

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОВОДОВ С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

О. А. Продоус, независимый эксперт по водоснабжению и канализации



ОЛЕГ АЛЕКСАНДРОВИЧ ПРОДОУС
Независимый эксперт в сфере водоснабжения и водоотведения, доктор технических наук, профессор, г. Санкт-Петербург.
Сфера научных интересов: напорные и самотечные сети водоснабжения и водоотведения и сооружения на них, строительство, реконструкция и эксплуатация этих сооружений. Очистка природных вод из подземных и поверхностных источников, очистка хозяйственно-бытовых и поверхностных сточных вод, дезинфекция природных и сточных вод и сооружений.
За активное участие в разработке по его таблицам и реализации в 2010 году проекта дюкерного перехода из напорных полиэтиленовых труб диаметром 1400 мм протяженностью 1500 м через реку Обь награжден почетной грамотой мэра города Новосибирска.
Удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки» Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности и награжден «Звездой Ученого» и орденом «За заслуги в науке». Опубликовал более 350 научных работ, в том числе 5 монографий и 15 справочных пособий. Автор более 30 патентов и изобретений.

В статье приводятся критерии оценки эксплуатационного состояния металлических водопроводов из стали и серого чугуна, которые в процессе жизненного цикла «Эксплуатация» изменяют значения гидравлических характеристик труб, что приводит к росту энергопотребления насосных агрегатов.

Ключевые слова: металлические водопроводы, потери напора в трубах, эксплуатационное состояние, внутренние отложения.

Длительным опытом эксплуатации металлических водопроводов из стали и серого чугуна подтверждено, что их внутренняя (рабочая) поверхность труб покрывается слоем отложений, толщина которых изменяется вследствие протекания процессов электрокоррозии и биокоррозии труб, влияющих на эксплуатационное состояние металлических водопроводных труб.

В Терминологическом словаре по наружным сетям водоснабжения и канализации [1] установлен термин — эксплуатационное состояние водопроводной сети. Это состояние рабочей поверхности труб, характеризуемое значениями фактических характеристик и гидравлического потенциала: $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} и i_{ϕ} . То есть при наличии слоя внутренних отложений δ_{ϕ} (рис. 1) изменяется эксплуатационное состояние труб. Из рис. 1 следует вывод — чем больше слой внутренних отложений в водопроводе, тем хуже его эксплуатационное состояние. Следовательно, требуется установить предельное значение характеристик гидравлического потенциала труб, превышение которых послужит сигналом к прекращению процесса эксплуатации водопроводной сети с заменой труб на новые [2]

и предложить критерии для оценки эксплуатационного состояния изношенных водопроводных труб.

В работе [3] рекомендовано давать количественную оценку эффективности эксплуатации изношенных металлических водопроводных труб по безразмерному коэффициенту эффективности эксплуатации сети:

$$K_{\text{эф}} = \frac{(d_{\text{вн}}^p)^2 \cdot V_p \cdot i_p}{(d_{\text{вн}}^{\phi})^2 \cdot V_{\phi} \cdot i_{\phi}}, \quad (1)$$

где: $d_{\text{вн}}^p$, V_p , i_p — значения расчетных (паспортных) характеристик гидравлического потенциала новых труб из стали и серого чугуна; $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} и i_{ϕ} — фактические значения характеристик гидравлического потенциала изношенных труб на момент оценки.

В табл. 1 предлагается классификация диапазона значений $K_{\text{эф}}$, характеризующая эксплуатационное состояние изношенных металлических водопроводных труб.

Предложенная в табл. 1 классификация эксплуатационного состояния металлических водопроводных труб позволяет в полной мере оценивать по значению $K_{\text{эф}}$ значения характеристик их гидравлического потенциала $d_{\text{вн}}^{\phi}$, V_{ϕ} и i_{ϕ} [формула (1)].

**28–30
НОЯБРЯ 2023**



**РОССИЙСКИЙ
ПРОМЫШЛЕННИК**
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА

**УСТОЙЧИВОСТЬ
И РАЗВИТИЕ**

СООРГАНИЗАТОРЫ:



 **МИНПРОМТОРГ
РОССИИ**



**ПРАВИТЕЛЬСТВО
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

EXPOFORUM

12+ 

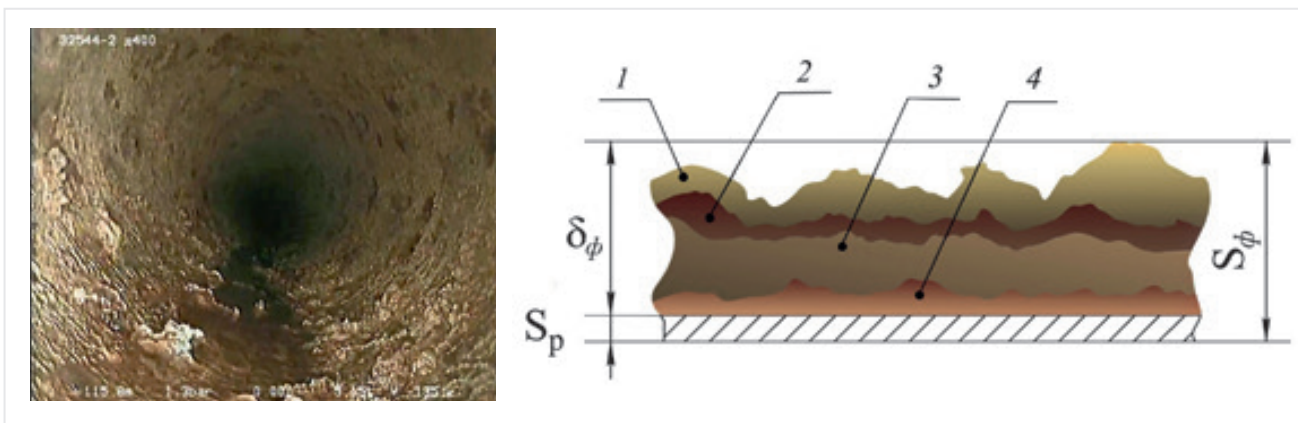


Рис. 1. Эксплуатационное состояние стального водопровода диаметром 300 мм:
 1 — поверхностный слой отложений; 2 — плотное ядро;
 3 — средний (плотный) слой отложений; 4 — плотная подошва отложений

Таким образом, оценка эксплуатационного состояния изношенных металлических водопроводных труб должна производиться по значению гидравлического коэффициента эффективности эксплуатации сети $K_{эф}$ с учетом фактической толщины слоя внутренних отложений в трубах δ_ϕ (рис. 1). Гидравлический расчет изношенных металлических водопроводных сетей подробно описан в работе [1] и требует для расчета гидравлических характеристик труб точного значения (замера) фактической толщины слоя внутренних отложений δ_ϕ в трубах конкретного диаметра и вида материала труб (сталь или серый чугун).

Для облегчения гидравлического расчета фактических значений металлических водопроводных труб с отложениями в 2021 году было выпущено специальное справочное пособие [4], в котором на основе экспертного мнения специалистов из разных регионов страны установлен диапазон фактических значений толщины слоя внутренних отложений в трубах из стали и серого чугуна.

$K_{эф}$ характеризует гидравлическую эффективность использования водопровода и является отношением расчетных значений характеристик гидравлического потенциала труб по проекту к значениям тех же характеристик для изношенных труб, находившихся

длительное время в эксплуатации.

Изменение во времени толщины слоя внутренних отложений на стенках стальных труб δ_ϕ (рис. 1) приводит к изменению значений характеристик и гидравлического потенциала, то есть значений:

- $d_{ин}^\phi$ — фактического внутреннего диаметра труб;
- V_ϕ — фактической скорости воды;
- i_ϕ — фактических потерь напора по длине за счет наличия толщины слоя отложений δ_ϕ , оказывающих дополнительное сопротивление движению потока.

Основное влияние на значение величины фактических потерь напора i_ϕ оказывает структура слоя внутренних отложений на рабочей поверхности, по которой перемещается поток жидкости. Структура этого слоя оказывает доминирующее влияние на величину энергозатрат насосных агрегатов, подающих воду потребителям [2].

В работе [3] установлено, что при схожих условиях эксплуатации морфологическое строение исследованных авторами образцов труб характеризуется наличием (со стороны металла) четырех отдельных областей: рыхлого ядра на подошве, перекрытого твердым слоем «скорлупы» и тонкого поверхностного рыхлого слоя над «скорлупой» (рис. 1). Однако до настоящего времени исследований

влияния морфологического строения слоя внутренних отложений металлических труб на потери напора и другие характеристики гидравлического потенциала никак не проводилось.

Фактические потери напора по длине i_ϕ для изношенных стальных и чугунных труб рекомендуется определять по формуле профессора Ф. А. Шевелева, имеющей вид:

$$i_\phi = 0,00107 \frac{V_\phi^2}{(d_{ин}^\phi)^{1,3}},$$

при $V_\phi \geq 1,2$ м/с. (2)

С учетом [4] формула (2) приобретает вид:

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

где:

V_ϕ — фактическая скорость потока в трубе с отложениями, м/с;

$d_{ин}$ — наружный диаметр трубы по ГОСТ, м;

S_p — толщина стенки трубы по ГОСТ, м;

δ_ϕ — фактический (измеренный) слой отложений, м.

Исследованиями О. А. Продюса и других установлена зависимость остаточной продолжительности использования $T_{исп}$ металлических трубопроводов без покрытий от толщины слоя внутренних отложений δ_ϕ на стенках труб [1, 6].

Таблица 1. Классификация эксплуатационного состояния изношенных металлических водопроводных труб

Диапазон значений $K_{эф}$	1,0 ÷ 0,9	0,9 ÷ 0,8	≤ 0,8
Эксплуатационное состояние труб	удовлетворительное	энергозатратное	недопустимое

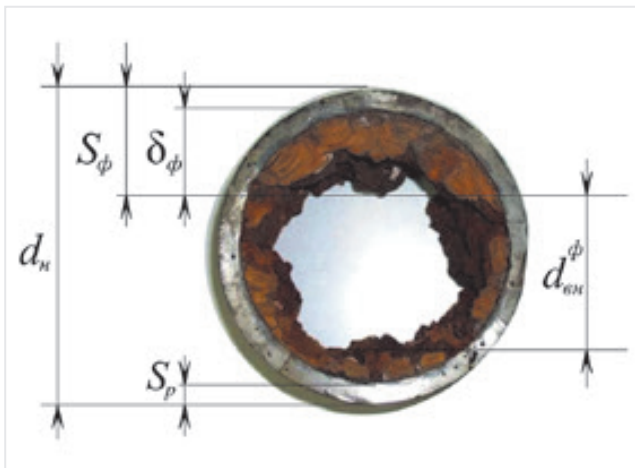


Рис. 2. Эксплуатационное состояние стального водопровода

Анализ разработанной методики прогнозирования периода остаточной продолжительности эксплуатации металлических водопроводов позволяет установить три зоны, характеризующие гидравлическую эффективность действующих водопроводов с учетом эксплуатационного состояния труб:

при $0,9 \leq K_{эф} \leq 1$ — зона удовлетворительно-использования металлических труб с периодом продолжительности до пяти лет;

при $0,8 \leq K_{эф} \leq 0,9$ — зона энергозатратного использования труб, при которой их дальнейшая эксплуатация нецелесообразна;

при $0,8 \leq K_{эф}$ — зона недопустимой эксплуатации труб, при которой их износ достиг предельного состояния с гидравлической точки зрения.

Проведенный анализ эксплуатационного состояния металлических водопроводных труб с внутренними отложениями позволяет рекомендовать:

- в процессе использования стальных и чугунных труб без покрытий не реже одного раза в год производить контроль толщины слоя внутренних отложений δ_ϕ с помощью аттестованных переносных расходомеров в комплекте с толщиномером;

- определять (рассчитывать) значение величины коэффициента эффективности использования трубопровода $K_{эф}$, по величине которого прогнозировать остаточную продолжительность его дальнейшего использования согласно разработанной методике [1, 6];

- на основе анализа характеристик гидравлического потенциала металлических трубопроводов с разной толщиной слоя внутренних отложений δ_ϕ разработать дополнение к справочному пособию [4] для гидравлического расчета металлических водопроводных труб с внутренними отложениями, с учетом значений $K_{эф}$;

- предложить Минстрою РФ и Росстандарту РФ разработать в 2024 году новый стандарт ГОСТ Р Качество воды. Оценка технологической безопасности и гидравлической эффективности водопроводных труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продоус О. А., Якубчик П. П., Шлычков Д. И. Особенности гидравлического расчета водопроводов из металлических, полимерных

и металлополимерных труб. Терминологический словарь по наружным сетям водоснабжения и канализации. Научное издание // Издательство «Перо». Санкт-Петербург. 2023. — 288 с. ил.

2. Продоус О. А., Якубчик П. П., Балашов С. С. Предельно допустимая толщина слоя внутренних отложений в металлических водопроводах для прекращения их дальнейшей эксплуатации // Инженерные системы АВОК Северо-Запад № 3 2023. — С. 46–50.

3. Продоус О. А., Шлычков Д. И., Якубчик П. П. Причины и последствия изменения значений гидравлических характеристик металлических сетей водоснабжения и водоотведения в процессе их эксплуатации // Градостроительство и архитектура. Самара. 2023. Т. 13, № 3. — С. 42–49.

4. 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 // Издательство ООО «Перо», Санкт-Петербург, Москва. 2021. — 238 с. ил.

5. Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие // Издательский дом «Бастет», М.: 2020. — 428 с. ил.

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 // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 6. — С. 738–746.

Торжественная церемония чествования победителей
санкт-петербургских конкурсов профмастерства

6 декабря 2023 года **Дворец труда (пл.Труда, д.4) 16:00**

Генеральный информационный партнер: НОСТРОЙ НАЦИОНАЛЬНОЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕLSКОЕ ЦЕНТРСРОВОДИТЕЛЬСТВО

Информационные партнеры: Ktostruit.ru, BSN, Вестник, BN.RU, Площадь Труда

Официальный информационный партнер: СТРОИТЕЛЬНЫЙ

Интернет-партнеры: САНТЕХНИКА, ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

Генеральный оператор проекта — Ленинградский строительный центр (812)324-99-97