

О ВЛИЯНИИ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ВНУТРЕННИХ ОТЛОЖЕНИЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОВОДАХ НА ВЕЛИЧИНУ ФАКТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НАПОРА В ТРУБАХ

О. А. Продоус, независимый эксперт по водоснабжению и канализации, г. Санкт-Петербург

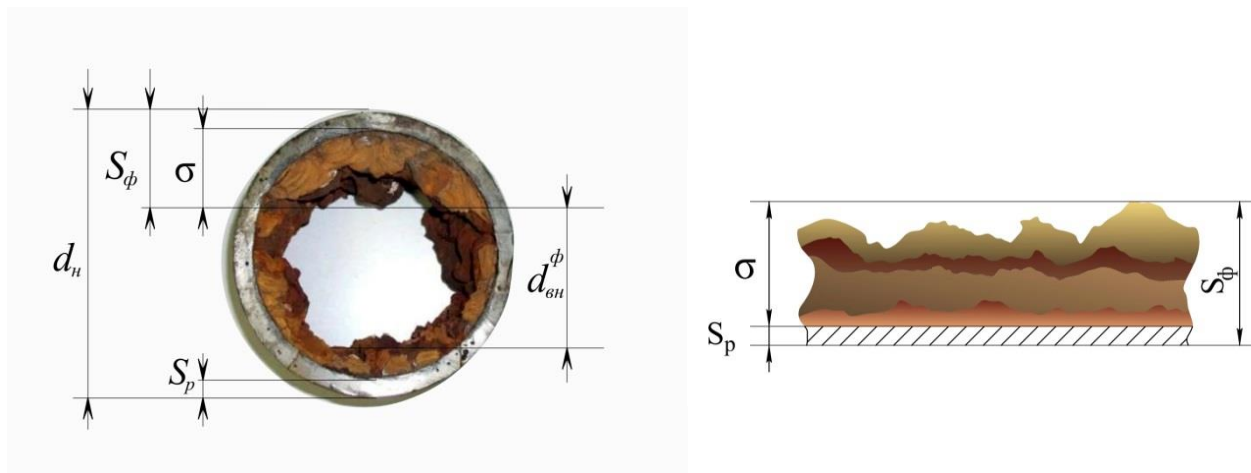
П. П. Якубчик, профессор кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС), г. Санкт-Петербург

С. С. Балашов, аспирант кафедры «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС), г. Санкт-Петербург

Доказано на конкретном примере влияние разной толщины слоя внутренних отложений на значения характеристик гидравлического потенциала труб, влияющих на величину потерь напора по длине. Рекомендовано использовать специальное справочное пособие для гидравлического расчета водопроводных труб, в котором учитывается колебание толщины слоя отложений в трубах.

Проблема изменения значений гидравлических характеристик металлических труб с внутренними отложениями будет актуальна до тех пор, пока в России в напорных сетях водоснабжения и водоотведения будут использоваться трубы из стали и серого чугуна, подверженные в процессе эксплуатации образованию на их внутренних стенках отложений, как показано на рис. 1.

а)



б)

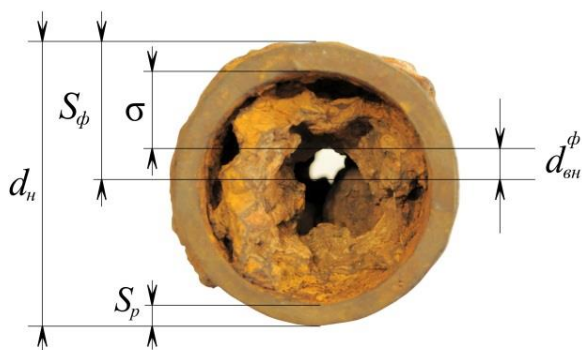


Рис. 1. Внутренние отложения на стенках: а) водопроводных труб, б) канализационных труб

Механизм и природа образования внутренних отложений в водопроводных и канализационных сетях описаны в работах [3, 4]. Приведенные на рис. 1 фрагменты внутренних отложений в сетях водоснабжения и водоотведения подтверждают изменение значений их гидравлических характеристик, объединяемых понятием гидравлический потенциал труб. Это оценочный эксплуатационный критерий, характеризуемый совокупностью численных значений расхода q (скорости V) при заданном давлении PN и потерь напора на трение по длине i для труб конкретного диаметра и вида материала. То есть гидравлический потенциал труб это совокупность численных значений: внутреннего диаметра труб $d_{вн}^ф$, $V_ф$ и $i_ф$, которые характеризуют трубопровод (сеть) с гидравлической точки зрения. Чем больше фактическая толщина слоя внутренних отложений $\sigma_ф$, тем больше фактическая скорость $V_ф$ и тем больше значение фактических потерь напора на сопротивление по длине трубопровода.

Приведем на конкретном примере изменение значений характеристик гидравлического потенциала чугунных водопроводных труб, работающих под давлением $PN = 10 \text{ кг/см}^2$ (1,0 Мпа).

Условие задачи

Сравнить численные значения характеристик гидравлического потенциала новых чугунных водопроводных труб диаметром 300 мм, изменяющихся при разной толщине слоя отложений на внутренней поверхности труб в диапазоне значений $\sigma_ф = 0 \div 20$ мм. Транспортируемый расход $q = 90$ л/с ($0,09 \text{ м}^3/\text{с}$). Построить для сравнения графики зависимости $i_ф = f(\sigma_ф)$ при изменении значений $\sigma_ф$ в указанном диапазоне: $q = 90 \text{ м}^3/\text{с}$.

Решение

Для вычисления значений i_ϕ при разной толщине слоя внутренних отложений σ_ϕ используем Справочные пособия [1, 2].

Полученные данные для сравнения сведем в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики гидравлического потенциала сравниваемых труб

Новых, табл. Ф. А. Шевелева			Труб с заданной толщиной слоя отложений, табл. О. А. Продоуса		
$d_{\text{вн}}^p$, мм	V_p , м/с	$1000 i_p$, м/м	$d_{\text{вн}}^\phi$ *, мм	V_ϕ , м/с	$1000 i_\phi$, м/м
0,304	1,24	7,08	0,264	1,64	15,69

$$* d_{\text{вн}}^\phi = (d_n - 2S_p) - 2\sigma_\phi, \text{ рис. 1.}$$

Таблица 2.

Гидравлический уклон i_p при разной скорости движения V_p

V_p , м/с	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
i_p *, м/м	0,00125	0,005023	0,01130	0,02009	0,03139	0,04520

* Расчет по формуле (1).

Из таблицы следует, что расхождение значений гидравлических характеристик новых труб и труб с толщиной слоя отложений $\sigma_\phi = 20$ мм составляет:

- по фактическому внутреннему диаметру:

$$d_{\text{вн}}^\phi = 0,264 \text{ м} < d_{\text{вн}}^p = 0,304 \text{ м на } 13,16\%, \text{ или в } 1,15 \text{ раза};$$

- по фактической скорости в трубах:

$$V_\phi = 1,64 \text{ м/с} > V_p = 1,24 \text{ м/с на } 24,39\%, \text{ или в } 1,34 \text{ раза};$$

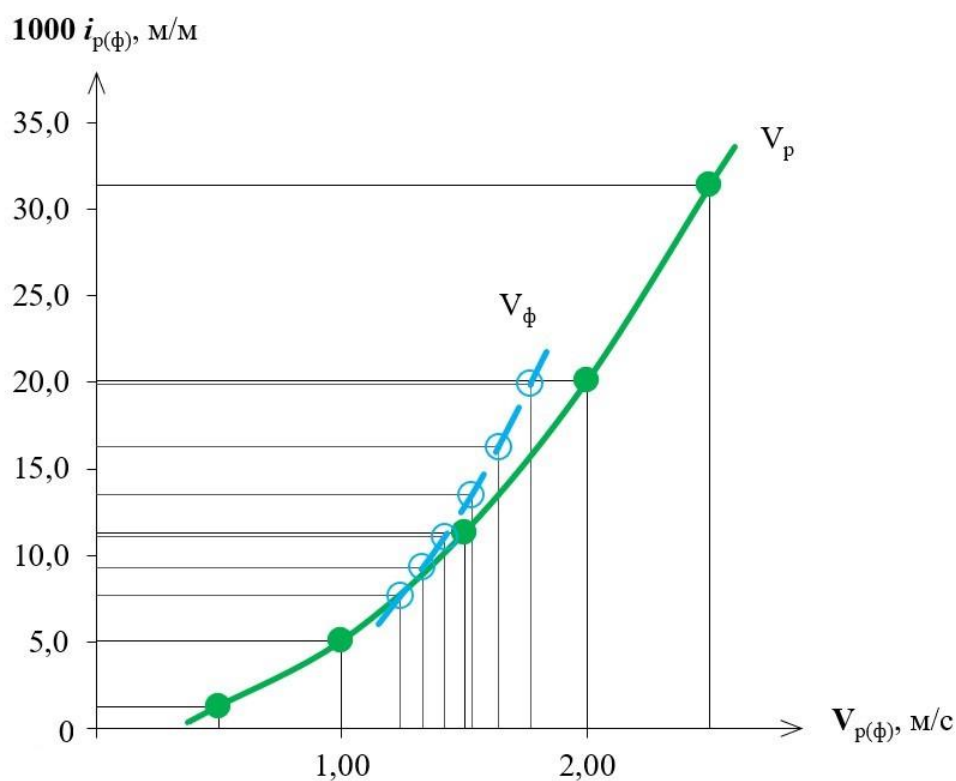
- по удельным потерям напора (удельному гидравлическому уклону — потерям напора на длине трубы в 1 м):

$$1000 i_\phi = 15,69 \text{ м/м} > 100 i_p = 7,68 \text{ м/м на } 51,05\%, \text{ или в } 2,04 \text{ раза.}$$

Для подтверждения результатов сравнения новых чугунных труб и труб с толщиной слоя отложений $\sigma_\phi = 20$ мм на рис. 2 по данным табл. 2 и 3 построены графики зависимостей: $i_p = f(V_p)$ и $i_\phi = f(V_\phi)$ для диапазона скоростей в диапазоне значений $V_p = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0$ м/с и разной толщине слоя отложений: $\sigma_\phi = 0,5; 10; 15; 20; 25$ мм.

Таблица 3

Толщина слоя отложений σ_ϕ , мм	Значения характеристик гидравлического потенциала труб диаметром $d_{\text{вн}} = 304,4$ мм		
	$d_{\text{вн}}^\phi$, м	V_ϕ , м/с	$1000 i_\phi^*$, м/м
0	0,304	1,24	7,68
5	0,294	1,33	9,30
10	0,284	1,42	11,08
15	0,274	1,53	13,48
20	0,264	1,64	16,26
25	0,254	1,77	19,91

Рис. 2. Графики зависимостей $i_p = f(V_p)$ и $i_\phi = f(V_\phi)$

Графики, приведенные на рис. 2, свидетельствуют о том, что чем больше значение фактической средней скорости потока воды V_ϕ , тем больше значение фактического гидравлического уклона i_ϕ , зависящего от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб σ_ϕ .

Аналогичная ситуация также имеет место в напорных сетях водоотведения из металлических труб с внутренними отложениями. В работе [5] доказано, что значение

фактического гидравлического уклона i_ϕ зависит от толщины слоя внутренних отложений σ_ϕ .

Таким образом, результаты сравнения значений характеристик гидравлического потенциала труб для приведенного примера позволяют сделать следующие выводы:

- фактическая толщина слоя внутренних отложений σ_ϕ в напорных металлических сетях водоснабжения и водоотведения оказывает влияние на численные значения фактического внутреннего диаметра труб $d_{вн}^\phi$ на фактическую скорость движения жидкости V_ϕ и на значение фактического гидравлического уклона i_ϕ . Чем больше значение σ_ϕ , тем больше изменение значений: $d_{вн}^\phi$, V_ϕ и i_ϕ . Графики на рис. 2 и 3 подтверждают это заключение.

График зависимости $1000 i_\phi = f(\sigma_\phi)$, на рис. 3, построен по данным табл. 2.

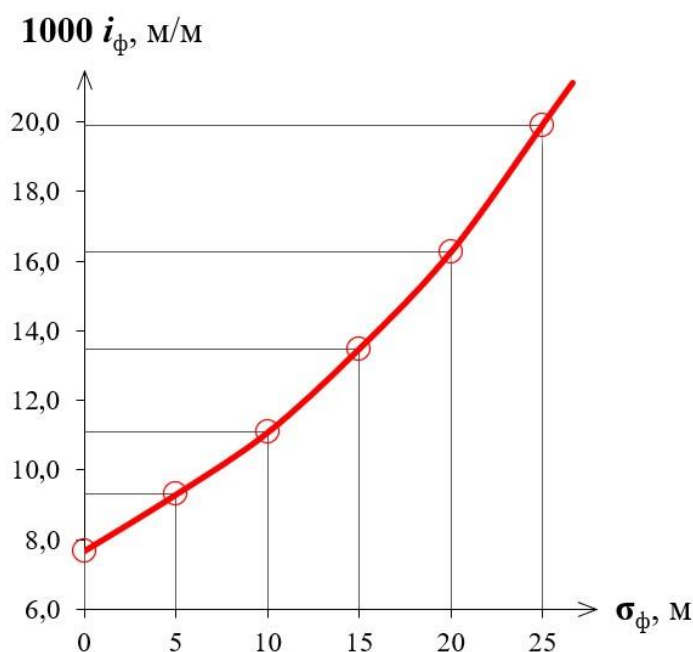


Рис. 3. График зависимости $1000 i_\phi = f(\sigma_\phi)$

- использование расчетных данных из Справочного пособия Ф. А. Шевелева и А. Ф. Шевелева [1] приводит к большим погрешностям при гидравлическом расчете металлических труб с внутренними отложениями, так как его авторы не проводили гидравлических исследований труб с толщиной слоя внутренних отложений, превышающего значение $\sigma_\phi \geq 1,0$ мм;
- для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями с толщиной слоя σ_ϕ до 30 мм включительно целесообразно использовать уточненное Справочное пособие Продоуса О. А., Шипилова А. А., Якубчика П. П. [2];

- повысить точность гидравлического расчета металлических водопроводных труб с внутренними отложениями возможно лишь за счет учета фактической толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб σ_{ϕ} , входящей в уточненную авторами расчетную зависимость (1) Ф. А. Шевелева и А. Ф. Шевелева для гидравлического расчета неновых металлических водопроводных труб [1, 2];
- следствием неверного расчета значений характеристик гидравлического потенциала металлических труб с внутренними отложениями с погрешностями, вызванными неучетом фактической толщины слоя отложений на стенках труб, является также неправильный выбор марки насоса, обеспечивающего подачу воды потребителям в наиболее удаленные точки сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб // Изд. ООО «Издательский Дом «Бастет». Москва. 2020. — 248 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. 1-е издание // Изд. ООО «Перо», Санкт-Петербург — Москва. 2021. — 238 с. ил.
3. Продоус О. А., Шлычков Д. И. Гидравлический расчет сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями // Монография. Издательство НИУ МГСУ. Москва. 2022. — 120 с. ил.
4. Продоус О. А., Шлычков Д. И. Механизм образования слоя отложений в лотковой части труб самотечных сетей водоотведения // Известия высших учебных заведений. «Строительство». № 6 (50). 2021. — С. 95–100.
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 С.О.К. «Сантехника. Отопление. Кондиционирование». № 5 (245). 2022. — С. 28–30.