

## **Зависимость пропускной способности полиэтиленовых трубопроводов от характеристик гидравлического потенциала труб**

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

**Для обоснования необходимости замены диаметров полиэтиленовых труб на больший предложено предварительно производить определение их гидравлического потенциала по разработанной методике.**

**Ключевые слова: пропускная способность труб, полиэтилен, гидравлический потенциал.**

Гидравлический потенциал трубопровода (труб) — это оценочный эксплуатационный критерий, характеризуемый совокупностью значений: расхода  $q$ , л/с, (при заданном давлении PN, МПа), скорости потока  $V$ , м/с, и потерь напора на трение по длине  $i$ , м/м, в трубопроводе конкретного диаметра и вида материала труб [1]. Значение величин трех характеристик гидравлического потенциала ( $q$ ,  $V$  и  $i$ ) при заданном давлении позволяет эксплуатирующим организациям — «Водоканалам» принимать обоснованное решение о возможности подключений новых потребителей к действующим водопроводным линиям, а также обосновывать очередность проведения капитального ремонта участков городского водопровода и разрабатывать планы диверсификации (перераспределения) подачи конкретных объемов воды потребителям с учетом фактических значений величин гидравлических характеристик трубопровода [2].

Увеличить пропускную способность водопровода конкретного диаметра можно только за счет изменения его гидравлических характеристик: диаметра труб, скорости потока и потерь напора по длине, т. е. за счет изменения гидравлического потенциала труб.

Изменение гидравлического потенциала полиэтиленовых труб, выпускаемых по ГОСТ 18599-2001, методом напорной экструзии возможно за счет:

- использования модифицированного полиэтилена нового поколения, обеспечивающего при меньшей толщине стенки неизменное значение давления PN, МПа при одном и том же показателе SDR;
- изменения толщины стенки трубы за счет совершенствования технологии производства;
- изменения наружного диаметра труб на один типоразмер больший по сортаменту (изменение значения характеристики SDR);
- снижения значения величины параметра шероховатости внутренней поверхности труб  $R_a$  — среднеарифметического отклонения профиля от средней линии, влияющего на величину потерь напора по длине [1].

На практике можно услышать такое выражение: гидравлический потенциал участка водопровода исчерпан, поэтому подключение к нему новых потребителей невозможно.

Что в этом случае должен сделать «Водоканал»? Естественно, переключать сеть на увеличенный диаметр при наличии имеющихся резервов воды.

Рассмотрим конкретный пример, характеризующий подобную ситуацию, и проведем соответствующий анализ. Проектом предусмотрена замена участка водопроводной сети из полиэтиленовых труб диаметром 225 мм, SDR 17, PN 10, длиной 100 п. м, подающего расход  $q = 40,0$  л/с на трубы из полиэтилена 100 диаметром 315 мм, SDR 17 с целью увеличения объема воды, подаваемой потребителям при эффективных затратах электроэнергии на эксплуатацию. В табл. 1 для сравнения приведены технические характеристики труб до и после замены этого участка водопровода.

Технические характеристики труб

Таблица 1.

Материал труб	Номинальный наружный диаметр труб, $d_n$ , мм		Номинальный внутренний диаметр труб, $d_{вн}$ , мм		Толщина стенки трубы, $e$ , мм	
	до замены	после замены	до замены	после замены	до замены	после замены
Полиэтилен 100 по ГОСТ 18599-2001	225,0	315,0	198,2	277,6	13,4	18,7

Анализ данных в табл. 1 показывает, что за счет изменения диаметра труб  $d_n$  и толщины стенки  $e$  изменяется внутренний диаметр  $d_{вн}$  на 28,6%, или в 1,4 раза. Учет значений величин технологических допусков на наружный диаметр труб и толщину их стенки по ГОСТ 18599-2001 влияет на точность проведения гидравлических расчетов [3]. Однако для упрощения расчетов в рассматриваемом примере влияние значений величин технологических допусков учитываться не будет.

В табл. 2 приведены расчетные данные по гидравлическому потенциалу рассматриваемых труб. Данные подсчитаны по нормативной зависимости [4].

Гидравлический потенциал труб

Таблица 2.

Внутренний диаметр труб, $d_{вн}$ , мм	Расход $q$ , м <sup>3</sup> /с	Скорость потока $V$ , м/с	Гидравлический потенциал труб	
			коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda^*$	удельные потери напора, $1000 i$ , мм/м
198,2	0,040	1,30	0,0149	6,47

277,6	0,067	1,11	0,0156	3,53
-------	-------	------	--------	------

\*значение  $\lambda$  используется при подсчете потерь напора по длине [4].

Представленные в табл. 2 данные показывают следующее.

При изменении диаметра с  $d_{\text{вн}} = 0,1982$  м до  $d_{\text{вн}} = 0,2776$  м изменяется:

— скорость потока с  $V = 1,30$  м/с до  $V = 1,11$  м/с:  $V = 1,30$  м/с  $>$   $V = 1,11$  м/с на 14,6%, или в 1,17 раза;

— удельные потери напора:  $1000 i = 6,47$  мм/м  $>$   $1000 i = 3,53$  мм/м на 45,44%, или в 1,83 раза.

Следовательно, увеличивается подаваемый расход с  $q = 0,040$  м<sup>3</sup>/с до  $q = 0,067$  м<sup>3</sup>/с:

$q = 0,040$  м<sup>3</sup>/с  $<$   $q = 0,067$  м<sup>3</sup>/с на 40,3% или в 1,68 раза.

Сравнение фактических потерь напора на рассматриваемом участке сети длиной 100 п. м показывает:

— до замены труб:  $h = i \cdot \ell = 0,00647$  мм/м  $\times$  100 м = 0,647 м;

— после замены труб:  $h = i \cdot \ell = 0,00353$  мм/м  $\times$  100 м = 0,353 м.

То есть фактические потери напора по длине рассматриваемого участка также снижаются с  $h = 0,647$  м до  $h = 0,353$  м на 45,44% или в 1,83 раза.

На рис. 1 приведен график зависимости значений коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda = f(Re_{\phi})$ , определяемых согласно нормативным требованиям [4] от значений фактического числа Рейнольдса  $Re_{\phi}$ . Значения расчетных параметров для двух диаметров труб в примере подсчитаны при различных скоростях потока. В табл. 3 приведены расчетные данные для построения графика зависимости  $\lambda = f(Re)$ .

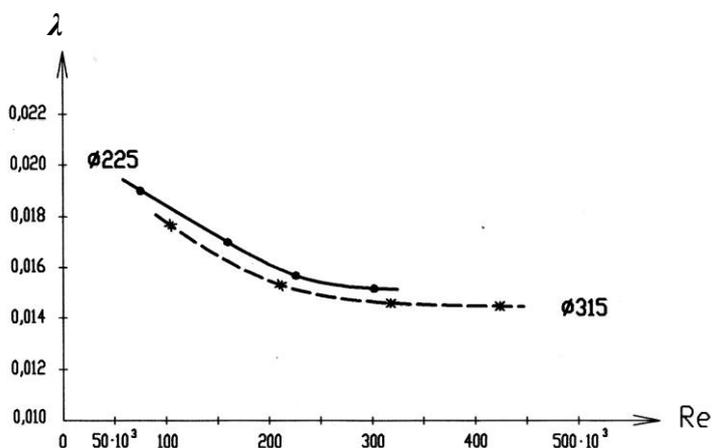


Рис. 1. Зависимость  $\lambda = f(Re)$  для ПЭ-труб двух диаметров

Значения расчетных параметров при различных скоростях потока

Таблица 3.

Наружный диаметр труб по ГОСТ 18599-2001 — $d_n = 225$ мм x 13,4 мм				
Скорость потока, V, м/с	0,5	1,0	1,5	2,0
Фактическое число Рейнольдса $Re_\phi = \frac{V \cdot d_{вн}}{\nu^*}$	75 649	151 298	226 947	302 595
Коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda$	0,0190	0,0169	0,0157	0,0153
Наружный диаметр труб по ГОСТ 18599-2001 — $d_n = 315$ x 18,7 мм				
Скорость потока, V, м/с	0,5	1,0	1,5	2,0
Фактическое число Рейнольдса $Re_\phi = \frac{V \cdot d_{вн}}{\nu^*}$	105 954	211 908	317 863	423 817
Коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda$	0,0179	0,0157	0,0148	0,0142

$\nu^*$  — коэффициент кинематической вязкости воды [6]. При  $t = 10$  °C —  $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с

Анализ значений расчетных параметров в табл. 3 (рис. 1) показывает, что при увеличении диаметра труб с  $d_n = 225$  мм на  $d_n = 315$  мм, при прочих равных условиях, изменяются значения величин коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda$  и, в конечном итоге, значения величин потерь напора по длине, определяемые по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$i = \lambda \frac{\ell \cdot V^2}{2g \cdot d_{вн}}, \text{ мм/м (м/м)},$$

где:

$\ell$  — длина участка, на котором производят замену труб, м;

V — скорость потока, м/с;

$g$  — ускорение свободного падения, м<sup>2</sup>/с;

$d_{вн}$  — внутренний диаметр труб, м.

**Замена труб** на больший диаметр приводит к изменению энергозатрат насоса, транспортирующего воду по рассматриваемому участку.

Энергозатраты насоса на рассматриваемом участке для двух вариантов установленных труб рассчитываются по формуле [5]:

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

где:

$i$  — удельные потери напора на трение по длине участка, мм/м;

$d_{вн}$  — внутренний диаметр труб (до замены и после), м;

V — скорость потока, м/с;

$\eta$  — КПД насосной установки, принимаем  $\eta = 0,7$ .

Энергозатраты насоса до и после изменения диаметра труб составят (табл. 4):

Рассчитанные данные по энергозатратам

Таблица 4.

Внутренний диаметр труб $d_{\text{вн}}$ , мм		Гидравлические и энергетические характеристики труб			
		расход $q$ , л/с	скорость потока $V$ , м/с	удельные потери напора 1000 $i$ , мм/м	энергозатраты насоса $N_{\text{дв}}$ , кВт/ч
до замены	198,2	40,0	1,30	6,47	38,00
после замены	277,6	67,0	1,11	3,53	34,72

$$N_{\text{дв}}^{\text{до}} = 10^6 \cdot 6,47 \cdot (0,1982)^2 \cdot 1,3 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 38,00 \text{ кВт/ч}$$

$$N_{\text{дв}}^{\text{после}} = 10^6 \cdot 6,47 \cdot (0,2776)^2 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 34,72 \text{ кВт/ч.}$$

То есть при эксплуатации замененного участка сети длиной 100 п. м с увеличенным диаметром экономия энергозатрат насоса составит в год:

$$(38,00 \text{ кВт/ч} - 34,72 \text{ кВт/ч}) \cdot 24 \cdot 365 = 28\,732,8 \text{ кВт/ч/год.}$$

При средней стоимости за 1 кВт/ч электроэнергии для «Водоканалов» по стране — примерно 5,0 руб/1 кВт/ч, годовая эффективность, полученная за счет изменения гидравлического потенциала труб на участке в 100 п. м, составит:

$$28\,732,8 \text{ кВт/ч/год} \times 5,0 \text{ руб/1 кВт/ч} = 143\,664 \text{ руб/год, а на одном километре, соответственно — } 1\,436\,640 \text{ руб/год.}$$

Если учесть, что по стране эксплуатируются десятки тысяч километров водопроводных сетей из напорных полиэтиленовых труб, то получаемый эффект от изменения гидравлического потенциала труб трудно переоценить.

Таким образом, изменение гидравлического потенциала труб напорных из полиэтилена обеспечивает:

- снижение скоростных режимов в трубопроводе за счет увеличения диаметров внутренней поверхности труб;
- увеличение пропускной способности участков сети;
- уменьшение потерь напора на сопротивление по длине;
- снижение энергозатрат насосов, транспортирующих воду по трубам с измененным гидравлическим потенциалом.

## **Вывод**

Всем организациям в стране, эксплуатирующим полиэтиленовые трубопроводы, при необходимости увеличения их пропускной способности рекомендуется для обоснования необходимости увеличения диаметров сети производить определение гидравлического потенциала труб по приведенной выше методике.

## **Литература**

1. Продоус О. А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена. Справочное пособие. Издание 3-е — дополненное. // СПб: «Свое издательство», 2017. — 240 с. ил.
2. Продоус О. А. Что дает учет гидравлического потенциала водопроводной сети города? // Журнал «Строитель», № 4 (66), 2008. — С. 110–112.
3. Продоус О. А., Терехов Л. Д. Сравнительная оценка величин потерь напора для обоснования выбора материала труб из разных полимерных материалов. // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение», 2018/9 (129). — С. 38–42.
4. СП 40-102-2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования. // М.: 2001.  
<http://docs.cntd.ru/document/1200007490>
5. Продоус О. А. Об энергопотреблении насосов в трубопроводах из полимерных материалов. // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение», 2017/12 (120). — С. 36–38.