

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАДЕНИЯ РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ В ИЗНОШЕННОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ВОДОВОДЕ С ОТЛОЖЕНИЯМИ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЕ ТРУБ НА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЕ

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

П. П. Якубчик, профессор ФГБОУ ВО ПГУПС Императора Александра I, Санкт-Петербург

А. А. Шитлов, генеральный директор, ООО «СпецСтройПроект», Санкт-Петербург

Рассмотрен пример и показана величина падения рабочего давления в металлическом водоводе с внутренними отложениями с частичной заменой стальных труб на полиэтиленовые. Приведен график падения давления в комбинированном водоводе с полиэтиленовой вставкой-участком. Показана необходимость использования специальных Таблиц для гидравлического расчета металлических труб с отложениями на внутренней поверхности.

Ключевые слова: трубы с отложениями, падение давления, таблицы, прогнозирование.

По данным Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ на 31 декабря 2020 года в стране длина водопроводных сетей составляет более 583 000 км [1]. Большая часть этой длины приходится на металлические трубы из стали и серого чугуна, которые в процессе эксплуатации покрываются изнутри внутренними отложениями, толщина которых влияет на значения характеристик гидравлического потенциала труб — фактического внутреннего диаметра — $d_{вн}^ф$, фактической скорости потока воды — $V_ф$ и фактических потерь напора по длине на преодоление сопротивлений потоку — $i_ф$ [2].

Изношенные водопроводные сети (рис. 1) подвергаются замене (в основном при авариях) на новые из полимерных материалов (в основном на полиэтиленовые из ПНД по ГОСТ 18599-2001).

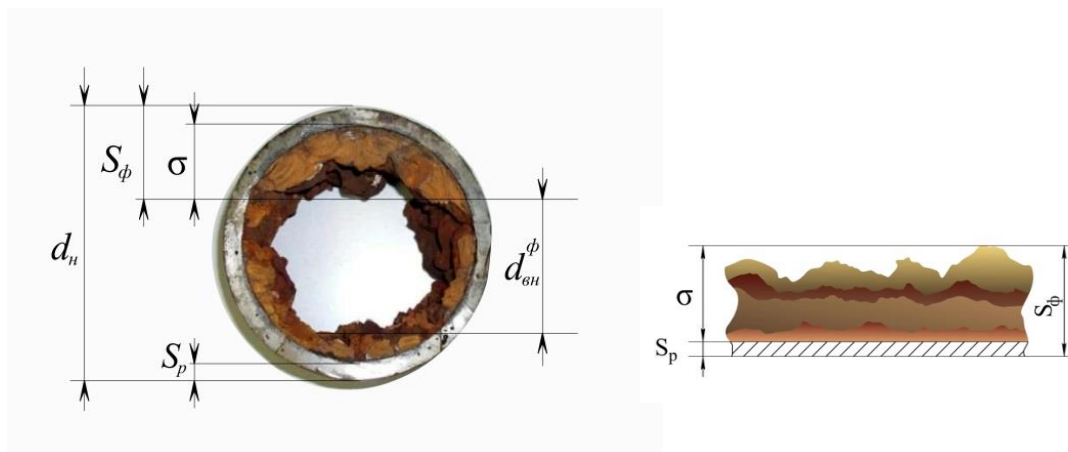


Рис. 1. Отложения на внутренних стенках труб из стали и серого чугуна,

где: d_n — наружный диаметр трубы по ГОСТ, м;
 S_p — толщина стенки трубы по ГОСТ, м;
 S_ϕ — фактическая толщина стенки трубы с отложениями, мм;
 σ — фактическая толщина слоя отложений, мм;
 $d_{вн}^\phi$ — фактический внутренний диаметр труб с отложениями, мм

Замена изношенных металлических труб на полиэтиленовые производится отрезками, длина которых определяется экспертно работниками аварийных служб водоканалов, эксплуатирующих городские сети водоснабжения. Так как стоимость замены труб на полиэтиленовые значительна и зависит от их диаметра, то имеет место ситуация наличия после ремонта комбинированного трубопровода из стальных (или чугунных) труб вместе с отрезками из полиэтиленовых труб, близких по диаметру к стальным или чугунным.

Такая ситуация вызовет падение рабочего давления в конечной точке участка комбинированного трубопровода, так как существенно изменятся значения фактических внутренних диаметров металлических и полиэтиленовых труб.

Для стального участка водопроводной сети:

$$d_{вн}^\phi = (d_n - 2S_p) - \delta \cdot 2, \text{ мм, (1)}$$

где:

d_n — наружный диаметр стальных труб по ГОСТ, м;
 S_p — толщина стенки стальных труб по стандарту, м;
 δ — толщина слоя внутренних отложений, м.

Так как трубы из напорного полиэтилена не подвержены внутренним отложениям, то их внутренний диаметр определяется как:

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

С учетом вышеизложенного покажем на конкретном примере величину падения давления в комбинированном участке сети из стальных (с отложениями) и полиэтиленовых труб (рис. 2).

Условия задачи

По стальному водоводу длиной 5000 м диаметром 630 мм транспортируется питьевая вода в объеме $q = 400$ л/с ($0,4 \text{ м}^3/\text{с}$). За период эксплуатации водовода толщина слоя внутренних отложений на стенках труб составляет, $\delta = 30$ мм ($0,03$ м).

Из-за частых аварий в средней части водовода длиной 1000 м произведена замена стальных электросварных труб на полиэтиленовые того же диаметра. Давление в трубопроводе в начальной его точке А—5,0 кг/см² (0,5 МПа).

Произвести прогноз падения рабочего давления водовода на участке АВ при замене 1000 м стальных труб на полиэтиленовые на участке ВГ.

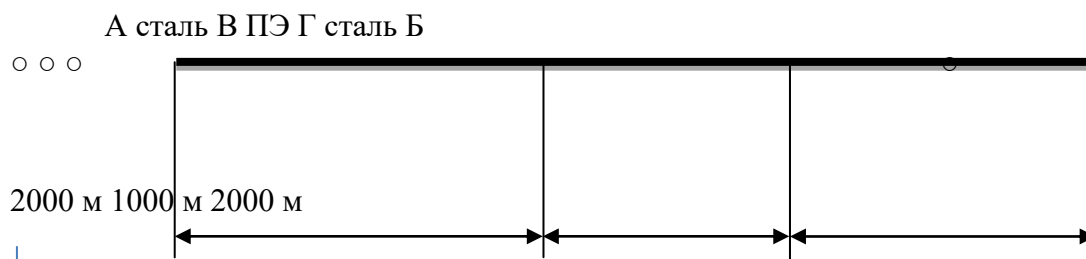


Рис. 2. Схема участков комбинированного водовода диаметром 630 мм

Решение

1. Определяют значения фактических внутренних диаметров труб на участках стального водовода:

$$d_{ВН}^{АВ} = (d_{н} - 2 \cdot S_p) - 2\delta = (0,63 - 2 \cdot 0,007) - 2 \cdot 0,03 = (0,63 - 0,014) - 0,06 = 0,556 \text{ м}$$

$$d_{ВН}^{ВГ} = d_{н}^{ПЭ} - 2 S_p^{ПЭ} = 0,63 - 2 \cdot 0,0374 = 0,63 - 0,0748 = 0,555 \text{ м}$$

$$d_{ВН}^{ГБ} = (d_{н} - 2 \cdot S_p) - 2\delta = (0,63 - 2 \cdot 0,007) - 2 \cdot 0,03 = 0,556 \text{ м.}$$

2. Определяют скорости на участках водовода, которые составят:

$$V_{АВ}^{ст} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot (d_{ВН}^{АВ})^2} = \frac{4 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,556^2} = \frac{1,6}{0,9707} = 1,65 \text{ м/с;}$$

$$V_{ВГ}^{ПЭ} = \frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot (d_{ВН}^{ВГ})^2} = \frac{1,6}{3,14 \cdot 0,555^2} = \frac{1,6}{0,9672} = 1,65 \text{ м/с;}$$

$$V_{ГБ}^{ст} = \frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot (d_{ВН}^{ГБ})^2} = \frac{1,6}{3,14 \cdot 0,556^2} = \frac{1,6}{0,9707} = 1,64 \text{ м/с.}$$

3. Определяют величину падения давления на участках водовода, которая составляет

на участке АВ:

$$PN_{AB} = PN_A - \Sigma h_{i(AB)}; \text{принимая, что } 1 \text{ кг/см}^2 = 10 \text{ м вод. ст.}$$

$\Sigma h_{i(AB)}$ принимается по Таблицам для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями при заданном расходе и фактической толщине слоя отложений δ [3]

$$PN_{AB} = 50 \text{ м вод. ст.} - \Sigma h_{i_{AB}}^{\text{таб}} = 50 - i_{AB}^{\text{таб}}.$$

По Таблицам [3] для участков водовода АВ и ГБ из стальных электросварных труб диаметром 630 мм с толщиной слоя отложений $\delta = 30$ мм (0,03 м):

$$V_{AB} = 1,54 \text{ м/с}, 1000 i = 5,04 \text{ мм/м} = 0,00504 \text{ м/м.}$$

При длине участка АВ = 2000 м и ГБ = 2000 п. м потери напора составят:

$$h_{AB} = i_{AB} \cdot \ell_{AB} = 0,00504 \cdot 2000 = 10,08 \text{ м вод. ст.}$$

$$h_{ГБ} = i_{ГБ} \cdot \ell_{ГБ} = 0,00504 \cdot 2000 = 10,08 \text{ м вод. ст.}$$

$$\Delta PN_{AB} = 50 \text{ м вод. ст.} - 10,08 \text{ м вод. ст.} = 39,92 \text{ м вод. ст.}$$

Аналогично **на участке ВГ** из полиэтиленовых труб диаметром 630 мм, PN10, SDR 17, длиной 1000 м удельные потери напора определяются по Таблицам [4]:

$$V_{ВГ} = 1,35 \text{ м/с}, 1000 i_{ВГ} = 3,33 \text{ мм/м} = 0,00333 \text{ м/м.}$$

$$\Delta PN_{ВГ} = 39,92 \text{ м вод. ст.} - (0,00333 \cdot 1000 \text{ м}) = 39,92 - 3,33 \text{ м вод. ст.} = 36,59 \text{ м вод. ст.}$$

На участке ГБ длиной 2000 п. м из стальных электросварных труб с отложениями $\delta = 30$ мм диаметром 630 мм величина изменения давления составит:

$$PN_{ГБ} = PN_{ВГ} - \Sigma h_{ГБ} = 36,59 \text{ м вод. ст.} - (0,00504 \cdot 2000 \text{ м}) =$$

$$36,59 \text{ м вод. ст.} - 10,08 \text{ м вод. ст.} = 26,51 \text{ м вод. ст.}$$

Суммарное падение давления на комбинированном участке АБ длиной 5000 п. м из стальных труб с отложениями длиной 2000 м и полиэтиленовых труб длиной 1000 п. м составит:

$$\Delta PN_{AB} = PN_A + \Sigma h_{AB} \cdot \ell_{AB} = 50 \text{ м вод. ст.} - \Sigma (h_{AB} + h_{ВГ} + h_{ГБ})$$

$$= 50 \text{ м вод. ст.} - (10,08 + 3,33 + 10,08) \text{ м вод. ст.} = 50 - 23,49 \text{ м вод. ст.}$$

$$= 26,51 \text{ м вод. ст.}$$

То есть расчеты величины падения давления на участке АБ двумя способами — последовательно по участкам и разово — совпадают.

Таким образом, при ремонте (восстановлении) изношенных участков водопроводной сети из металлических труб с внутренними отложениями вставками из полиэтиленовых труб необходимо рассчитывать величину падения давления (напора) в конечной точке для обеспечения потребителей водой с требуемым напором.

Анализ расчетных параметров для приведенного примера показывает, что:

— на участке водовода длиной 5000 п. м с полиэтиленовой вставкой длиной 1000 п. м падение величины давления в конечной точке Б составляет:

$$\Delta PN_{AB} = 50 \text{ м вод. ст.} - 23,49 \text{ м вод. ст.} = 26,51 \text{ м вод. ст.},$$

то есть отличается от давления в начальной точке А на 46,98 %, или в 1,89 раза.

На рис. 3 приведен график падения давления в комбинированном трубопроводе из металлических и полиэтиленовых труб.

Таким образом, формула для определения общих потерь напора водопроводной сети, состоящей из различных по длине и материалу отрезков трубопроводов, будет иметь следующий вид:

$$\Delta h_{\text{общ}} = \sum_{m=1}^{m=n} i_m \cdot l_m, \quad (3)$$

где: i_m — удельная величина гидравлических потерь при заданном расходе воды при использовании труб из материала m ;

l_m — длина участка трубопровода из материала вида m ;

n — количество различных отрезков сети по длине и материалу вида m трубопровода.

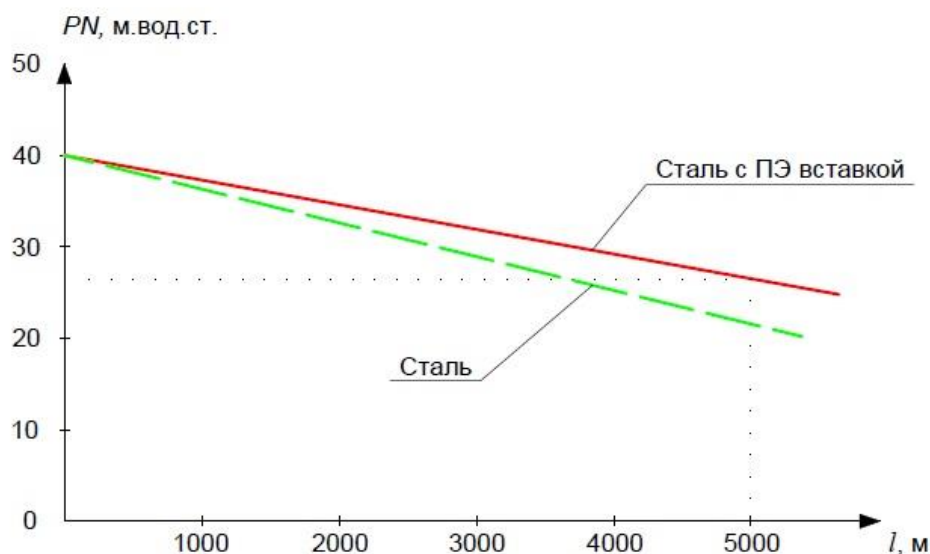


Рис. 3. Падение давления в комбинированном трубопроводе

Таким образом, прогноз падения рабочего давления в трубопроводах водоснабжения из металлических труб при их частичной замене отрезками из напорного полиэтилена должен проводиться с учетом величины падения давления (напора) на каждом отдельном участке сети из разных видов материалов труб. Чем больше видов материалов труб (отрезков) используется при ремонте металлического трубопровода, тем более тщательно необходимо определять значение величины фактического внутреннего диаметра металлических труб с внутренними отложениями, влияющего на величину фактических потерь $i_{\text{ф}}$ на преодоление потерь напора на сопротивление по длине. Использование справочного пособия (таблиц) авторов для проведения гидравлического расчета металлических труб с разной толщиной слоя внутренних отложений [3] существенно облегчает прогноз падения рабочего давления в изношенных металлических водопроводах, восстановленных отрезками труб из разных полимерных материалов.

Литература

1. Письмо Минстроя России № 11707-ОЛ/04 от 25.03.21 Ответ на обращение НИУ МГСУ от 02.02.2021 (вх. № 302-168-52/3).
2. Продоус О. А., Новиков М. Г., Самбурский Г. А., Шипилов А. А., Терехов Л. Д., Якубчик П. П., Чесноков В. А. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов из стали и серого чугуна. // ООО «Свое издательство», Санкт-Петербург — Москва, 2021. — 40 с.
1. Продоус О. А., Шипилов А. А., Якубчик П. П. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из стали и серого чугуна с внутренними отложениями. Справочное пособие. Санкт-Петербург, 2021. — 283 с.
2. Продоус О. А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена. Справочное пособие. Издание 3-е — дополненное. // ООО «Свое издательство», Санкт-Петербург, 2017. — 240 с.