

О величине НДС армированных стекловолокном полипропиленовых труб

В последнее десятилетие на российском строительном рынке появились полипропиленовые трубы, стенки которых, в отличие от обычных труб из полипропилена [1] и от МПТ, армированы стекловолокном.

В материале [2] сообщается, что трубы, армированные стекловолокном, PN20 и PN25 диаметром 20–63 мм производства Pro Aqua, «Политэк», «РВК» (Россия), SPK (Турция) предназначены для систем горячего водоснабжения (до +75 °С) и отопления (до +95 °С) с номинальным рабочим давлением величиной 2 и 2,5 МПа, соответственно.

Компания ООО «ТД «Эгопласт» предлагает трехслойные полипропиленовые трубы Rubis Fiber Glass, армированные стекловолокном и имеющие две модификации: $SDR = 7,4$ и $SDR = 6$. Они характеризуются следующим образом. Пропиленовые армированные трубы Rubis призваны облегчить труд рабочих и значительно ускорить монтаж, поскольку не требуется использование зачистного инструмента, а также обеспечивается экономия материала. Области применения: Rubis $SDR = 7,4$ — низкотемпературное радиаторное отопление, системы питьевого горячего и холодного водоснабжения, кондиционирование, промышленные трубопроводные сети; Rubis $SDR = 6$ — радиаторное отопление, системы питьевого горячего и холодного водоснабжения, кондиционирование, промышленные трубопроводные сети.

В качестве основных преимуществ труб Pro Aqua Rubis, армированных стекловолокном, в сравнении со стандартными полипропиленовыми трубами [3] называют:

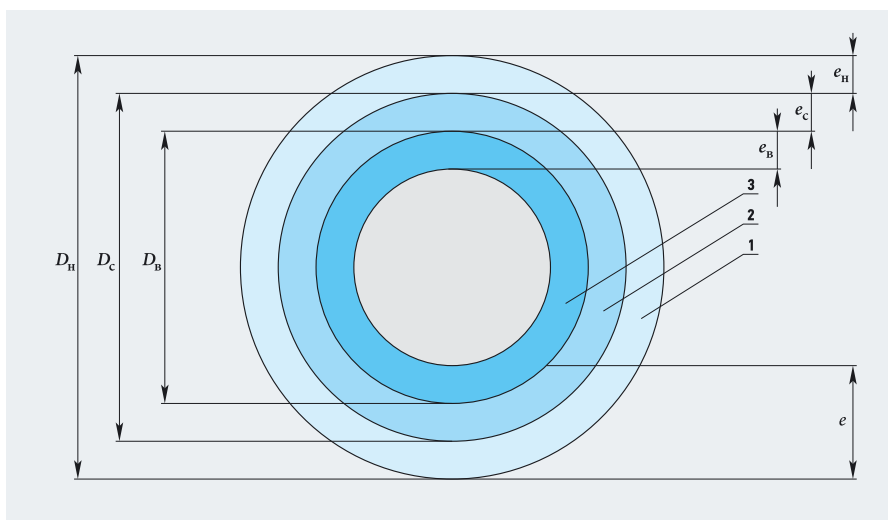
- коэффициент линейного расширения меньше на 75 % (по сравнению с обычными полипропиленовыми трубами);
- пропиленовая армированная труба не требует обязательной предварительной зачистки (как для труб, армированных алюминиевой фольгой);

Пропиленовые армированные трубы Rubis призваны облегчить труд рабочих и значительно ускорить монтаж

- за счет малого линейного расширения — коэффициент линейного расширения равен $0,035 \text{ мм}/(\text{м}\cdot\text{К})$ — увеличивается расстояние между опорами, что позволяет уменьшить общее количество опор и снизить себестоимость монтажа;
- армированная пропиленовая труба обладает увеличенным сроком службы в системах отопления и охлаждения;
- слой стекловолокна обеспечивает прочность труб при меньшей толщине стенки, на 20 % увеличена пропускная способность, теплопроводность ниже, чем у труб, армированных алюминием.

В материале [4] сообщается, что полипропиленовые армированные стекловолокном трубы диаметром от 20 до 110 мм, выпускаемые для снижения коэффициента температурного линейного расширения и повышения прочностных характеристик, имеют следующую характерную особенность: стекловолокно толщиной 0,15 мм находится в толстостенной рабочей трубе под защитным слоем полипропилена. Стекловолокно, находящаяся между двумя слоями пластика, снижает способность труб к расширению до уровня, сопоставимого с металлическими трубами.

Полипропиленовые трубы, армированные стекловолокном, PN 25 обладают всеми физическими свойствами полипропиленовых труб PN 20 и могут безопасно использоваться при давлении 10 бар для подачи жидкости или воздуха с температурой 95 °С.



⊘ Рис. 1. Армированная стекловолокном полипропиленовая труба (1, 2, 3 — наружный, средний и внутренний слои; D_n, D_c, D_b — наружные диаметры наружного, среднего и внутреннего слоев; e, e_n, e_c, e_b — толщины стенок: общая трубы, наружного, среднего и внутреннего слоев)

Авторы: А.А. ОТСТАВНОВ, к.т.н., ведущий научный сотрудник ГУП «НИИ Мосстрой»; В.А. ХАРЬКИН, к.т.н., генеральный директор ООО «Прогресс»

⇨ Размеры АСППТ PPRC-GF SSMK*

табл. 1

Номинальный наружный диаметр $d_{нн}$, мм		Толщины стенок для S (SDR), мм					
		2 (5)		2,5 (6)		3,2 (7,4)	
		Рабочее давление, бар					
		PN 25		PN 20		PN 16	
ном.	предвар. отклонение	ном.	предвар. отклонение	ном.	предвар. отклонение	ном.	предвар. отклонение
20	0,3	4,1	0,7	3,4	0,6	2,8	0,5
25	0,3	5,1	0,8	4,2	0,7	3,5	0,6
32	0,3	6,5	0,9	5,4	0,8	4,4	0,7
40	0,4	8,1	1,1	6,7	0,9	5,5	0,8
50	0,5	10,1	1,3	8,3	1,1	6,9	0,9
63	0,6	12,7	1,5	10,5	1,3	8,6	1,1
75	0,7	15,1	1,8	12,5	1,5	10,3	1,3
90	0,9	18,1	2,1	15	1,7	12,3	1,5
110	1	22,1	2,5	18,3	2,1	15,1	1,8
125	1,2	25,1	2,8	20,8	2,3	17,1	2
140	1,3	28,1	2,9	23,3	2,6	19,2	2,2
160	1,5	32,1	3,3	26,6	2,9	21,9	2,4

* Выборка из ТУ 2248-010-33137731–2012.

⇨ Размеры АСППТ GPPRC-GF SSMK (рис. 1)

табл. 2

DN	Толщины стенок, в том числе послойно, труб (на рабочие давления), мм											
	PN 16				PN 20				PN 25			
	e	e_n	e_c	e_b	e	e_n	e_c	e_b	e	e_n	e_c	e_b
20	2,8	0,56	1,4	0,84	3,4	0,68	1,7	1,02	4,1	0,82	2,05	1,23
25	3,5	0,7	1,75	1,05	4,2	0,84	2,1	1,26	5,1	1,02	2,55	1,53
32	4,4	0,88	2,2	1,32	5,4	1,08	2,7	1,62	6,5	1,3	3,25	1,95
40	5,5	1,1	2,75	1,65	6,7	1,34	3,35	2,01	8,1	1,62	4,05	2,43
50	6,9	1,38	3,45	2,07	8,3	1,66	4,15	2,49	10,1	2,02	5,05	3,03
63	8,6	1,72	4,3	2,58	10,5	2,1	5,25	3,15	12,7	2,54	6,35	3,81
75	10,3	2,06	5,15	3,18	12,5	2,5	6,25	3,75	15,1	3,02	7,55	4,53
90	12,3	2,46	6,15	3,69	15	3	7,5	4,5	18,1	3,62	9,05	5,43
110	15,1	3,02	7,55	4,53	18,3	3,66	9,15	5,49	22,1	4,42	11,05	6,63
125	17,1	3,42	8,55	5,13	20,8	4,16	10,4	6,24	25,1	5,02	12,55	7,53
140	19,2	3,84	9,6	5,76	23,3	4,66	11,65	6,99	28,1	5,62	14,05	8,43
160	21,9	4,38	10,95	6,57	26,6	5,32	13,3	7,98	32,1	6,42	16,05	9,63

⇨ Размеры АСППТ GPPRC-GF SSMK (рис. 1)

табл. 3

DN	Значения наружных диаметров наружного, среднего и внутреннего слоев труб (на рабочие давления), мм								
	PN 16			PN 20			PN 25		
	D_n	D_c	D_b	D_n	D_c	D_b	D_n	D_c	D_b
20	20	18,88	16,08	20	18,64	15,24	20	18,36	14,26
25	25	23,6	20,1	25	23,32	19,12	25	22,96	17,86
32	32	30,24	25,96	32	29,84	24,44	32	29,4	22,9
40	40	37,8	32,3	40	37,32	30,62	40	36,66	28,66
50	50	47,26	40,34	50	46,88	38,38	50	45,96	35,86
63	63	59,56	50,96	63	58,8	48,3	63	57,92	45,22
75	75	70,88	60,58	75	70	59,5	75	68,96	53,86
90	90	84,88	72,78	90	84	69	90	82,76	64,66
110	110	103,96	88,86	110	102,68	84,38	110	101,16	79,06
125	125	118,16	101,06	125	116,68	96,6	125	114,96	89,86
140	140	132,32	113,12	140	130,68	107,38	140	128,76	100,66
160	160	151,24	129,34	160	149,36	122,76	160	147,16	115,06

Слой стекловолокна в полипропиленовых армированных трубах, помимо прочего, выполняет «кислородозапирающие» функции. По заявлению автора, его статья [5] посвящена анализу характеристик полипропиленовой трубы, армированной стекловолокном, в зависимости от процентного содержания фиброволокон и толщины армированного слоя.

В трубе внутренний и наружный слой выполнены из полипропилена, а средний — из смеси полипропилена и добавки в виде фиброволокон, стабилизирующей линейное температурное расширение полипропиленовой трубы. Фибра из стекла (или стекловолокно) обладает низким значением $K_p = 0,009$ мм/(м·°С).

Полипропилен в среднем слое трубы позволяет развернуться волокнам фибры с образованием материала с единой армированной структурой и постоянными для слоя макросвойствами

Армирование стекловолокном PP-R производится в середине между внешним и внутренним слоями полипропилена так, что получается трехслойная труба PP-R/PP-R-GF/PP-R (где GF — glass fiber, стекловолокно). Полипропилен в среднем слое трубы, являющийся несущим материнским материалом, позволяет развернуться волокнам фибры с образованием материала с единой армированной структурой и постоянными для данного слоя макросвойствами и обеспечивает условия для создания прочной молекулярной связи между собой всех трех слоев трубы.

Количество слоев выбрано из следующей логики: внутренний и наружный слой трубы не должны содержать добавок из фибры. Для внутреннего слоя это вызвано необходимостью обеспечить гигиеническую безопасность (исключение проникновения фибр в транспортируемую воду) и износостойкости (истираемости) труб, которая должна обеспечивать эксплуатацию системы водоснабжения или отопления в течение эксплуатационного срока; для внешнего слоя — необходимостью проведения монтажа без нарушения целостности срединного слоя, обеспечения прочности сварки полипропиленовой трубы и полипропиленовых фитингов.

Важная задача при массовом производстве труб, армированных стекловолокном, — это соблюдение стабильности геометрических и физико-механических

показателей от партии к партии, от диаметра к диаметру. Параметрами, определяющими значение физико-механических показателей труб, армированных стекловолокном, являются процентное содержание стекловолокна в среднем слое и значение толщины среднего слоя.

Выбор производителем процентного содержания в среднем слое армирующего волокна и полипропилена зависит от нескольких причин. С одной стороны, смесь должна быть такой, чтобы проходя через экструдер, она могла свариться с внешним и внутренним слоем трубы. С другой стороны, массовая доля добавки из стекловолокна должна обеспечивать требуемое значение коэффициента линейного температурного расширения. Важна также и толщина слоя, в котором это стекловолокно распределено.

К сожалению, ни в одной из перечисленных публикаций нет доказательной базы, подтверждающей все позитивные характеристики полипропиленовых труб, армированных стекловолокном. Мало того, практически ни в одной публикации не приводятся какие-либо физико-механические показатели материалов, которые использованы для производства труб. Исключением, пожалуй, являются армированные стекловолокном полипропиленовые трубы (далее АСППТ), производимые по ТУ 2248-010-33137731-2012 [6] (далее АСППТ PPRC-GF SSMK). К примеру, в ТУ наряду с некоторыми показателями приводится соотношение слоев, начиная от наружного слоя 2:5:3, причем толщина среднего слоя не должна превышать 60% от общей толщины стенки трубы.

АСППТ, производимые по ТУ 2248-010-33137731-2012 (табл. 1), ранжируются точно так же, как и трубы из термопластов со сплошной однородной стенкой — по номинальному наружному диаметру d_n , по размерному отношению SDR (отношение номинального наружного диаметра к номинальной толщине e_n стенки трубы) и по номинальной серии S (отношение расчетного напряжения σ_s к максимально допустимому рабочему давлению p_{PMs}).

Как следует из ТУ, стенка АСППТ PPRC-GF SSMK состоит из трех слоев (рис. 1). Слои стенок характеризуются собственными значениями толщин (табл. 2) и наружных диаметров (табл. 3) в соответствии с номинальным наружным диаметром АСППТ GPPRC-GF SSMK. Из ТУ пункт 4.6: «...Распределение слоев от наружного к внутреннему слою, включая центральный PPRC-GF-слой, выполняется в пропорциях: 20, 30 и 50 %...».

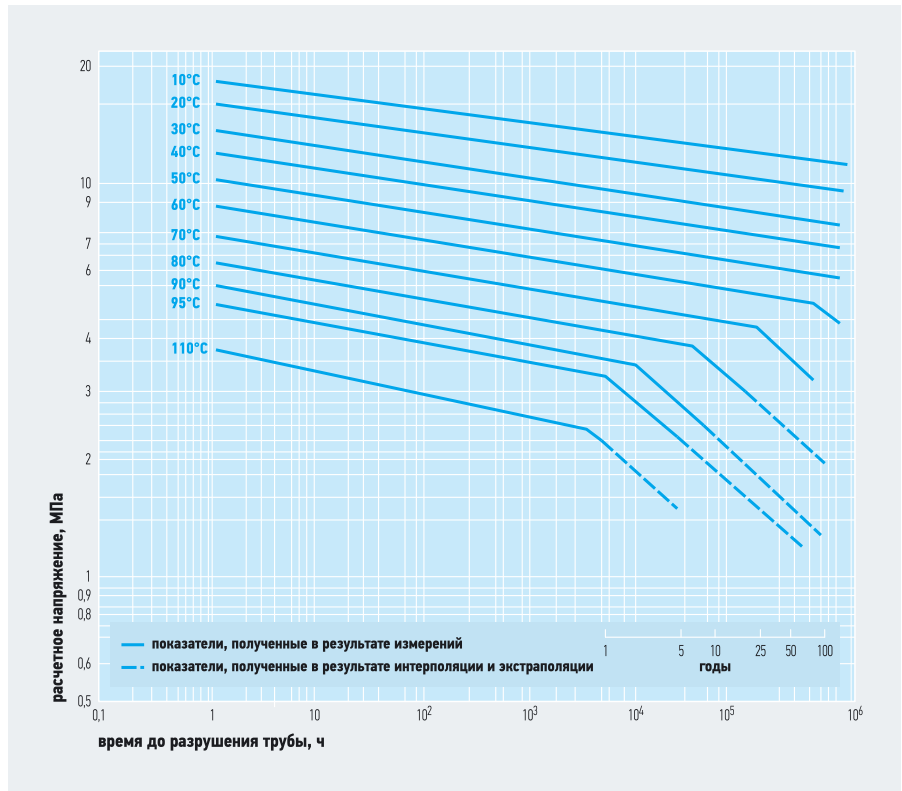


Рис. 2. Эталонные кривые длительной прочности материала труб PPRC-GF SSMK и соединительных частей к ним (выборка из ТУ 2248-010-33137731-2012)

Внутреннее давление P создает в стенках труб продольные усилия N , которые сопровождаются растягивающими напряжениями в материале стенок. Для труб из термопластов с однородной сплошной стенкой растягивающее напряжение, действующее в поперечном сечении вдоль продольной оси трубы, определяется по формуле Надаи:

$$\sigma_p = \frac{P(D-e)}{2e} = 0,5P(SDR-1), \quad (1)$$

где D и e — наружный диаметр и толщина стенки трубы; SDR — отношение наружного диаметра трубы к толщине стенки. Стенка трубы, находящаяся под действием указанного растягивающего напряжения, деформируется (удлиняется).

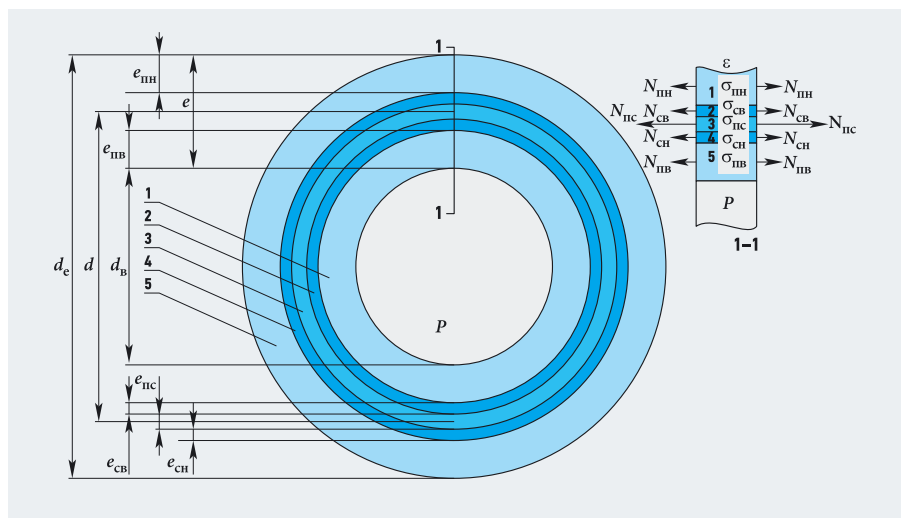


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние стенки АСППТ в окружном направлении при действии в ней внутреннего давления (стрелками показаны направления продольных сил для каждого слоя; 1 и 5 — внутренний и наружный полипропиленовые слои; 3 — армированный стекловолокном полипропиленовый слой; 4 и 2 — внутренний и наружный сварные слои; d_e , d_b — наружный, средний и внутренний диаметры трубы; $e_{пн}$, $e_{пв}$ — толщины наружного и внутреннего полипропиленовых слоев; $e_{пс}$ — толщина армированного стекловолокном полипропиленового слоя; $e_{св}$, $e_{сн}$ — толщины внутреннего и наружного сварных слоев; P — внутреннее давление; $N_{пн}$, $\sigma_{пн}$ и $N_{пв}$, $\sigma_{пв}$ — продольные силы и растягивающие напряжения для наружного и внутреннего полипропиленовых слоев; $N_{пс}$, $\sigma_{пс}$ — продольная сила и растягивающее напряжение для армированного стекловолокном полипропиленового слоя; $N_{св}$, $\sigma_{св}$ и $N_{сн}$, $\sigma_{сн}$ — продольные силы и растягивающие напряжения для внутреннего и наружного сварных слоев; ϵ — относительное удлинение стенки трубы)

Окружное относительное удлинение однородной сплошной стенки трубы, находящейся под действием внутреннего давления:

$$\varepsilon = 0,5(SDR - 1) \frac{P}{E}, \quad (2)$$

где E — модуль упругости термопласта. Если рассматривать стенки труб (табл. 1) сплошными и однородными, то кратковременные значения растягивающих напряжений в них от внутреннего давления составят 5 МПа. Другое дело, когда стенка трубы состоит из нескольких i слоев, материал которых характеризуется различными величинами физико-механических показателей, в том числе модулей упругости E_i . Продольные усилия N_i в каждом слое будут наводиться только определенной частью внутреннего давления P_i , приходящейся именно на конкретный слой (наружный P_H , средний P_C и внутренний P_B), причем:

$$P_H + P_C + P_B = P. \quad (3)$$

И так как слои являются составным элементом стенки трехслойной трубы АСППТ PPRC-GF SSMK, находящейся под действием внутреннего давления, их относительные удлинения (наружного слоя e_H , среднего e_C и внутреннего слоя e_B) будут одинаковыми:

$$e_H = e_C = e_B = e. \quad (4)$$

Их значения определяются как:

□ для наружного слоя e_H :

$$\varepsilon_H = 0,5(SDR_H - 1) \frac{P_H}{E_H}, \quad (5)$$

□ для среднего слоя e_C :

$$\varepsilon_C = 0,5(SDR_C - 1) \frac{P_C}{E_C}, \quad (6)$$

□ для внутреннего слоя e_B :

$$\varepsilon_B = 0,5(SDR_B - 1) \frac{P_B}{E_B}, \quad (7)$$

где SDR_H , SDR_C , SDR_B — отношение наружных диаметров слоев к их толщине (табл. 4); E_H , E_C , E_B — модули упругости материалов наружного, среднего и внутреннего слоев на момент рассмотрения напряженно-деформированного состояния трубопровода. При совместном решении уравнений (4)–(7) удалось определить составные части внутреннего давления и соответствующие характеристики НДС (относительное удлинение и растягивающие напряжения) трехслойной трубы АСППТ PPRC-GF SSMK диаметром 25 мм, находящейся под действием внутреннего рабочего давления (табл. 5). Из табл. 5 видно, что растягивающие напряжения материалов наружного и внутреннего полипропиленовых слоев меньше растягивающих напряже-

:: Размеры АСППТ GPPRC-GF SSMK

табл. 4

DN	Отношения наружных диаметров к толщине слоев (наружного SDR_H , среднего SDR_C и внутреннего SDR_B), $SDR_i = D_i/e_i$, стенок труб на рабочее давление PN								
	1,6			2			2,5		
	SDR_H	SDR_C	SDR_B	SDR_H	SDR_C	SDR_B	SDR_H	SDR_C	SDR_B
20	35,71	13,49	19,14	29,41	10,96	14,94	24,39	8,96	11,59
25	35,71	13,49	19,14	29,76	11,1	15,17	24,5	9	11,67
32	36,36	13,75	19,67	29,63	11,05	15,09	24,62	9,05	11,74
40	36,36	13,75	19,58	29,85	11,14	15,23	24,69	9,05	11,79
50	36,23	13,7	19,49	30,12	11,3	15,41	24,75	9,1	11,83
63	36,62	13,85	19,75	30	11,2	15,33	24,8	9,12	11,87
75	36,4	13,76	19,05	30	11,2	15,87	24,83	9,13	11,89
90	36,59	13,8	19,72	30	11,2	15,33	24,86	9,14	11,9
110	36,42	13,77	19,62	30,05	11,22	15,34	24,89	9,15	11,92
125	36,55	13,82	19,7	30,05	11,22	15,48	24,9	9,16	11,93
140	36,46	13,78	19,64	30,04	11,22	15,36	24,91	9,16	11,94
160	36,53	13,81	19,69	30,08	11,23	15,38	24,92	9,17	11,95

:: Характеристики НДС стенок АСППТ PPRC-GF SSMK диаметром 25 мм*

табл. 5

PN, бар	Характеристика	наружная стенка	средняя стенка	внутренняя стенка
16	P , МПа	0,115	1,277	0,208
	ε , %	0,2	0,2	0,2
	σ_p , МПа	2	8	2
20	P , МПа	0,146	1,567	0,289
	ε , %	0,22	0,22	0,22
	σ_p , МПа	2,2	8,8	2,2
25	P , МПа	0,179	1,946	0,375
	ε , %	0,22	0,22	0,22
	σ_p , МПа	2,2	8,8	2,2

* $\sigma_p = eE$, где приняты кратковременные значения $E_H = E_B = 1000$ МПа согласно данным ТУ, $E_C = 4000$ МПа априори.

ний (5 МПа), которые учитывались при разработке сортаментов АСППТ (табл. 1), в 2,27–2,5 раза, а среднего композитного слоя — больше в 1,6–1,76 раз. Из отмеченного факта вытекает следующий вывод: процессы старения полипропилена и композита, являющихся различными по своей природе материалами и к тому же находящимися под действием растягивающих напряжений, различающихся в четыре раза, будут протекать различно, а не в соответствии с рекомендуемыми к использованию в ТУ на трубы кривыми регрессии для полипропилена (рис. 2). Следует заметить, что стенки АСППТ PPRC-GF SSMK не трехслойные, а пятислойные (рис. 3), ведь, как отмеча-

ется в [5], смесь полипропилена со стекловолокном, проходя через экструдер, должна свариться с внешним и внутренним слоями из полипропилена.

Каковыми могут быть действительные напряженно-деформированные состояния пятислойных АСППТ и каким образом следует прогнозировать их долговременную прочность в трубопроводах горячего/холодного водоснабжения и отопления с учетом температурных нагрузок, нами может быть рассмотрено в следующих статьях. ●

Параметрами, определяющими значение физико-механических показателей труб, армированных стекловолокном, являются процентное содержание стекловолокна в среднем слое и значение толщины среднего слоя

- СП 40-101-96. Проектирование и монтаж трубопроводов из полипропилена random сополимер.
- Трубы ПП, армированные стекловолокном PN 20, PN 25 // Интернет-ресурс www.normaplast.ru.
- Бухин В.Е., Куниц Р.А. Трубопроводы напорные из полипропилена для систем водоснабжения, отопления и технологических трубопроводов // Интернет-ресурс www.troipolymer.ru.
- Трубы полипропиленовые армированные стекловолокном (Glass Fiber) для горячего водоснабжения и отопления // Интернет-ресурс www.lipetskplast.ru.
- Козлов О.В. Особенности конструкции полипропиленовых (PPR) труб, армированных стекловолокном для систем водоснабжения и отопления // Интернет-ресурс www.vashdom.ru.
- ТУ 2248-010-33137731-2012. «Трубы напорные из полипропилена PPRC-GF SSMK и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления».