

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕНОВЫХ СТАЛЬНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ В СПРАВОЧНЫХ ПОСОБИЯХ Ф. А. ШЕВЕЛЕВА

О. А. Продоус, генеральный директор ООО «ИНКО-эксперт»

П. П. Якубчик, профессор кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ФГБОУ ВО ПГУПС Императора Александра I

Л. Д. Терехов, профессор кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ФГБОУ ВО ПГУПС Императора Александра I

Для стального ненового трубопровода водоснабжения диаметром 219 мм проведено сравнение табличных характеристик труб по справочным пособиям Ф. А. Шевелева с их фактическими значениями. Показано влияние толщины фактического слоя внутренних отложений на величину потерь напора по длине. Обоснована недопустимость использования справочных пособий Ф. А. Шевелева для гидравлического расчета стальных труб при толщине фактического слоя внутренних отложений, превышающей значение 1,0 мм. Для конкретных условий проведено сравнение энергозатрат насосного агрегата по табличным и фактическим значениям величины потерь напора.

Ключевые слова: стальные трубы, внутренние отложения, гидравлический расчет, энергозатраты насоса.

Необходимость проведения анализа табличных и фактических значений характеристик гидравлического потенциала неновых стальных труб ($d_{\text{вн}}^{\text{таб}(\phi)}$, $V_{\text{таб}(\phi)}$, $i_{\text{таб}(\phi)}$) продиктована следующими причинами:

- изменением во времени толщины фактического слоя внутренних отложений на стенках стальных труб $\Delta_{\text{таб}}$ в процессе их эксплуатации;
- зависимостью величины потерь напора i_{ϕ} от толщины фактического слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} [1, 2];
- большим процентом расхождения значений величины фактических энергозатрат насосного агрегата от табличных, расчетных, с использованием справочных пособий Ф. А. Шевелева.

Рассмотрим перечисленные причины более подробно.

На рис. 1 приведен фрагмент внутренних отложений на стенках неновых стальных труб.

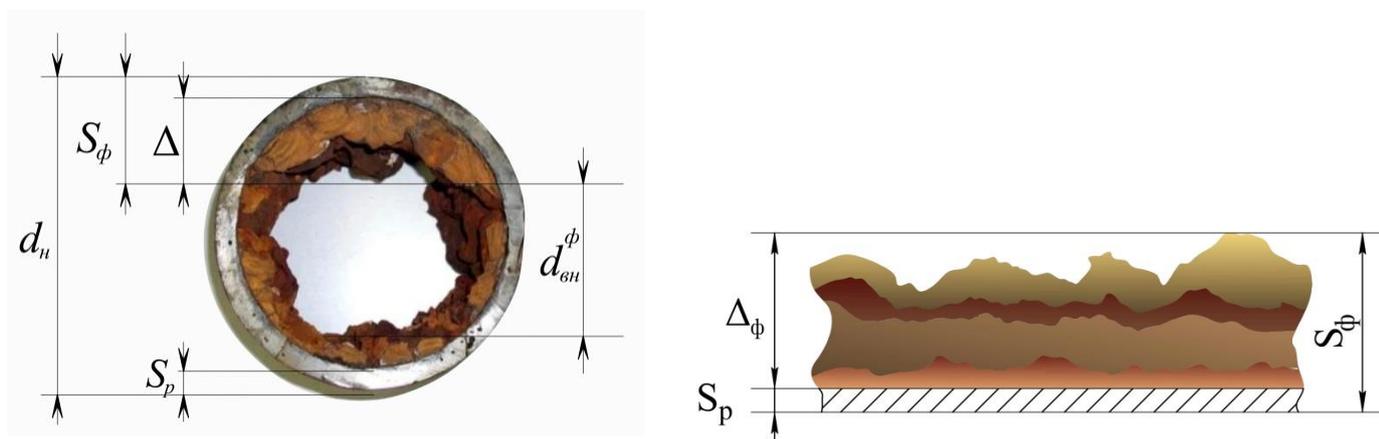


Рис. 1. Фрагмент внутренних отложений на стенках стальных электросварных труб:

d_n — наружный диаметр труб по ГОСТ 10704-91, мм;

S_p — толщина стенки трубы по сортаменту, мм;

S_ϕ — фактическая толщина стенки трубы с отложениями, мм;

Δ_ϕ — фактическая толщина слоя отложений, мм;

$d_{вн}^\phi$ — фактический внутренний диаметр труб с отложениями, мм

Значение фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_ϕ определяется по формуле (1) как разность значений S_ϕ и S_p :

$$\Delta_\phi = S_\phi - S_p. (1)$$

Соответственно, при изменении значений Δ_ϕ также изменятся значения фактического внутреннего диаметра труб $d_{вн}^\phi$ средних фактических скоростей потока $V_{ср}^\phi$ и, как следствие, значения фактических потерь напора i_ϕ и энергозатраты насосного агрегата $N_{дв}^\phi$.

Значения $V_{ср}^\phi$ определяются по формуле (2), имеющей вид [2]:

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

где: q — заданный расход, м³/с;

$d_{вн}^\phi$ — фактический внутренний диаметр труб с учетом величины фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_ϕ , м (рис. 1).

Значение $d_{вн}^\phi$ определяется с учетом формул (1–2):

$$d_{вн}^\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot V_{ср}^\phi}}, \text{ м} (3)$$

$$d_{\text{вн}}^{\text{в}} = (d_{\text{н}} - 2 \cdot S_{\text{р}}) - 2 \cdot \Delta_{\text{ф}}, \text{ м. (4)}$$

Расчет значений фактических потерь напора на сопротивление по длине $i_{\text{ф}}$ производится по эмпирической формуле Ф. А. Шевелева (5), но с учетом полученных значений $V_{\text{ср}}^{\text{ф}}$ и $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$, рассчитанных по формулам (2), (3), (4) [1]:

$$i_{\text{ф}} = 0,00107 \frac{(V_{\text{ср}}^{\text{ф}})^2}{(d_{\text{вн}}^{\text{ф}})^{1,3}}, \text{ м/м при } V_{\text{ф}} \geq 1,2, \text{ м/с. (5)}$$

Определим на конкретном примере процент расхождения значений характеристик при гидравлическом расчете трубопровода и рассчитаем энергозатраты насосного агрегата при табличных $i_{\text{таб}}$ и фактических значениях величины потерь напора $i_{\text{ф}}$.

Условия задачи

По неновому стальному трубопроводу из стальных электросварных труб по ГОСТ 10704-91 с наружным диаметром $d_{\text{н}} = 219$ мм транспортируется расход $q = 50$ л/с ($q = 0,05$ м³/с). Возраст трубопровода — 21 год. Толщина стенки трубы по ГОСТ — 4,5 мм. Толщина фактического слоя внутренних отложений $\Delta_{\text{ф}} = 40$ мм (0,04 м).

Провести гидравлический расчет стального трубопровода и определить величину погрешности гидравлического расчета, сравнив значения фактических потерь напора $i_{\text{ф}}$ с расчетными (табличными) значениями $i_{\text{таб}}$, рассчитанными с использованием справочных пособий Ф. А. Шевелева [1]. Сравнить энергозатраты насосного агрегата, рассчитанные по значениям $i_{\text{таб}}$ и $i_{\text{ф}}$.

Решение

1. По формулам (1–5) определяют значения параметров — $\Delta_{\text{ф}}$, $V_{\text{ср}}^{\text{ф}}$, $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ и $i_{\text{ф}}$ и сравнивают эти значения с расчетными (табличными) значениями по справочному пособию [1]. Результаты расчетов для сравнения сводят в табл. 1.

Таблица 1.

Сравнение характеристик неновых стальных труб диаметром 219 мм

Сравниваемые параметры	По справочным пособиям Ф. А. Шевелева (табл. 1.1)	Фактическое значение параметра по формулам (1–5)	Расхождение значений параметров

Толщина слоя внутренних отложений, Δ_{ϕ} , м	0,001	0,04	в 40 раз
Средняя скорость потока, $V_{\text{ср}}$, м/с	1,46	3,77	в 2,58 раза
Табличный и фактический внутренний диаметр труб с учетом толщины слоя отложений $d_{\text{вн}}^{\phi}$, м	0,209	0,130	в 1,61 раза
Значение табличных $i_{\text{таб}}$ и фактических потерь напора i_{ϕ} , м/м	0,0174	0,2158	в 12,4 раза

Анализ значений сравниваемых параметров труб для приведенного примера (табл. 1) показывает следующее:

- расхождение значений фактических потерь напора $i_{\phi} = 0,2158$ м/м в 12,4 раза в сравнении с табличными значениями $i_{\text{таб}} = 0,0174$ м/м вызвано повышенным значением фактической толщины слоя внутренних отложений за 21 год эксплуатации трубопровода, равным $\Delta_{\phi} = 0,04$ м (40 мм), в 40 раз превышающим табличное значение $\Delta_{\text{таб}} = 0,001$ м (1,0 мм), заложенное в справочных пособиях Ф. А. Шевелева.

В табл. 2 приведены значения характеристик неновых стальных электросварных труб разного диаметра, указанные в табл. 1.1 справочных пособий Ф. А. Шевелева [1].

Таблица 2.

Характеристики неновых стальных электросварных труб по Справочному пособию Ф. А. Шевелева

Наружный диаметр $d_{\text{н}}$, мм	Толщина стенки $S_{\text{р}}$, мм	Расчетный внутренний диаметр $d_{\text{р}}$, мм	Толщина слоя отложений в справочных пособиях $\Delta_{\text{р}}$, мм
102	3,0	95	1,0
121	3,0	114	1,0
140	3,0	133	1,0
168	4,5	158	1,0
180	4,5	170	1,0

219	4,5	209	1,0
273	6,0	260	1,0
325	7,0	311	0
377	7,0	363	0
426	7,0	412	0
480	7,0	466	0
530	7,0	516	0
630	7,0	616	0
720	7,0	706	0
820	8,0	804	0
920	8,0	904	0
1020	8,0	1004	0
1220	9,0	1202	0
1420	10,0	1400	0
1520	10,0	1500	0

- Анализ значений характеристик, приведенных в табл. 1 и 2, свидетельствует о том, что автором справочных пособий всех изданий гидравлически исследовались только неновые стальные электросварные трубы с наружным диаметром: 102, 121, 140, 168, 180, 219 и 273 мм с фиксированной расчетной толщиной слоя внутренних отложений, равной $\Delta_{\text{таб}} = 1,0$ мм (табл. 2). Исследования потерь напора в трубах с другой толщиной слоя фактических внутренних отложений Ф. А. Шевелевым **не проводились**.

Поэтому использование справочных пособий Ф. А. Шевелева для гидравлического расчета неновых стальных электросварных труб во всем диапазоне диаметров по ГОСТ 10704-91 — **недопустимо** (см. пример гидравлического расчета труб диаметром 219 мм, табл. 1), так как приводит к большим погрешностям при подборе насосных агрегатов.

Для приведенного примера на рис. 2 (табл. 3) показаны графики зависимости $i_p = f(\Delta_p)$ и $i_\phi = f(\Delta_\phi)$, построенные при толщине фактического слоя внутренних отложений в диапазоне значений $\Delta_\phi = 1,0 \div 40$ мм ($0,001 \div 0,04$ м), подтверждающие сделанный вывод.

Таблица 3.

Значения характеристик для приведенного примера

Характеристики гидравлического потенциала труб	Расчетная (фактическая) толщина слоя внутренних отложений $\Delta_{p(\phi)}$, мм				
	10 (0,01) м	15 (0,015)	20 (0,02)	30 (0,03)	40 (0,04)
$d_{вн}^{p*}$ по справочным пособиям	0,209	0,209	0,209	0,209	0,209
Расчетная скорость потока V_p , м/с	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
Расчетные потери напора по справочным пособиям i_p , м/м	0,00819	0,01842	0,03275	0,07368	0,13099
$d_{вн}^{\phi*}$, м	0,190	0,180	0,170	0,150	0,130
V_{ϕ} , м/с	1,76	1,96	2,20	2,83	3,77
i_{ϕ} , м/м	0,02872	0,03820	0,05184	0,10094	0,21571

* $d_{вн}^{p(\phi)} = (d_{н} - 2S_p) - 2\Delta_{p(\phi)}$ (рис. 1)

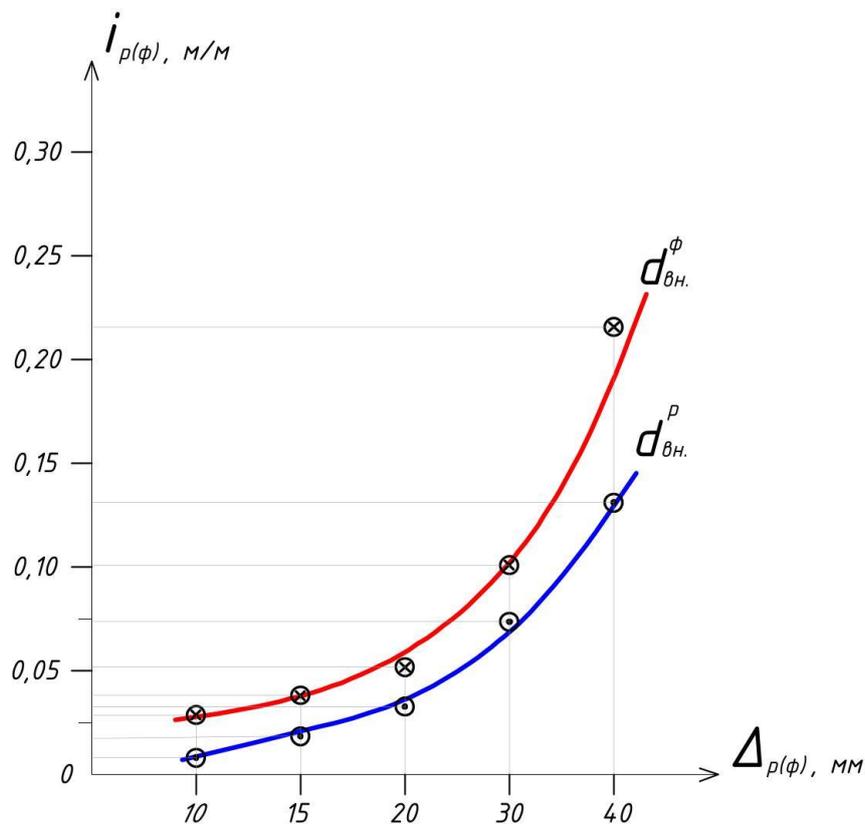


Рис. 2. Графики зависимости $i_p = f(\Delta_p)$ и $i_{\phi} = f(\Delta_{\phi})$

Конечным этапом проведения гидравлического расчета любого металлического трубопровода является расчет энергозатрат насосного агрегата для транспортирования воды потребителям. Проведем расчет энергозатрат насосного агрегата для приведенного примера по значениям параметров, приведенным в табл. 1, и сравним табличные и фактические энергозатраты насосного агрегата.

Сравнение расчетных значений потерь напора i_p по справочным пособиям Ф. А. Шевелева с фактическими значениями i_ϕ при заданных в примере условиях (табл. 3) показывает, что:

- изменение значений толщины фактического слоя внутренних отложений в диапазоне $\Delta_\phi = 10 \div 40$ мм приводит к расхождению величин расчетных значений i_p в 15,99 раза при неизменном значении величины расчетного внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}^p = 0,209$ м ($\Delta_{\text{таб}} = 1,0$ мм);
- разные значения толщины фактического слоя внутренних отложений ($\Delta_\phi = 10 \div 40$ мм) влияют на фактический скоростной режим потока и изменяют его в диапазоне значений $V_\phi = 1,76 \div 3,77$ м/с, т. е. в 2,14 раза;
- при разном значении толщины фактического слоя отложений $\Delta_\phi = 10 \div 40$ мм также изменяются значения величин фактического внутреннего диаметра труб в диапазоне значений $d_{\text{вн}}^\phi = 0,210 \div 0,130$ м, т. е. в 1,62 раза, что, как следствие, приводит к изменению энергозатрат насосного агрегата, рассчитанных по формуле (6).

Расчет значения энергозатрат насоса $N_{\text{дв}}^{\text{таб}}$ с толщиной слоя внутренних отложений $\Delta_{\text{таб}} = 1,0$ мм производится по формуле (6), имеющей вид [3]:

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

где:

$d_{\text{вн}}^{\text{таб}}$, $V_{\text{таб}}$, $i_{\text{таб}}$ — табличные значения характеристик гидравлического потенциала неновых стальных труб по справочному пособию [1];

η — КПД насоса. Для расчетов принимается $\eta = 0,7$.

Аналогично по формуле (6) рассчитывают фактическое значение $N_{\text{дв}}^\phi$ с учетом фактического значения толщины слоя внутренних отложений $\Delta_\phi = 40$ мм.

$$N_{\text{дв}}^{\text{таб}} = 10^6 \cdot 0,0174 \cdot 0,209^2 \cdot 1,46 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 12,81 \text{ кВт/ч};$$

$$N_{\text{дв}}^\phi = 10^6 \cdot 0,2158 \cdot 0,130^2 \cdot 3,77 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 158,67 \text{ кВт/ч}.$$

Сравнение табличных и фактических значений энергозатрат насоса для приведенного примера показывает, что:

значение табличных энергозатрат насоса $N_{дв}^{таб} = 12,81$ кВт/ч меньше фактического значения

$N_{дв}^{\phi} = 158,67$ кВт/ч:

$N_{дв}^{таб} = 12,81$ кВт/ч $<$ $N_{дв}^{\phi} = 158,67$ кВт/ч в 12,39 раза.

Выводы

Приведенный анализ значений характеристик гидравлического потенциала неновых стальных электросварных труб диаметром $d_n = 219$ мм показывает, что:

1. Использование справочных пособий Ф. А. Шевелева для гидравлического расчета неновых стальных труб **недопустимо**, так как в них заложено значение только одной фиксированной толщины слоя внутренних отложений $\Delta_{таб} = 1,0$ мм.
При других значениях Δ_{ϕ} расхождение значений $i_{таб}$ может превышать i_{ϕ} в 12,4 раза.
2. Энергозатраты насоса $N_{дв}^{таб}$ для приведенного примера, рассчитанные с использованием справочных пособий Ф. А. Шевелева, в 12,39 раза меньше фактических значений энергозатрат $N_{дв}^{\phi}$, подсчитанных с учетом значения фактической толщины слоя внутренних отложений Δ_{ϕ} .
3. Поэтому на практике принятые к установке насосные агрегаты будут иметь меньшую мощность на валу электродвигателя в сравнении с требуемой, что не позволит обеспечить требуемые значения параметров системы по расходу и напору у потребителя.

Литература

1. Шевелев Ф. А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие. — 10-е изд., дополненное. // М.: ООО «Издательский дом “Бастет”», 2014. — 384 с.
2. Продоус О. А. Зависимость продолжительности использования металлических трубопроводов систем водоснабжения от толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб. / Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева. // Издательство МИСИ-МГСУ, Москва, 2020. — С. 113–117.
3. Дикаревский В. С., Якубчик П. П., Продоус О. А., Смирнов Ю. А. Резервы экономии электроэнергии при транспортировании воды по водоводам из железобетонных труб. // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара «Рациональное использование воды и топливно-энергетических ресурсов в коммунальном водном хозяйстве» (Алма-Ата, 6–8 августа 1985 г.). — М.: КСМ ВСНТО, 1985. — С. 90–92.

