

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРУБ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

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

На примере проведено сравнение значений величины коэффициента гидравлического сопротивления труб из полиэтилена, рассчитанного по нормативной и рекомендуемой эмпирической зависимости, подтвержденной натурными исследованиями на трубах большого диаметра. Предложено разработать методику производственного контроля значений параметров шероховатости внутренних стенок труб из любых полимерных материалов и рекомендовать прибор для измерения величин этих параметров.

Ключевые слова: полимерные трубы, гидравлический расчет, параметры шероховатости, потери напора.

Гидравлический расчет трубопроводов из любых полимерных материалов регламентируется использованием при расчетах нормативной зависимости [2, 3], имеющей достаточно сложный вид, который был упрощен (формула 2) для проведения практических расчетов [1]. Однако явного упрощения расчета значений λ^H это не дает, так как в формулу (1) входит значение нормированного [2, 3] коэффициента эквивалентной шероховатости K_s , величина которого даже для труб из одного и того же материала этими нормативами точно не определена. Это приводит к нежелательным погрешностям при определении потерь напора в трубах из разных полимерных материалов.

На основе исследований, проведенных известными учеными в начале 60-х годов 20-го века [6] была предложена зависимость для определения λ , подтвержденная результатами гидравлических экспериментов, произведенных авторами, на трубопроводах большого диаметра [7]. Формула имеет следующий вид:

$$\lambda = \frac{0,3162}{Re_\phi^{0,25}} \left(\frac{10Ra_{cp} \cdot 10^2}{Sm_{cp}} + 1 \right)^{0,172} \cdot \left(\frac{10Ra_{cp} \cdot 10^3}{d_{BH}^\phi} + 1 \right)^{0,475}, \quad (1)$$

где:

Re_ϕ — фактическое число Рейнольдса, $Re_\phi = \frac{V_\phi \cdot d_{BH}^\phi}{\nu}$ [5];

Ra_{cp} — среднеарифметическое отклонение профиля от средней линии в пределах базовой длины, м;

Sm_{cp} — средний шаг по вершинам между неровностями, м;

d_{BH}^ϕ — фактический (измеренный) внутренний диаметр труб, м.

В формуле (1) отсутствует коэффициент эквивалентной шероховатости K_s , что придает ей более практический вид, так как для расчета значения λ требуется измерить только

величину средних значений параметров шероховатости Ra_{cp} и Sm_{cp} , регламентированных нормативом [4].

Явным достоинством формулы (1) является также ее относительная простота для расчетов. Формула (1) может быть рекомендована для использования при расчетах значения λ , если известны значения параметров Ra_{cp} и Sm_{cp} , измерение которых не представляет сложностей, так как значения этих параметров используются для разных целей в большинстве отраслей российской экономики.

Проведем на примере сравнение нормативных значений λ^H , подсчитанных по упрощенной нормативной (2) и рекомендуемой расчетной λ^P зависимости (1). Результаты для сравнения сведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал труб	Значения расчетных параметров												Процент расхож- дения %
	по рекомендуемой расчетной зависимости (1)							по упрощенной нормативной зависимости (2)					
	$d_{вн}^{\phi}$, м	q_{ϕ} , м ³ /с	V_{ϕ} , м/с	$Ra_{ср}$, м	$Sm_{ср}$, м	$K_{э}$, м	λ^p	$d_{вн}^{\phi}$, м	q_{ϕ} , м ³ /с	V_{ϕ} , м/с	$K_{э}^H$, м	λ^H	
ПНД по ГОСТ 18599-2001	0,5528	0,300	1,25	0,00000041	0,006	---	0,01943	0,5528	0,300	1,25	0,00001	0,01938	0,26

Из таблицы 1 следует, что точность определения нормативного значения $\lambda^H = 0,01938$ отличается от точности определения расчетного значения $\lambda^p = 0,01943$ на 0,26%, что вполне удовлетворяет точности проведения практических расчетов.

То есть расчетное значение λ^p по формуле (1) расходится на 0,26% со значением λ^H , рассчитанным по формуле (2).

Использование значения параметра $K_{э}$ в формуле (1) вообще не требуется, так как объективная оценка измеренных прибором средних значений параметров шероховатости $Ra_{ср}$ и $Sm_{ср}$ обеспечивает расчет значений λ^p с достаточной для практических расчетов точностью в сравнении с расчетом по нормативной зависимости (2).

Условия задачи

Задан расход: $q = 300$ л/с ($0,3$ м³/с), который транспортируется по трубопроводу из ПНД с $d_{\text{вн}}^{\phi} = 0,5528$ м. Температуры воды $t = 10$ °С ($\nu = 0,00000131$ м²/с).

Измеренные значения характеристик шероховатости внутренней поверхности труб из ПНД: $Ra_{\text{ср}} = 0,41$ мкм ($0,0000041$ м), $Sm_{\text{ср}} = 6000$ мкм ($0,006$ м).

Требуется сравнить для условий задачи нормативное λ^H и расчетное значение λ^P .

Решение

Расчет λ^H по упрощенной нормативной зависимости (2) производится по формуле (2):

$$\sqrt{\lambda^H} = \frac{0,5 \left[\frac{b + 1,312(2-b) \cdot \lg(3,7d/K_3)}{2 + \frac{\lg Re_{\phi} - 1}{\lg(3,7d/K_3)}} \right]}{\lg(3,7d/K_3)},$$
$$\lambda^H = \left[\frac{0,5 \left(\frac{b + 1,312(2-b) \cdot m}{n} \right)}{m} \right]^2, \quad (2)$$

где:

$b = 1 + \frac{\lg Re_{\phi}}{\lg Re_{\text{кв}}}$ — некоторое число подобия режимов движения жидкости.

При условии $b > 2$ значение b принимают равным 2.

Re_{ϕ} — фактическое число Рейнольдса, определяемое по формуле:

$$Re_{\phi} = \frac{V_{\phi} \cdot d_{\text{вн}}^{\phi}}{\nu},$$

где:

V_{ϕ} — фактическая скорость потока, м/с;

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

$d_{\text{вн}}^{\phi}$ — фактический (измеренный) внутренний диаметр труб с учетом технологических допусков, м;

q_{ϕ} — фактический заданный расход, м³/с;

$Re_{\text{кв}}$ — число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной области гидравлических сопротивлений:

$$Re_{\text{кв}} = \frac{500 \cdot d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_3},$$

где: K_3 — коэффициент эквивалентной (гидравлической) шероховатости, м. Действующими нормативами установлены значения: $K_3 \geq 0,00001$ м [2] или

$K_3 = 0,000014$ м [3]. Точного значения K_3 для труб из ПНД не установлено.

Принимаем для примера расчетное значение $K_3 = 0,00001$ м.

Установлено, что K_3 зависит от величины средних значений параметров шероховатости внутренней поверхности Re_{cp} , м, и рассчитывается по эмпирической зависимости, полученной авторами по результатам натурных исследований трубопроводов по формуле [1, 5, 7]:

$$K_3 = 2Ra_{cp}^{1,33}, \text{ м};$$

$m = \lg \frac{3,7 \cdot d_{BH}^\phi}{K_3}$ — число подобия параметров трубопровода, отражающее изменения значений фактического внутреннего диаметра труб и изменение средних значений высотного параметра шероховатости Ra_{cp} ;

$n = \lg Re_\phi - 1$ — фактор, характеризующий изменение фактического расхода q_ϕ от изменения величины фактического внутреннего диаметра труб из-за влияния технологических допусков на толщину стенок и номинальный наружный диаметр труб [5].

Таким образом, сравнение нормативных λ^H и расчетных значений величин коэффициента гидравлического сопротивления λ^P показывает, что существует подтвержденная экспериментами эмпирическая зависимость для определения значений λ^P для трубопроводов из полимерных материалов, предусматривающая использование для расчета значений λ^P по формуле (1), измеренных в процессе производства труб средних значений параметров шероховатости Ra_{cp} и Sm_{cp} .

Для этого необходимыми и обязательными условиями являются:

- разработка и нормирование методики производственного контроля параметров шероховатости внутренних стенок труб из любых полимерных материалов;
- рекомендации по использованию сертифицированного (аттестованного) прибора для проведения замеров средних значений параметров шероховатости в производственных условиях заводов — производителей труб из разных полимерных материалов;
- рассмотрение вопроса о внесении формулы (1) в нормативные документы [2, 3], что позволит, в конечном счете, значительно упростить расчет значений величины потерь напора в трубах из разных полимерных материалов.

Литература

1. Продоус О. А., Васильева М. А. Упрощенный вид нормативной зависимости для проведения гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов. Водоснабжение и санитарная техника, № 9, 2017. — С. 53–55.
2. СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования.
<http://docs.cntd.ru/document/1200007490>

3. СП 399.1325800.2018 СП 399.1325800.2018 Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов. Правила проектирования и монтажа.
<http://docs.cntd.ru/document/552304873>
4. МИ 41-75 Методика выполнения измерений параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789-73 при помощи приборов профильного метода. Дата актуализации 01.02.2020.
<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293815/4293815845.htm>
5. Продоус О. А. Влияние колебаний значений параметров, входящих в нормативную зависимость СП 40-102-2000, на величину потерь напора в трубах из разных полимерных материалов. Инженерные системы. АВОК Северо-Запад, № 4, 2019. — С. 50–53.
6. Дунин-Барковский И. В.,
Рузин М. Я. О шероховатости пластмассовых труб. Водоснабжение и санитарная техника, № 2, 1964. — С. 22–24.
7. Дикаревский В. С.,
Якубчик П. П.,
Продоус О. А. О формулах для расчета коэффициента гидравлического сопротивления железобетонных напорных труб. Межвузовский сборник научных трудов «Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте». Л., ЛИИЖТ, 1980. — С. 65–69.