н.У. и др. Вариационные методы гидравлического расчета трубопроводов. // Минск. Высшая школа. 1968. – 36 с.
11. Гальперин Расчет кольцевой водопроводной сети с учетом действительных условий. // Водоснабжение и санитарная техника. 1992. № 5. – С. 26-27.
12. Григоровский Е.П., Койда Н.У. Автоматизация расчета многоконтурных сетевых систем. // Киев. Высшая школа. 1977. – 192 с.
13. Джонс Дж. Методы проектирования. // М.: Мир. 1986. – 326 с.
14. Дмитриев А.В., Кетаев А.Б. Городские инженерные сети. // М.: Стройиздат. 1988. – 175 с.
15. Зайцев И.Д., Вайнер В.С. К вопросу оптимизации трубопроводных сетей на стадии проектирования. // Экономика и математические методы. 1979. Т. 15. – С. 171-176.
16. Ильин Ю.А. Вопросы надежности магистральных трубопроводов. // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1976. № 1. – С. 122-124.
17. Калицун В.И., Ласков Ю.М. Гидравлика, водоснабжение и канализация: учебник для вузов. М.: Стройиздат. 2000. – 417 с.
18. Кикачейшвили Г.Е. Расчет оптимальных параметров систем подачи и распределения воды. // Тбилиси: Сабчота Сакартвело. 1980. – 199 с. ил.
19. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей / Москва : Наука, 1985. – 278 с.
20. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. // М.: Стройиздат. 1995. – 688 с.
21. Оводов В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. М.: Колос. 1984. – 480 с.
22. Абрамов Н.Н. и др. Расчет водопроводных сетей. // М.: Стройиздат. 1983. – 278 с.
23. СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Госстрой СССР. М.: Стройиздат. 1985. – 136 с.
24. Мошнин Л.Ф. Современные методы расчета систем подачи и распределения воды. // Водоснабжение и санитарная техника. 1984. № 10. – С. 7-10.
25. Сумароков С.В. Математическое моделирование систем водоснабжения. Новосибирск: Наука. 1983. – 167 с.

26. Теплов А.В. Расчет железнодорожной водопроводной сети. М.: Трансжелдориздат. 1946. – 127 с.

27. Хасилев В.Я. Элементы теории гидравлических цепей. // Известия АН СССР, Энергетика и транспорт. 1964. № 1. – С. 69-88.

28. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М.: Недра. 1975. – 296 с.

29. Чупин В.Р., Мелехов Е.С., Чупин Р.В. Моделирование и оптимизация трубопроводных систем коммунального хозяйства. // Вестник Ир ГТУ. 2008. – С. 15-24

30. Kloss H., Roman M. Ogolne problemy niezawodnosci systemow wodociagowych. // Gaz Woda i Technika Sanitarna, 2008. № 9. – p. 34-51.

REFERENCES

1. Shevelev F.A., Shevelev A.F. Tables for hydraulic calculation of water pipes. Reference manual. / Moscow: Bastet Publishing House, LLC. 2020. – 428 p.

2. Prodous O.A., Shipilov A.A., Yakubchik P.P. Tables for the hydraulic calculation of water pipes made of steel and cast iron with internal deposits. Reference manual, I-th edition, 2021. // Publishing house LLC "Pero", St. Petersburg – Moscow. 2021. – 238 p. ill.

3. Prodous O.A. Yakubchik P.P. Smolin E.S. Comparative analysis of foreign and domestic calculation dependencies for hydraulic calculation of metal water pipes with internal deposits. // The magazine "Water supply and sanitary equipment". 2023. N 1. – pp. 56-60. // DOI:10/35776/VST/2023.01.08

4. Prodous O.A., Yakubchik P.P. A new approach to the hydraulic calculation of metal water supply pipelines with deposits on the inner walls. // AVOK North-West Engineering Systems Journal, No. 1. 2022, pp. 28-30.

5. Prodous O.A. Yakubchik P.P. Shlychkov D.I. Dependence of energy consumption of pumping units of pressure collectors of drainage on the thickness of the sediment layer on the inner surface of pipes. // The magazine "Plumbing, heating, air conditioning". No. 05 (245)/2022. – pp. 28-30.

6. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Yakubchik P.P., Parkhomenko S.V. Influence of the thickness of the layer of internal sediments in pipelines of water supply and sanitation systems on the duration of their residual operation. // Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture "Bulletin of MGSU", Volume 17, issue 6/2022. – pp. 738-746. // DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746

7. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Hydraulic calculation of drainage networks with internal deposits. The monograph. // Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU). Moscow. 2022. 120 p. ill.

8. Abramov N.N. Calculation of water supply networks. / Moscow: Stroyizdat, 1976. 304s.

9. Buslenko N.P. Modeling of complex systems. // M.: Science. 1978. – 400 p.

10. Koida N.U. et al. Variational methods of hydraulic calculation of pipelines. // Minsk. Higher school. 1968. – 36 p.

11. Galperin Calculation of the ring water supply network, taking into account the actual conditions. // Water supply and sanitary equipment. 1992. No. 5. pp. 26-27.

12. Grigorovskiy E.P., Koida N.U. Automation of calculation of multi-circuit network systems. // Kiev. Higher school. 1977. 192 p.

13. Jones J. Design methods. // M.: Mir. 1986. – 326 p.

14. Dmitriev A.V., Ketaev A.B. Urban engineering networks. // M.: Stroyizdat. 1988. 175 p.

15. Zaitsev I.D., Vayner V.S. On the issue of optimization of pipeline networks at the design stage. // Economics and mathematical methods. 1979. Vol. 15. pp. 171-176.

16. Ilyin Yu.A. Issues of reliability of main pipelines. // News of the USSR Academy of Sciences. Power engineering and transport. 1976. No. 1. pp. 122-124.

17. Kalitsun V.I., Laskov Yu.M. Hydraulics, water supply and sewerage: textbook for universities. Moscow: Stroyizdat. 2000. – 417 p.

18. Kikachishvili G.E. Calculation of optimal parameters of water supply and distribution systems. // Tbilisi: Sabchota Sakartvelo. 1980. - 199 p. ill.

19. Merenkov A.P., Khasilev V.Ya. Theory of hydraulic circuits / Moscow : Nauka, 1985. – 278 p.

20. Nikoladze G.I., Somov M.A. Water supply. // M.: Stroyizdat. 1995. – 688 p.

21. Ovodov V.S. Agricultural water supply and irrigation. Moscow: Kolos. 1984. – 480 p.

22. Abramov N.N. et al. Calculation of water supply networks. // M.: Stroyizdat. 1983. – 278 p.

23. SNiP 2.04.02-84 "Water supply. Outdoor networks and facilities". Gosstroy of the USSR. Moscow: Stroyizdat. 1985. – 136 p.

24. Moshnin L.F. Modern methods of calculating water supply and distribution systems. // Water supply and sanitary equipment. 1984. No. 10. pp. 7-10.

25. Sumarokov S.V. Mathematical modeling of water supply systems. Novosibirsk: Nauka Publ. 1983. – 167 p.

26. Teplov A.V. Calculation of the railway water supply network. Moscow: Transzhelznodorizdat. 1946. 127 p.

27. Khasilev V.Ya. Elements of the theory of hydraulic circuits. // Izvestiya AN SSSR, Energetika i transport. 1964. № 1. – pp. 69-88.

28. Charny I.A. Unsteady movement of real liquid in pipes. Moscow: Nedra. 1975. 296 p.

29. Chupin V.R., Melekhov E.S., Chupin R.V. Modeling and optimization of pipeline systems of public utilities. // Bulletin of Ir GTU. 2008. – pp. 15-24

30. Kloss H., Roman M. Ogolne problem niezawodnosci systemow wodociagowych. // Gaz Woda i Technika Sanitarna, 2008. № 9. – P. 34-51.

THE MAXIMUM ALLOWABLE THICKNESS OF THE SEDIMENT LAYER ON THE WALLS OF METAL WATER PIPES OF INFRASTRUCTURE ENGINEERING NETWORKS TO STOP THEIR FURTHER OPERATION

Prodous¹ O.A., Yakubchik² P.P., Shlychkov³ D.I.

¹ Independent Expert on Water Supply and Sewerage, 37/1 Moskovsky Ave., lit., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation.
Ah, room 1-N, pro@enco.su

² St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I (PGUPS), 9 Moskovsky Prospekt, Saint Petersburg, 190031, Russian Federation, p.jakub@mail.ru

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, ShlychkovDI@mgsu.ru

Abstract. A specific example shows the calculation of the maximum allowable thickness of the layer of internal sediments in metal pipes of engineering systems from a hydraulic point of view, which affects the values of the characteristics of their hydraulic potential and the actual energy consumption of pumping units transporting water or heat to consumers. Graphs of dependencies are presented, demonstrating a significant discrepancy between the magnitude of the hydraulic slope and the energy consumption of pumps in new and worn-out metal pipelines of water supply and heat supply systems.

The subject of the study is the definition of a quantitative criterion for assessing the limiting condition of metal pipelines of engineering networks (water supply and heat supply). Such a criterion is the maximum allowable thickness of the layer of internal deposits on the walls of metal pipelines, if exceeded, their further operation becomes impractical.

Materials and methods: The methodology is based on analytical dependencies for the hydraulic calculation of pipelines based on the formulas of Professor F.A. Shevelev, clarified by the authors taking into account the reduction in the live section of the pipe due to deposits. The method includes the calculation of the actual internal diameter, flow velocity, hydraulic slope and energy consumption of pumping units depending on the thickness of the sediment layer (δ).

Results: A concrete example shows that with the thickness of deposits in a steel pipe, the hydraulic slope increases, and the energy consumption of pumps increases compared to a new pipeline. The maximum allowable thickness of the sediment layer is calculated, after which operation becomes ineffective.

Conclusions: Based on the results, it is concluded that it is necessary to monitor the thickness of internal deposits to justify the decommissioning of networks. The authors recommend developing a scale of maximum allowable thicknesses for the entire range of pipes and making appropriate requirements in updated versions of codes of rules for outdoor networks.

Key words: plumbing from metal pipes, internal deposits, layer thickness, hydraulic calculation, comparison of results.