

## **Чугунные трубы с полимерным покрытием, снижающие затраты на строительство и эксплуатацию трубопроводов**

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

*А. А. Мурлин, председатель совета директоров ООО «ИНКОНСТРОЙ»*

*В. В. Иващенко, заместитель генерального директора ООО «ИНКОНСТРОЙ»*

*Энергоэффективными могут называться трубы, обладающие рациональной (обоснованной) стоимостью за единицу длины при минимальной стоимости их монтажа и имеющие минимальные потери напора по длине, влияющие на энергозатраты при эксплуатации трубопровода.*

Промышленный выпуск труб для систем водоснабжения и канализации начался около 600 лет тому назад. Однако до последнего времени выбор материала труб являлся проблемой, поскольку существует большой перечень материалов, из которых выпускается трубная продукция. Это: сталь, чугун, в том числе из ВЧШГ с полимерными покрытиями, асбестоцемент, железобетон, стеклопластик, полиэтилен, в том числе из его композитов. Поэтому авторами были предложены два критерия выбора материала труб для прокладки инженерных сетей — строительный и эксплуатационный, или гидравлический [1].

Энергоэффективными могут называться трубы, обладающие рациональной (обоснованной) стоимостью за единицу длины при минимальной стоимости их монтажа и имеющие минимальные потери напора на трение по длине, влияющие на энергозатраты при эксплуатации трубопровода.

Строительный критерий выбора материала труб — это величина финансовых затрат на раскопку траншеи, крепление откосов, подготовку основания под трубы, их укладку, засыпку песком, трамбовку и т. д.

Гарантийный срок службы труб из ВЧШГ с полиуретановым внутренним покрытием — 120 лет, поэтому второй критерий — эксплуатационный (гидравлический) характеризует его гидравлический потенциал — неизменяющуюся во времени пропускную способность при минимальных потерях напора на трение по длине трубопровода [2, 4].

Разработанные авторами критерии выбора материала труб объективно характеризуют две стороны процесса — стоимость строительства трубопровода и стоимость затрат на его эксплуатацию с гидравлической точки зрения. Чем хуже гидравлические показатели труб, тем дороже стоит его эксплуатация. При выборе

материала труб необходимо проводить обобщенную оценку двух названных критериев, после чего делать объективный, обоснованный выбор вида материала труб.

Покажем это на конкретном примере.

**Условие задачи:** обосновать выбор труб из полимерного материала, обладающего минимальными потерями напора на трение по длине при минимальной стоимости затрат на строительство трубопровода диаметром 500 мм, PN10, транспортирующего расход  $q = 160$  л/с на расстояние 1 км. Для сравнения принять трубы из полиэтилена, SDR 17, стеклопластика и труб из ВЧШГ с полиуретановым внутренним покрытием.

Решение задачи включает три этапа:

- 1-й этап — сравнение геометрических параметров труб;
- 2-й этап — сравнение затрат на проведение строительно-монтажных работ (СМР);
- 3-й этап — сравнение гидравлического потенциала труб.

В табл. 1 приведены геометрические параметры сравниваемых труб заданного диаметра.

**Геометрические параметры труб Таблица 1.**

Вид материала труб		
Полиэтилен 100 по ГОСТ 18599-2001, SDR17	Стеклопластик по ТУ 2296-250-24046-478-95, SN 10000 Па	ВЧШГ с полиуретановым покрытием по EN 545-2010
Номинальный внутренний диаметр, $d_{вн.}$ , мм	Номинальный внутренний диаметр, $d_{вн.}$ , мм	Номинальный внутренний диаметр, $d_{вн.}$ , мм
440,6	500,0	516,8

Внутренний диаметр труб из ВЧШГ с полиуретановым покрытием на 14,6% больше внутреннего диаметра напорных полиэтиленовых труб ( $516,8 > 440,6$  мм на 14,7%) и на 3,1% больше, чем у труб из стеклопластика ( $516,8 > 500,0$  мм на 3,3%), поэтому пропускная способность этих труб также будет больше. Сравнение геометрических параметров сравниваемых труб отдает предпочтение трубам из ВЧШГ с полиуретановым покрытием.

В табл. 2 приведены стоимостные показатели сравниваемых труб при монтаже (СМР) трубопровода, а также стоимости 1 п. м труб из этих материалов.

Стоимостные показатели труб Таблица 2.

Диаметр условного прохода, $d_y$ , мм	Стоимость, тыс. руб. за 1 п. м, НДС в т. ч.					
	Строительно-монтажных работ			Труб		
	Полиэтилен	Стеклопластик	ВЧШГ	Полиэтилен	Стеклопластик	ВЧШГ
500,0	7 326,0	4 752,0	2 524,0	11 414,0	11 260,0	28 928,1

Трубы из ВЧШГ с полиуретановым покрытием внутренней и наружной поверхности не требуют при монтаже подготовки песчаного основания под трубы, а сразу засыпаются выбранным из траншеи грунтом. Поэтому стоимость СМР для труб диаметром 500 мм, указанная в табл. 2, учитывает только стоимость утилизации оставшегося объема грунта, занятого телом трубы диаметром 500 мм.

Несмотря на более высокую стоимость 1 п. м труб из ВЧШГ, стоимость проведения для них строительно-монтажных работ на 65,5% меньше, чем для труб из полиэтилена ( $7326,0 > 2524,0$  руб/1 п. м на 65,5%) и на 46,9% меньше, чем для труб из стеклопластика ( $4752,0 > 2524,0$  руб/1 п. м на 46,9%). На рис. 1 показаны фото СМР.





Рис. 1. Фото с объектов монтажа труб из ВЧШГ

Из сравнения стоимости проведения строительного-монтажных работ предпочтение также имеют трубы из ВЧШГ с внутренним полиуретановым покрытием.

Данные для сравнения гидравлического потенциала труб для идентичных условий эксплуатации сведены в табл. 3.

Гидравлический потенциал сравниваемых труб зависит от значений величины высотного параметра шероховатости внутренних стенок труб  $R_a$ , мкм [3], поскольку сравниваемые трубы работают в переходной области гидравлических сопротивлений. Для этой области сопротивлений шероховатость рабочей внутренней поверхности труб оказывает доминирующее влияние на формирование потерь напора на трение по длине трубопровода [4].

Гидравлический потенциал труб Таблица 3.

Вид материала труб	Внутренний диаметр труб, $d_{вн.}$ , мм	Высотная характеристика шероховатости $R_a$ , мкм	Гидравлический потенциал труб		
			расход, $q$ , л/с	средняя скорость, $V$ , м/с	удельные потери напора 1000 $i$ , мм/м
Полиэтилен — 100, SDR 17	440,6	0,410	160,0	1,05	1,89
Стеклопластик SN 10 000 Па	500,0	0,370	170,0	0,90	2,10
Полиуретан EN 545-2010	516,8	0,304	180,0	0,86	0,76

Анализ гидравлического потенциала сравниваемых в табл. 3 труб показывает, что пропускная способность труб из ВЧШГ больше:

- на 11,1% ( $180 > 160$  л/с на 11,1%), чем у труб из напорного полиэтилена;
- на 5,6% ( $180 > 170$  л/с на 5,6%), чем у труб из стеклопластика.

Удельные потери напора  $1000 i$  в трубах из ВЧШГ с полиуретановым покрытием на 59,8% ( $0,76 < 1,89$  мм/м на 59,8%) меньше, чем в трубах из напорного полиэтилена, и на 63,8% ( $0,76 < 2,10$  мм/м на 63,8%) меньше, чем в трубах из стеклопластика. Следовательно, потребляемая мощность насосов, перекачивающих фактический расход  $q = 180$  л/с на расстояние 1 км, будет меньше, чем в трубах из напорного полиэтилена [1, 5, 6].

При заданном расходе  $q = 180$  л/с  $= 0,18$  м<sup>3</sup>/с средняя скорость в трубе из ВЧШГ с внутренним диаметром  $d_{\text{вн.}} = 0,5168$  м составит (см. табл. 3):

$$V_{\text{ср}}^{\text{пу}} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d_{\text{вн.}}^2} = \frac{4 \cdot 0,18}{3,14 \cdot 0,5168^2} = \frac{0,72}{0,835} = 0,86 \text{ м/с.}$$

По известной методике [6, 7] определим разность в кВт/ч установленной мощности насосов для сравниваемых труб из напорного полиэтилена с диаметром  $d_{\text{вн.}}^{\text{пэ}} = 0,4406$  м и ВЧШГ труб с  $d_{\text{вн.}}^{\text{пу}} = 0,5158$  м:

$$\Delta N_{\text{дв.}} = 10^6 (i^{\text{пэ}} - i^{\text{пу}}) \cdot (d_{\text{вн.}}^{\text{пу}})^2 \cdot V_{\text{ср.}}^{\text{пу}} \cdot \frac{0,00808}{\eta}, \quad \text{кВт/ч (1)}$$

где:

$\Delta N_{\text{дв.}} = N_{\text{дв.}}^{\text{пэ}} - N_{\text{дв.}}^{\text{пу}}$  — разность установленной мощности насосов для труб из разных материалов, транспортирующих заданный расход, кВт/ч;

$i^{\text{пу}}$  — удельные потери напора в трубе из ВЧШГ с полиуретановым внутренним покрытием диаметром  $d_{\text{вн.}}^{\text{пу}} = 0,5168$  м;

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

$$\Delta N_{\text{дв.}} = 10^6 (0,0189 - 0,0076) \cdot 0,5168^2 \cdot 0,86 \cdot \frac{0,00808}{0,7} = 29,8 \frac{\text{кВт}}{\text{ч}}.$$

Потребляемая мощность насоса, установленного на трубопроводе из полиэтилена, в сравнении с потребляемой мощностью насоса, установленного на трубопроводе из ВЧШГ труб с полиуретановой внутренней поверхностью, на 29,8 кВт/ч больше, чем в трубах из ВЧШГ.

Снижение годового расхода электроэнергии, потребляемого насосом на транспортирование заданного расхода  $q$  на расстояние 1 км, определяется по формуле [6]:

$$e_{\Gamma} = 10^6 (i^{пз} - i^{пч}) \cdot (d_{вн.}^{пч})^2 \cdot 67 \cdot V_{ср.}^{пч} \cdot \frac{1}{\eta}, \text{ кВт/ч (2)}$$

$$e_{\Gamma} = 10^6 (0,0189 - 0,0076) \cdot 0,5168^2 \cdot 67 \cdot 0,86 \cdot \frac{1}{0,7} = 248\,675,0 \text{ кВт/год /км}$$

$$= 681,3 \text{ кВт/сут./км} = 28,3 \text{ кВт/ч/ км.}$$

Годовая экономия эксплуатационных затрат за счет снижения установленной мощности насоса, транспортирующего заданный расход на расстояние 1 км, определяется по формуле [6]:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \Delta N_{дв.} \cdot a, \text{ руб/год/км, (3)}$$

где:

$a$  — стоимость 1 кВА установленной мощности при двухставочном тарифе за оплату электроэнергии, руб.

Для рассматриваемого примера принимаем  $a = 15$  руб/1кВА

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \Delta N_{дв.} \cdot a = 29,8 \cdot 24 \cdot 365 = 261\,048 \frac{\text{кВт}}{\text{год}} \cdot 15 \text{ руб.} = 3\,915\,720 \text{ руб/год/км}$$

$$= 3\,915,72 \text{ руб/год/1 м.}$$

Результаты сравнения показателей труб из разных материалов по двум критериям сведены в табл. 4.

**Значения критериев сравнения Таблица 4.**

Вид материала труб	Внутренний диаметр труб $d_{вн.}$ , мм	Критерии выбора материала труб					Оценка эффективности материала труб
		строительный		эксплуатационный			
		стоимость строительной - монтажных работ за	стоимость 1 п. м труб, руб.,	$q$ , м <sup>3</sup> /с	$V$ , м/с	потребляемая мощность насоса, N, кВт/ч *	

		1 п. м, руб., НДС в т. ч.	НДС в т. ч.				
ПЭ-100, SDR 17	440,6	7 326,0	11 414,0	0,1 6	1,0 5	44,30	не эффективен
Стеклопласт- тик SN 10 000 Па	500,0	4 752,0	11 260,0	0,1 7	0,9	54,30	не эффективен
Полиуретан EN 545- 2010	515,8	2 524,0	28 928,1	0,1 8	0,8 6	20,01	эффективен

*\*рассчитана по формуле (1) для конкретного диаметра и материала труб.*

Проведенная оценка эффективности материалов труб по двум критериям позволяет также констатировать, что стоимость насосного оборудования будет для сравниваемых труб наименьшей для труб из ВЧШГ с полиуретановым покрытием, так как для этих труб установленная мощность насоса в 2,2 раза (на 54,6%) меньше установленной мощности насоса для трубопровода из напорного полиэтилена и в 2,7 раза меньше (на 63,0%), чем для трубопровода из стеклопластика.

Анализ данных, представленных в табл. 4, показывает, что:

чугунные раструбные трубы из ВЧШГ с полиуретановым внутренним покрытием являются эффективными по двум критериям оценки — строительному и эксплуатационному.

Трубы из ВЧШГ с полиуретановым покрытием обладают следующими преимуществами:

- энергоэффективностью;
- высокой пропускной способностью;
- неизменностью гидравлического потенциала труб во времени;
- высоким темпом ведения строительно-монтажных работ;
- простотой монтажа труб;
- герметичностью стыков;
- устойчивостью стыкового соединения к сейсмическим воздействиям;
- способностью выдерживать высокое давление;
- неподверженностью к электрохимической коррозии;
- отсутствием затрат на подготовку оснований под трубы;
- длительным сроком службы — 120 лет;
- пригодностью к транспортированию агрессивных сред.

За время эксплуатации трубопроводов в Европе, начиная с 1972 года, нарекания или претензии в адрес производителя труб отсутствуют.

### **Вывод**

Энергоэффективные чугунные раструбные трубы из ВЧШГ с полиуретановым покрытием рекомендуется использовать:

- для снижения энергозатрат при эксплуатации трубопроводов;
- для транспортирования потоков на большие расстояния;
- при большом перепаде высот в начале и в конце трассы;
- в районах с высокой сейсмической активностью;
- для монтажа ответственных трубопроводов и продуктопроводов;
- для экономии средств при устройстве трубопроводов на строительные и эксплуатационные нужды.

### **Литература**

1. Продоус О. А., Мурлин А. А., Иващенко В. В. «Критерии выбора материалов труб для напорных систем коммунального и промышленного водоснабжения» // Материалы X Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2017», г. Астрахань, 4–6 октября 2017. — С. 101–105.
2. Продоус О. А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена. Справочное пособие. Издание 3-е — дополненное // СПб.: «Свое издательство», 2017. — 240 с. ил.
3. ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» // М.: ИПК «Издательство стандартов». 2003. Дата актуализации: 01.12.2016 // [www.internet-law.ru/gost/gost/1419](http://www.internet-law.ru/gost/gost/1419).
4. Продоус О. А., Терехов Л. Д. «Гидравлические характеристики раструбных труб из ВЧШГ с полиуретановым покрытием внутренней поверхности» // «Водоснабжение и санитарная техника», № 5, 2017. — С 53–57.
5. Александров В. И., Киберев В. И. «Оценка эффективности применения полиуретановых покрытий гидротранспортных трубопроводов в сравнении со стальными трубопроводами» // «Обогащение руд». 2016. № 6 (366). — С. 51–66.

6. 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.  
— М.: КМС ВСНТО, 1985. — С. 90–92.
7. Дикаревский В. С., Якубчик П. П., Продоус О. А., Смирнов Ю. А. «Экономичные трубопроводы водоснабжения из напорного железобетона с улучшенными энергосберегающими характеристиками» // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Основные направления развития водоснабжения, водоотведения, очистки природных и сточных вод и осадков», ч. I. Харьков, 1986.  
— С. 38–43.