



**ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ПО ИСПЫТАНИЯМ ЭНЕРГОСИСТЕМ И КОНСТРУКЦИЙ
ТРУБОПРОВОДОВ
ИЛ НПП «ЭНЕРГОСИСТЕМЫ»**

ИЛ Э и Т

Утверждаю

Генеральный директор
НПП «Энергосистемы»

С.В. Романов



ИЛ Т и Э аккредитована
на независимость и
техническую компетентность
Аттестат аккредитации
№ ТЭК RU.03 ЮЛ 22-Кор-012
№ ТЭК RU.03 ЮЛ 22-Кор-014
Дата регистрации 11.09.2022 г.
Действителен до 10.09.2025 г.
Россия, 105094, Москва, Семеновская наб., д. 2/1
тел. (926) 545-58-66

Протокол периодических испытаний.

№ 43/57-а

« 21 » июня 2023г.

Наименование материала и НД на продукцию: проведение периодических испытаний образцов тепловой пенополиуретановой изоляции, и полиэтиленовой оболочки, изготовленных из фрагментов теплопроводов и фасонных изделий $D_n=108\text{мм}$, $D_n=180\text{мм}$, $D_n=57\text{мм}$, $D_n=140\text{мм}$ (Акт отбора проб №009-л от 11-01-2023г) ООО «Эластокам» изготовленных на основе компонента полиэфирного (ППУ) системы Сибуфом Т/103 и Сибуфом Т/102 по ТУ 20.59.59-111-54409607-2023 и полиизоцианата импортного производства на соответствие требованиям ГОСТ 30732-2020.

Работа выполнена на основании: договора с ООО «НПП «Энергосистемы».

Заказчик (поставщик): ООО «Эластокам» 23570, Россия, Р.Т.,г. Нижнекамск, Промзона.

Наименование НД на методы испытаний: Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия. ГОСТ 30732-2020.

Количество испытуемых образцов и их размеры (описание): согласно программе испытаний и ГОСТ 30732-2020

Результаты испытаний: результаты испытаний распространяются только на образцы, представленные заказчиком.

ПРОГРАММА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Таблица 1

№ п/п	Наименование объекта испытаний (показателей, характеристик и т.д.)	Наименование НД, устанавливающего метод испытаний	Количество испытуемых образцов
1.	По ППУ теплоизоляции		
1.1.	Плотность среднего слоя ППУ.	ГОСТ 30732; EN 253;	3 шт.
1.2.	Прочность пенополиуретана при сжатии при 10%-ной деформации в радиальном направлении.	ГОСТ 30732; EN 253; ГОСТ 23206;	3 шт.
1.3.	Водопоглощение (при кипячении).	ГОСТ 30732; EN 253;	3 шт.
1.4.	Средний размер ячеек ППУ в радиальном направлении при температуре (23±2) °С	ГОСТ 30732;	1 шт.
1.5.	Теплопроводность ППУ до старения Т _{ср.} = (50±2) °С	ГОСТ 30732;	3 шт.
1.6.	Теплопроводность ППУ до старения Т _{ср.} = (50±2) °С (метод трубы)	ГОСТ 30732;	3 шт.
1.7.	Теплопроводность ППУ после старения Т _{ср.} (90 ± 1)°С в течении 150 суток, Т окр. среды (23 ± 2) °С, Т _{ср.} после старения (50±2) °С (метод трубы)	ГОСТ 30732;	3 шт.
1.8.	Прочность на сдвиг в осевом направлении до старения Т(23±2) °С	ГОСТ 30732;	3 шт.
1.9.	Прочность на сдвиг в осевом направлении Т ст. трубы (180 ± 0,5) °С в течение 1700 ч., затем охлаждают до температур испытаний (150±2)°С и (23±2) °С	ГОСТ 30732;	3 шт.
1.10.	Радиальная ползучесть изоляции при температуре 150 °С. В течение 1000 ч	ГОСТ 30732;	2 шт.
1.11.	Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении до старения при Т(23±2) °С	ГОСТ 30732;	3 шт.
1.12.	Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении после старения Т ст. трубы (180 ± 0,5) °С в течение 1700 ч., затем охлаждают до температуры испытания (23±2) °С	ГОСТ 30732;	3 шт.
1.13.	Температуроустойчивость при 150°С в течение 330 часов.	ГОСТ 30732; Методика НПП Энергосистемы	3 шт.
2.	Определение расчетной температуры эксплуатации ППУ изоляции в течение 30 лет		
2.1.	Прочность на сдвиг в осевом направлении при Т (184/187/192) °С	ГОСТ 30732;	3 шт.
2.2.	Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении при Т (184/187/192)°С	ГОСТ 30732;	3 шт.
3.	По полиэтиленовой гидрозащитной оболочке		
3.1.	Относительное удлинение при разрыве	ГОСТ 30732;	3 шт.
3.2.	Изменение длины ПЭ трубы-оболочки после прогрева при Т= 110°С	ГОСТ 30732;	3 шт.
4.	По стальной трубе		
4.1.	Определение степени очистки и качества подготовки поверхности стальной трубы	ГОСТ 30732; ISO 8501-1.	

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Наименование испытательного оборудования, средств измерений	Учетный номер
1.	Нагреватель, L=2,2м. W=1квт	76
2.	Комплект измерительный К-505	7907
3.	Регулятор напряжения типа ЛАТР	54
4.	Измеритель-регулятор температуры ИРТ-4/2	995
5.	Термопары Гр. ТХА 0-3000; 2,5	07
6.	Адаптивный стабилизатор SPR 5000 VA	78
7.	Весы ЕК-300i	023
8.	Машина сжатия МС-100	560
9.	Машина разрывная Р-20	1633
10.	Установка ТС-01/50	127
11.	Установка ОС-01/50	129
12.	Цифровой динамометр НЕ-50К	320501
13.	Прибор ИИРТ-АМ	5832
14.	Шкаф сушильный СНОЛ-3,5/3,5	30556
15.	Штангенциркуль Кл.2	Э 46617
16.	Линейка 500	01
17.	Рулетка	02
18.	Установка РП-01/150	458
19.	Микроскоп	Л-348
20.	Прибор СПВ-2	3-08

Условия проведения испытаний: температура воздуха - $(23 \pm 5) \text{ C}$,
относительная влажность - $(65 \pm 5) \%$.

Сроки проведения испытаний: с «11» января 2023 г. по «21» июня 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Результаты проведение периодических испытаний фрагментов труб стальных с тепловой ППУ изоляцией $D_n=108$ мм., $D_n=180$ мм., $D_n=57$ мм., $D_n=140$ мм., на основе системы Сибуфом Т/103 изготовлен по ТУ 20.59.59-111-54409607-2023 изготовитель ООО «Эластокам» и полиизоцианата импортного производства, на соответствие техническим требованиям ГОСТ 30732-2020 «Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой» (далее ГОСТ 30732) по показателям качества, изложенным в программе испытаний:

1. Пенополиуретановая изоляция изготовленная на основе Компонента «А» полиэфирного полиола марки Сибуфом Т/103 и Компонента «Б» Полиизоцианата марки Wannate PM-200 в разрезе имеет однородную, замкнутую, мелкоячеистую структуру, средний размер ячеек в радиальном направлении- 0,40мм, пустоты отсутствуют, соответствует требованию ГОСТ 30732-2020.
2. Степень очистки стальной трубы –Sa 2 ½ по ISO 8501-1 (дробеструйная очистка), что соответствует требованиям ГОСТ 30732-2020.
3. Размеры и отклонения полиэтиленовых труб-оболочек соответствуют ГОСТ 30732-2020.
4. Отклонение осевых линий стальной трубы и оболочек соответствуют ГОСТ 30732-2020.
5. Труба-оболочка полиэтиленовая имеет гладкую наружную поверхность, продольные полосы и волнистость не выводят толщину стенки трубы за пределы допускаемых отклонений. На наружной, внутренней и торцевой поверхностях трубы-оболочки отсутствуют пузыри, трещины, раковины, посторонние включения. Концы труб-оболочек не имеют заусенцев. Цвет трубы-оболочки – черный. Соответствует ГОСТ 30732-2020.
6. Результаты испытаний в приложении № 1.

Вывод:

Результаты проведения периодических испытаний пенополиуретановой изоляции изготовленной на основе Компонента «А» полиэфирного полиола марки - Сибуфом Т/103 (изготовлен по ТУ 20.59.59-111-54409607-2023) для жесткой пенополиуретановой теплоизоляции и Компонента «Б» Полиизоцианата марки Wannate PM-200, представленные ООО «Эластокам», позволяют сделать вывод, что Пенополиуретан соответствует требованиям ГОСТ 30732-2020 по показателям качества, изложенным в программе испытаний, и может использоваться в предизолированных трубах для тепловых сетей при температуре теплоносителя 150⁰С в пределах графика качественного регулирования отпуска тепла 150⁰С - 70⁰С.

2) Результаты периодических испытаний пенополиуретановой изоляции изготовленной на основе Компонента «А» полиэфирного полиола марки - Сибуфом Т/102 по ТУ 20.59.59-111-54409607-2023 для жесткой пенополиуретановой теплоизоляции и Компонента «Б» Полиизоцианата марки Wannate PM-200, предоставленные ООО «Эластокам» по показателям качества, изложенным в программе испытаний:

1. Пенополиуретановая изоляция изготовленная на основе Компонента «А» полиэфирного полиола марки Сибуфом - Т/102 и Компонента «Б» Полиизоцианата марки Wannate PM-200 в разрезе имеет однородную, замкнутую, мелкоячеистую структуру, средний размер ячеек в радиальном направлении- 0,39мм, пустоты отсутствуют, соответствует требованию ГОСТ 30732-2020.
2. Степень очистки стальной трубы –Sa 2 ½ по ISO 8501-1 (дробеструйная очистка), что соответствует требованиям ГОСТ 30732-2020.
3. Размеры и отклонения полиэтиленовых труб-оболочек соответствуют ГОСТ 30732-2020.
4. Отклонение осевых линий стальной трубы и оболочек соответствуют ГОСТ 30732-2020.
5. Труба-оболочка полиэтиленовая имеет гладкую наружную поверхность, продольные полосы и волнистость не выводят толщину стенки трубы за пределы допускаемых отклонений. На наружной, внутренней и торцевой поверхностях трубы-оболочки отсутствуют пузыри, трещины, раковины, посторонние включения. Концы труб-оболочек не имеют заусенцев. Цвет трубы-оболочки – черный. Соответствует ГОСТ 30732-2020.
6. Результаты испытаний в приложении №2.

Вывод:

Результаты периодических испытаний пенополиуретановой изоляции изготовленной на основе Компонента «А» полиэфирного полиола марки - Сибуфом Т/102 (изготовлен по ТУ 20.59.59-111-54409607-2023) для жесткой пенополиуретановой теплоизоляции и Компонента «Б» Полиизоцианата марки Wannate PM-200, представленные ООО «Эластокам», позволяют сделать вывод, что Пенополиуретан соответствует требованиям ГОСТ 30732-2020 по показателям качества, изложенным в про-грамме испытаний, и может использоваться в предизолированных трубах для тепловых сетей при температуре теплоносителя 150⁰С в пределах графика качественного регулирования отпуска тепла 150⁰С - 70⁰С.

Размножение протокола возможно только с разрешения ИЛ НПП «Энергосистемы» и ИЛ «Трубопроводы и энергооборудование».

Зав. ИЛ Т и Э, доцент к.т.н.

А.А. Ольхов

Старший научный сотрудник

В.А. Копцов



Handwritten signature

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

образцов, изготовленных из пенополиуретановой ППУ изоляции система - Сибуфом Т/103 по ТУ 20.59.59-111-54409607-2023 трубопроводов в полиэтиленовой оболочке, $D_n=108$ мм, $D_{in}=180$ мм, $D_n=57$ мм., $D_i=140$ мм. представленных ООО «Эластокам».

1. Пенополиуретан в разрезе имеет однородную, замкнутую, мелкоячеистую структуру, пустоты отсутствуют. Соответствует ГОСТ 30732-2020 «Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой».
2. Поверхность образцов стальных труб высушена и очищена до степени очистки - Sa 2 ½ по ISO 8501-1 (дробеструйная очистка), что соответствует ГОСТ 30732.
3. Размеры и отклонения размеров образцов полиэтиленовых труб-оболочек соответствуют ГОСТ 30732.
4. Изолированные трубы оснащены проводниками СОДК.
5. Маркировка предоставленных изолированной трубы соответствует ГОСТ 30732.
6. Трубы-оболочки имеют гладкую наружную поверхность, продольные полосы и волнистость не выводят толщину стенки трубы за пределы допускаемых отклонений. На наружной, внутренней и торцевой поверхностях трубы-оболочки отсутствуют пузыри, трещины, раковины, посторонние включения. Концы труб-оболочек не имеют заусенцев. Цвет трубы-оболочки – черный.
7. Под покровный слой трубы пенополиуретановой изоляции и полиэтиленовой оболочке $D_n=108$ мм, $D_{in}=180$ мм. установлены два проводника-индикатора в положениях, соответствующих 3 и 9 ч. Продольный шов стальной трубы располагается в положении 12 ч.
8. Электрическое сопротивление между стальной трубой и соединенными проводниками-индикаторами, стальной оболочкой и соединенными проводниками-индикаторами составляет более 100 Мом, что соответствует требованиям ГОСТ 30732.

1. Плотность среднего слоя ППУ.

№ обр.	Габаритные размеры образца, мм.	Масса образца, т, кг.	Объем образца, $V, м^3$.	Плотность образца, $\gamma, кг/м^3$	Норма по ГОСТ 30732
1.1	30 × 30 × 30	$2,30 \times 10^{-3}$	$0,027 \times 10^{-3}$	85,2	не менее 60
1.2	– " –	$2,36 \times 10^{-3}$	– " –	87,4	
1.3	– " –	$2,21 \times 10^{-3}$	– " –	81,8	
Среднее значение				84,8	

- 1.1 Средний размер ячеек ППУ в радиальном направлении при температуре $(23 \pm 2)^\circ C$

№ обр.	L, мм.	Плотность образца, $\gamma, кг/м^3$	Размер ячеек, мм.	Норма по ГОСТ 30732
1.1	10	85,2	0,40	не более 0,5 мм
1.2	– " –	87,4	0,39	
1.3	– " –	81,8	0,41	
Среднее значение			0,40	

2. Прочность при сжатии пенополиуретана при 10% деформации в радиальном направлении.

№ обр.	Габаритные размеры образца, мм.	Масса образца, м.г.	Нагрузка, Р, кН	Предел прочности, $\sigma_{сж1}, МПа$	Норма по ГОСТ 30732
2.1	30 × 30 × 30	2,28	0,50	0,56	не менее 0,3
2.2	– " –	2,27	0,50	0,56	
2.3	– " –	2,23	0,50	0,56	
Среднее значение				0,56	

3. Водопоглощение при кипячении, % по объему.

№ обр.	Габаритные Размеры образца, мм.	Масса до испытания м, г.	Масса после испытания m_1 , г	Водопоглощение, W, % по объему.	Норма по ГОСТ 30732
3.1	30 × 30 × 30	2,30	3,37	4,0	не более 10
3.2	– " –	2,24	3,32	4,0	
3.3	– " –	2,21	3,34	4,2	
Среднее значение				4,1	

4. Объёмная доля закрытых пор при температуре (23±2)°C

Количество закрытых пор (Π_3), %, вычисляется по формуле:

$$\Pi_3 = \Pi_n - \Pi_o, \text{ где:}$$

Π_n – полный объем пор, %;

Π_o – объем открытых пор, %.

Полный объем пор (Π_n), % вычисляется с точностью до 1% по формуле:

$$\Pi_n = \left(\frac{\gamma_n - \gamma_k}{\gamma_n} \right) \cdot 100, \text{ где:}$$

γ_n – плотность полиуретана, равная 1170 кг/м³;

γ_k – кажущаяся плотность жёсткого пенополиуретана.

Объем открытых пор (Π_o), % принимается равным водопоглощению в процентах, определяемому по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_o}{V_o \times \gamma}, \text{ где:}$$

m_o – масса сухого образца, г;

m_1 – масса образца после кипячения в дистиллированной воде в течение 90 мин, г;

V_o – объем образца, см³.

γ – плотность воды при температуре (23±5) °C

Исходные данные: - средняя плотность пенополиуретана $\gamma_{cp.} = 84,8$ кг/м³;

- водопоглощение $W_{cp.} = 4,1\%$

$$\Pi_n = \left(\frac{\gamma_n - \gamma_k}{\gamma_n} \right) \cdot 100 = \left\{ \frac{1170 - 84,8}{1170} \right\} \cdot 100 = 92,8\%;$$

$$\Pi_o = W_{cp.} = 4,1\%;$$

$$\Pi_3 = \Pi_n - \Pi_o = 92,8 - 4,1 = 88,7\%$$

Норма по МГСН 6.03-03 не менее 88 %.

5. Температуроустойчивость при 150 °C в течение 330 часов.

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	м, г.	m_1 , г.	P, кН	$\sigma_{сж.}$ МПа	$K = \frac{\sigma_{сж.}}{\sigma_{сж.1}^*}$	Методика НПШ Энергосистемы
5.1	30 × 30 × 30	2,35	2,30	0,50	056	1,00	$K_{cp.} \geq 0,9$
5.2	– " –	2,28	2,24	0,50	0,56		
5.3		2,26	2,21	0,50	0,56		
Среднее значение					0,56		

* $\sigma_{сж.1}$ - прочность на сжатие технологических образцов (см. п.2.)

6. Теплопроводность образцов ППУ.

6.1. При температуре $T_{cp}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

№ обр.	Толщина образца, δ , мм	Плотность образца, γ , кг/м ³	Термическое сопротивление R , м ² × К/Вт	Плотность теплового потока, q , Вт/м ²	Теплопроводность, λ , Вт/м × К	Норма по ГОСТ 30732.
6.1	13,5	86,4	0,506	29,5	0,028	не более 0,033
6.2	14,2	85,7	0,498	28,4	0,028	
6.3	13,9	89,0	0,493	28,1	0,028	
6.4	14,6	84,4	0,514	27,3	0,027	
6.5	14,7	83,6	0,514	27,3	0,027	
Среднее значение					0,028	

6.2 При температуре $T_{cp}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

№ обр.	Толщина образца, δ , мм	Плотность образца, γ , кг/м ³	Термическое сопротивление R , м ² × К/Вт	Плотность теплового потока, q , Вт/м ²	Теплопроводность, λ , Вт/м × К	Норма по ГОСТ 30732
6.1	13,5	86,4	0,418	72,7	0,031	не более 0,033
6.2	14,2	85,7	0,418	72,7	0,031	
6.3	13,9	89,0	0,403	74,9	0,032	
6.4	14,6	84,4	0,408	75,2	0,032	
6.5	14,7	83,6	0,403	74,9	0,031	
Среднее значение					0,031	

7. Теплопроводность конструкции на фрагменте (метод трубы).

7.1. Теплопроводность конструкции при $T_{cp}=(50\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$, (обр. №1).

Исходные данные: $I=1,005\text{ а}$; $U=35,3\text{ в}$; $L_n=2,2\text{ м}$; $L_p=1/3L=0,733\text{ м}$;

$D=0,180\text{ м}$; $d=0,108\text{ м}$. $T_n=70,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_n=26,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. где:

I – сила тока нагревателя;

U – напряжение нагревателя;

L – длина нагревателя;

L_p – длина расчетного участка;

D – диаметр изоляции;

d – наружный диаметр металлической трубы;

T_n – температура теплоносителя;

T_n – температура на поверхности изоляции.

Мощность нагревателя:

$$W = I \cdot U = 35,4765 \text{ Вт}$$

Плотность теплового потока на участке измерения:

$$Q = \frac{W}{3} = 11,8255 \text{ Вт}$$

Теплопроводность тепловой изоляции определяется по формуле:

$$\lambda = 11,8255 \cdot \ln \frac{0,180}{0,108} / 2 \cdot 3,14 \cdot 0,733(70,0 - 26,9) = 0,0304 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

При этом коэффициент теплопроводности конструкции с учетом максимальной относительной погрешности измерений составил: $(0,030) \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$

7.2. Теплопроводность конструкции при $T_{cp.}=(50\pm 2)^\circ\text{C}$ после выдержки в течение 330 час. при температуре нагревателя $T_n=150^\circ\text{C}$, (обр. №1).

Исходные данные: $I=1,037\text{ а}$; $U=36,3\text{ в}$; $L_n=2,2\text{ м}$; $L_p=1/3L=0,733\text{ м}$; $D=0,180\text{ м}$; $d=0,108\text{ м}$. $T_n=77,3^\circ\text{C}$; $T_n=31,9^\circ\text{C}$

Мощность нагревателя:

$$W = I \cdot U = 37,6431\text{ Вт}$$

Плотность теплового потока на участке измерения:

$$Q = \frac{W}{3} = 12,5477\text{ Вт}$$

Теплопроводность тепловой изоляции определяется по формуле:

$$\lambda = Q \cdot \ln \frac{D}{d} / 2 \cdot 3,14 \cdot 0,733 (T_n - T_n) \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$$

$$\lambda = 12,5477 \cdot \ln \frac{0,180}{0,108} / 2 \cdot 3,14 \cdot 0,733 (77,3 - 31,9) = 0,0307\text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$$

При этом, коэффициент теплопроводности конструкции с учетом максимальной относительной погрешности измерений, составил $0,031\text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$

7.3. Теплопроводность фрагмента после старения при $T_{cp.}=(50\pm 2)^\circ\text{C}$ (выдержка в течение 150 суток при температуре $T_n=90^\circ\text{C}$), (обр. №2).

Исходные данные: $I=0,990\text{ а}$; $U=37,8\text{ в}$; $L_n=2,2\text{ м}$; $L_p=1/3L=0,733\text{ м}$;

$D=0,180\text{ м}$; $d=0,108\text{ м}$. $T_n=70,4^\circ\text{C}$; $T_n=28,5^\circ\text{C}$

Мощность нагревателя:

$$W = I \cdot U = 37,422\text{ Вт}$$

Плотность теплового потока на участке измерения:

$$Q = \frac{W}{3} = 12,474\text{ Вт}$$

Теплопроводность тепловой изоляции определяется по формуле:

$$\lambda = Q \cdot \ln \frac{D}{d} / 2 \cdot \pi \cdot L_p (T_n - T_n) \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$$

$$\lambda = 12,474 \cdot \ln \frac{0,180}{0,108} / 2 \cdot 3,14 \cdot 0,733 (70,4 - 28,5) = 0,0330\text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$$

При этом, коэффициент теплопроводности конструкции с учетом максимальной относительной погрешности измерений, составил $0,033\text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$

8. Прочность на сдвиг в осевом направлении.

8.1. При температуре $(23\pm 2)^\circ\text{C}$;

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, \text{ м}^2$	$P, \text{ кН}$	$\tau_{акс.}, \text{ Мпа}$	Норма по ГОСТ 30732
8.1.1	$D_n=108\text{ мм.}; L=200\text{ мм.}$	$67,82 \times 10^{-3}$	18,99	0,28	не менее 0,12
8.1.2	— " —	— " —	18,31	0,27	
8.1.3	— " —	— " —	18,31	0,27	
8.1.4	— " —	— " —	16,96	0,25	
8.1.5	— " —	— " —	16,28	0,24	
Среднее значение				0,26	

8.2. При температуре (150±2) °С.

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, M^2$	P,кН	$\tau_{акс.},$ МПа	Норма по ГОСТ 30732
8.2.1	$D_H=108$ мм.; L=200 мм.	$67,82 \times 10^{-3}$	16,96	0,25	не менее 0,08
8.2.2	– " – – " –	– " –	14,24	0,21	
8.2.3	– " – – " –	– " –	15,60	0,23	
8.2.4	– " – – " –	– " –	14,24	0,21	
8.2.5	– " – – " –	– " –	16,96	0,25	
Среднее значение				0,23	

8.3. При температуре (180±0,5) °С. Время выдержки 1700 час. (150±2 °С)

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, M^2$	P,кН	$\sigma_{сж.},$ МПа	Норма по ГОСТ 30732
8.3.1	$D_H=108$ мм.; L=200 мм.	$67,82 \times 10^{-3}$	11,53	0,17	не менее 0,08
8.3.2	– " – – " –	– " –	11,53	0,17	
8.3.3	– " – – " –	– " –	11,53	0,17	
Среднее значение				0,17	

8.4. При температуре (180±0,5) °С. Время выдержки 1700 час. (23±2 °С)

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, M^2$	P,кН	$\sigma_{сж.},$ МПа	Норма по ГОСТ 30732
8.4.1	$D_H=108$ мм.; L=200 мм.	$67,82 \times 10^{-3}$	14,24	0,21	не менее 0,08
8.4.2	– " – – " –	– " –	14,24	0,21	
8.4.3	– " – – " –	– " –	15,60	0,23	
Среднее значение				0,22	

8.5. При температуре (192±2) °С. Время выдержки 950 час.

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, M^2$	P,кН	$\sigma_{сж.},$ МПа	Норма по ГОСТ 30732
8.5.1	$D_H=108$ мм.; L=100 мм.	$33,91 \times 10^{-3}$	4,07	0,12	не менее 0,08
8.5.2	– " – – " –	– " –	4,41	0,13	
8.5.3	– " – – " –	– " –	4,75	0,14	
Среднее значение				0,13	

8.6. При температуре (187±2) °С. Время выдержки 2120 час.

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, M^2$	P,кН	$\sigma_{сж.},$ МПа	Норма по ГОСТ 30732
8.6.1	$D_H=108$ мм.; L=100 мм.	$33,91 \times 10^{-3}$	5,09	0,15	не менее 0,08
8.6.2	– " – – " –	– " –	4,75	0,14	
8.6.3	– " – – " –	– " –	5,42	0,16	
Среднее значение				0,15	

8.7. При температуре (184±2) °С. Время выдержки 2650 час.

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, M^2$	P,кН	$\sigma_{сж.},$ МПа	Норма по ГОСТ 30732
8.7.1	$D_H=108$ мм.; L=100 мм.	$33,91 \times 10^{-3}$	3,39	0,10	не менее 0,08
8.7.2	– " – – " –	– " –	3,73	0,11	
8.7.3	– " – – " –	– " –	3,39	0,10	
Среднее значение				0,10	

9. Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении.

9.1. При температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$. Фрагмент 1.

Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении ($\tau_{\text{тан}}$) рассчитывают по формуле:

$$\tau_{\text{тан}} = \frac{2 \cdot l \cdot F_{\text{тан.}}}{\pi \cdot d^2 \cdot L}, \text{ где:}$$

$F_{\text{тан.}}$ - тангенциальная нагрузка, Н;

L - длина образца, мм;

d - наружный диаметр трубы, мм;

l - длина рычага, мм.

Образец №1

$$F_{\text{max.1}} = 740\text{H } l = 1000\text{мм.}, d = 108\text{мм.}, L = 100\text{мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.1}} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 740}{3,14 \cdot 108^2 \cdot 100} = 0,40\text{МПа}$$

Образец №2

$$F_{\text{max.1}} = 710\text{H } l = 1000\text{мм.}, d = 108\text{мм.}, L = 100\text{мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.1}} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 710}{3,14 \cdot 108^2 \cdot 100} = 0,39\text{МПа}$$

Образец №3

$$F_{\text{max.1}} = 710\text{H } l = 1000\text{мм.}, d = 108\text{мм.}, L = 100\text{мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.1}} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 710}{3,14 \cdot 108^2 \cdot 100} = 0,39\text{МПа}$$

$$\tau_{\text{тан.ср.}} = 0,39\text{МПа (среднее значение).}$$

Норма по ГОСТ 30732-2020 не менее 0,2 Мпа.

9.2. При температуре $(180 \pm 2)^\circ\text{C}$. Время выдержки 1700 час.

$$\tau_{\text{тан}} = \frac{2 \cdot l \cdot F_{\text{тан.}}}{\pi \cdot d^2 \cdot L}, \text{ где:}$$

Образец №1

$$F_{\text{max.1}} = 410\text{H } l = 1000\text{мм.}, d = 108\text{мм.}, L = 100\text{мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 410}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,22\text{МПа}$$

Образец №2

$$F_{\text{max.1}} = 410\text{H } l = 1000\text{мм.}, d = 108\text{мм.}, L = 100\text{мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 410}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,22\text{МПа}$$

Образец №3

$$F_{\text{max.1}} = 410\text{H } l = 1000\text{мм.}, d = 108\text{мм.}, L = 100\text{мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 410}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,22\text{МПа}$$

$$\tau_{\text{тан.ср.}} = 0,22\text{МПа (среднее значение).}$$

Норма по ГОСТ 30732-2020 не менее 0,13 Мпа.

9.3. Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении на долговечность при температурах $(192/187/184)^\circ\text{C}$.

9.3.1. Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении при температуре $(192 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Испытание фрагмента №2:

образец №2.1

$$F_{\text{max.1}} = 330\text{H } l = 1000\text{мм.}, d = 108\text{мм.}, L = 100\text{мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 330}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,18 \text{ МПа}$$

образец №2.2

$$F_{\text{max.1}} = 360 \text{ Н } l = 1000 \text{ мм.}, d = 108 \text{ мм.}, L = 100 \text{ мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 360}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,20 \text{ МПа}$$

образец №2.3

$$F_{\text{max.1}} = 385 \text{ Н } l = 1000 \text{ мм.}, d = 108 \text{ мм.}, L = 100 \text{ мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 385}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,21 \text{ МПа}$$

$$\tau_{\text{тан.ср.}} = 0,20 \text{ МПа (среднее значение).}$$

Норма по ГОСТ 30732 не менее 0,13 МПа.

9.3.2. Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении при температуре $(187 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Испытание фрагмента №3:

образец №3.1

$$F_{\text{max.1}} = 410 \text{ Н } l = 1000 \text{ мм.}, d = 108 \text{ мм.}, L = 100 \text{ мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 410}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,22 \text{ МПа}$$

образец №3.2

$$F_{\text{max.1}} = 385 \text{ Н } l = 1000 \text{ мм.}, d = 108 \text{ мм.}, L = 100 \text{ мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 385}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,21 \text{ МПа}$$

образец №3.3

$$F_{\text{max.1}} = 440 \text{ Н } l = 1000 \text{ мм.}, d = 108 \text{ мм.}, L = 100 \text{ мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 440}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,24 \text{ МПа}$$

$$\tau_{\text{тан.ср.}} = 0,22 \text{ МПа (среднее значение).}$$

Норма по ГОСТ 30732 не менее 0,13 МПа.

9.3.3. Прочность на сдвиг в тангенциальном направлении при температуре $(184 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Испытание фрагмента №4:

образец №4.1

$$F_{\text{max.1}} = 275 \text{ Н } l = 1000 \text{ мм.}, d = 108 \text{ мм.}, L = 100 \text{ мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 275}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,15 \text{ МПа}$$

образец №4.2

$$F_{\text{max.1}} = 200 \text{ Н } l = 1000 \text{ мм.}, d = 108 \text{ мм.}, L = 100 \text{ мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 200}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,11 \text{ МПа}$$

образец №4.3

$$F_{\text{max.1}} = 275 \text{ Н } l = 1000 \text{ мм.}, d = 108 \text{ мм.}, L = 100 \text{ мм.}$$

$$\tau_{\text{тан.3.}} = \frac{2 \times 1000 \times 275}{3,14 \times 108^2 \times 100} = 0,15 \text{ МПа}$$

$$\tau_{\text{тан.ср.}} = 0,14 \text{ МПа (среднее значение).}$$

Норма по ГОСТ 30732 не менее 0,08 МПа.

10. Радиальная ползучесть теплоизоляции при температуре испытания 150°C в течение 100 ч. и 1000 ч.

№ обр.	Габаритные размеры мм.	Радиальная ползучесть, мм.		Норма по ГОСТ 30732	
		100 ч	1000 ч	100 ч	1000 ч
1.	Д _н =57 мм; Д _и =140 мм.	1,80	3,75	не более 2,5 мм.	не более 4,6 мм.
2.	– " – – " –	1,95	3,70		
3.	– " – – " –	2,00	3,05		
Среднее значение		1,92	3,50		

11. Отклонение осевой линии стальной трубы от оси оболочки.

11.1. Диаметр оболочки Д_и=180 мм.

$$\Delta = \sqrt{(\Delta_x^2 + \Delta_y^2)}, \text{ где:}$$

$$\Delta_x = \frac{(t_9 - t_3)}{2}; \Delta_y = \frac{(t_{12} - t_6)}{2};$$

t₁₂, t₆, t₉, t₃ – расстояние от верхнего края трубы-оболочки до поверхности стальной трубы, измеренное в положениях 12; 6; 9; 3 ч соответственно.

t₁₂=40 мм.; t₃=36 мм.; t₆=36 мм.; t₉=38 мм.

$$\Delta_x = \frac{(38-36)}{2} = 1,0 \text{ мм}; \Delta_y = \frac{(40-36)}{2} = 2,0 \text{ мм}; \Delta = \sqrt{(1,0^2 + 2,0^2)} = 2,2 \text{ мм}$$

В соответствии с ГОСТ 30732 для оболочек диаметром св. 160 мм до 400 мм. включительно этот показатель должен составлять не более 5,0 мм.

12. Относительное удлинение при разрыве образцов полиэтиленовой оболочки.

№ образца	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
Калиброванная ширина, мм.	6±0,5	6±0,5	6±0,5	6±0,5	6±0,5
Расст. между контрольными линиями, мм	25±0,5	25±0,5	25±0,5	25±0,5	25±0,5
Толщина образца, мм.	3,6	3,5	3,3	3,3	3,6
Пл. поперечного сечения оболочки, см ²	0,216	0,210	0,198	0,198	0,216
Скорость нагружения, мм/мин.	50±0,5	50±0,5	50±0,5	50±0,5	50±0,5
Сила нагружения, кГс	36	36	36	32	36
Предел текучести, МПа	16,4	16,8	17,8	16,9	16,4
Относительное удлинение до разрыва, %	1160	1210	1440	1160	1160
Среднее значение, %	1226				

*- скорость нагружения при толщине образца ≤ 5 мм. по ГОСТ 30732 - составляет 50мм/мин.

** - относительное удлинение при разрыве по ГОСТ 30732 – не менее 350%.

13. Изменение длины ПЭ трубы-оболочки после прогрева при T= 110°C в течение 120 мин., %.

$$R_L = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100, \text{ где:}$$

$$\Delta L = L_0 - L,$$

L₀ – расстояние между метками до прогрева, мм.;

L – расстояние между метками после прогрева, мм.

№ обр.	Габаритные размеры образца	Расстояние между кольцевыми метками, мм.		Изменение длины образца, %	Норма по ГОСТ 30732
		до испытания	после испытания		
1.	Д _и =180 мм	100	98,0	2,0	3,0
2.	– " –	– " –	97,4	2,6	
3.	– " –	– " –	97,8	2,2	
Среднее значение				2,3	

Старший научный сотрудник

В.А. Коцов



Handwritten signature in blue ink.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

образцов, изготовленных из пенополиуретановой изоляции система Сибуфом Т/102 фасонных изделий (изготовлен по ТУ 20.59.59-111-54409607-2023) в полиэтиленовой оболочке, $D_n=108$ мм, $D_n=180$ мм. $D_n=57$ мм., $D_n=140$ мм. представленных ООО «Эластокам».

1. Пенополиуретан в разрезе имеет однородную, замкнутую, мелкоячеистую структуру, пустоты отсутствуют. Соответствует ГОСТ 30732-2020 «Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой».
 2. Поверхность образцов стальных труб высушена и очищена до степени очистки - Sa 2 ½ по ISO 8501-1 (дробеструйная очистка), что соответствует ГОСТ 30732.
 3. Размеры и отклонения размеров образцов полиэтиленовых труб соответствуют ГОСТ 30732.
 4. Изолированные трубы оснащены проводниками СОДК.
 5. Маркировка предоставленных изолированной трубы соответствует ГОСТ 30732.
 6. Трубы-оболочки имеют гладкую наружную поверхность, продольные полосы и волнистость не выводят толщину стенки трубы за пределы допускаемых отклонений. На наружной, внутренней и торцевой поверхностях трубы-оболочки отсутствуют пузыри, трещины, раковины, посторонние включения. Концы труб-оболочек не имеют заусенцев. Цвет трубы-оболочки –черный.
 7. Под покровный слой трубы пенополиуретановой изоляции и полиэтиленовой оболочке $D_n=108$ мм, $D_n=180$ мм. установлены два проводника-индикатора в положениях, соответствующих 3 и 9 ч. Продольный шов стальной трубы располагается в положении 12 ч.
 8. Электрическое сопротивление между стальной трубой и соединенными проводниками-индикаторами, стальной оболочкой и соединенными проводниками-индикаторами составляет более 100 Мом, что соответствует требованиям ГОСТ 30732.
- 1.Плотность среднего слоя ППУ.

№ обр.	Габаритные размеры образца, мм.	Масса образца, т, кг.	Объем образца, V, м ³ .	Плотность образца, γ, кг/м ³	Норма по ГОСТ 30732
1.1	30 × 30 × 30	2,16 × 10 ⁻³	0,027 × 10 ⁻³	80,0	не менее 60
1.2	– " –	2,18 × 10 ⁻³	– " –	80,7	
1.3	– " –	2,21 × 10 ⁻³	– " –	81,8	
Среднее значение				80,8	

1.1 Средний размер ячеек ППУ в радиальном направлении при температуре (23±2)°C

№ обр.	L, мм.	Плотность образца, γ, кг/м ³	Размер ячеек, мм.	Норма по ГОСТ 30732
1.1	10	80,0	0,40	не более 0,5 мм
1.2	– " –	80,7	0,35	
1.3	– " –	81,8	0,41	
Среднее значение			0,39	

2. Прочность при сжатии пенополиуретана при 10% деформации в радиальном направлении.

№ обр.	Габаритные размеры образца, мм.	Масса образца, т,г.	Нагрузка, Р,кН	Предел прочности, σ _{сж1} , МПа	Норма по ГОСТ 30732
2.1	30 × 30 × 30	2,13	0,45	0,50	не менее 0,3
2.2	–"–	2,17	0,45	0,50	
2.3	–"–	2,12	0,45	0,50	
Среднее значение				0,50	

3. Водопоглощение при кипячении, % по объему.

№ обр.	Габаритные Размеры образца, мм.	Масса до испытания m, г.	Масса после испытания m ₁ ,г	Водопоглощение, W, % по объему.	Норма по ГОСТ 30732
3.1	30 × 30 × 30	2,14	3,09	3,5	не более 10
3.2	– " –	2,18	3,21	3,8	
3.3	– " –	2,16	3,15	3,7	
Среднее значение				3,7	

4. Объемная доля закрытых пор при температуре (23±2)°C

Количество закрытых пор (Π_з), %, вычисляется по формуле:

$$\Pi_z = \Pi_n - \Pi_o, \text{ где:}$$

Π_п – полный объем пор, %;

Π_о – объем открытых пор, %.

Полный объем пор (Π_п), % вычисляется с точностью до 1% по формуле:

$$\Pi_n = \left(\frac{\gamma_n - \gamma_k}{\gamma_n} \right) \cdot 100, \text{ где:}$$

γ_п – плотность полиуретана, равная 1170 кг/м³;

γ_к – кажущаяся плотность жёсткого пенополиуретана.

Объем открытых пор (Π_о), % принимается равным водопоглощению в процентах, определяемому по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_o}{V_o \times \gamma}, \text{ где:}$$

m_о – масса сухого образца, г;

m₁ – масса образца после кипячения в дистиллированной воде в течение 90 мин, г;

V_о – объем образца, см³.

γ – плотность воды при температуре (23±5) °C

Исходные данные: - средняя плотность пенополиуретана γ_{ср.}=80,8кг/м³;

- водопоглощение W_{ср.}=3,7%

$$\Pi_n = \left(\frac{\gamma_n - \gamma_k}{\gamma_n} \right) \cdot 100 = \left\{ \frac{1170 - 80,8}{1170} \right\} \cdot 100 = 93,1\%;$$

$$\Pi_o = W_{ср.} = 3,7\%;$$

$$\Pi_z = \Pi_n - \Pi_o = 93,1 - 3,7 = 89,4\%$$

Норма по МГСН 6.03-03 не менее 88 %.

5. Температуроустойчивость при 150 °C в течение 330 часов.

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	m, г.	m ₁ , г.	P, кН	σ _{сж} МПа	K = $\frac{\sigma_{сж.}}{\sigma_{сж.1}^*}$	Методика НПП Энергосистемы
5.1	30 × 30 × 30	2,19	2,14	0,50	0,56	1,12	K _{ср.} ≥ 0,9
5.2	– " –	2,16	2,11	0,50	0,56		
5.3		2,14	2,00	0,50	0,56		
Среднее значение					0,56		

* σ_{сж.1} - прочность на сжатие технологических образцов - σ_{сж.1} (см. п.2.)

6. Теплопроводность образцов ППУ.

6.1. При температуре $T_{ср.}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

№ обр.	Толщина образца, δ , мм	Плотность образца, γ , кг/м ³	Термическое сопротивление R , м ² × К/Вт	Плотность теплового потока, q , Вт/м ²	Теплопроводность, λ , Вт/м × К	Норма по ГОСТ 30732
5.1	15,6	97,5	0,557	25,3	0,028	не более 0,033
5.2	15,2	62,8	0,562	25,1	0,027	
5.3	15,3	67,4	0,546	25,8	0,028	
5.4	15,4	68,4	0,550	25,7	0,028	
5.5	15,3	68,2	0,546	25,9	0,028	
Среднее значение					0,028	

6.2 При температуре $T_{ср.}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

№ обр.	Толщина образца, δ , мм	Плотность образца, γ , кг/м ³	Термическое сопротивление R , м ² × К/Вт	Плотность теплового потока, q , Вт/м ²	Теплопроводность, λ , Вт/м × К	Норма по ГОСТ 30732
5.1	15,6	97,5	0,520	71,1	0,030	не более 0,033
5.2	15,2	62,8	0,524	70,6	0,029	
5.3	15,3	67,4	0,510	72,5	0,030	
5.4	15,4	68,4	0,513	72,1	0,030	
5.5	15,3	68,2	0,493	75,0	0,031	
Среднее значение					0,030	

7. Теплопроводность конструкции на фрагменте (метод трубы).

7.1 Теплопроводность фрагмента после старения при $T_{ср.} = (50 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ (выдержка в течение 150 суток при температуре $T_{н.}=90\text{ }^{\circ}\text{C}$), (обр. №2).

Исходные данные: $I=0,795\text{ а}$; $U = 43,0\text{ в}$; $L_{н} = 2,2\text{ м}$; $L_{р}=1/3L=0,733\text{ м}$;

$D = 0,180\text{ м}$; $d = 0,108\text{ м}$. $T_{н} = 70,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{п}=29,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. где:

I – сила тока нагревателя;

U – напряжение нагревателя;

L – длина нагревателя;

$L_{р}$ – длина расчетного участка;

D – диаметр изоляции;

d – наружный диаметр металлической трубы;

$T_{н}$ – температура теплоносителя;

$T_{п}$ – температура на поверхности изоляции.

Мощность нагревателя:

$$W = I \cdot U = 34,185\text{ Вт}, \text{ где:}$$

Плотность теплового потока на участке измерения:

$$Q = W/3 = 11,395\text{ Вт}.$$

Теплопроводность тепловой изоляции определяется по формуле:

$$\lambda = Q \cdot \ln \frac{D}{d} / 2 \cdot \pi \cdot L_p (T_n - T_p) \text{ Вт/м} \cdot \text{К}, \text{ где:}$$

$$\lambda = 11,395 \cdot \ln \frac{0,180}{0,108} / 2 \cdot 3,14 \cdot 0,733 \cdot (70,3 - 29,3) = 0,0308 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

При этом, коэффициент теплопроводности конструкции с учетом максимальной относительной погрешности измерений, составил $0,031 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$

8. Прочность на сдвиг в осевом направлении.

8.1. При температуре (23±2) °С;

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, м^2$	Р,кН	$\tau_{акс.}, МПа$	Норма по ГОСТ 30732
8.1.1	$D_H=108$ мм.; L=200 мм.	$67,82 \times 10^{-3}$	17,63	0,26	не менее 0,12
8.1.2	– " – – " –	– " –	16,96	0,25	
8.1.3	– " – – " –	– " –	16,28	0,24	
8.1.4	– " – – " –	– " –	16,96	0,25	
8.1.5	– " – – " –	– " –	16,28	0,24	
Среднее значение				0,25	

8.2. При температуре (150±2) °С.

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, м^2$	Р,кН	$\tau_{акс.}, МПа$	Норма по ГОСТ 30732
8.2.6	$D_H=108$ мм.; L=200 мм.	$67,82 \times 10^{-3}$	14,92	0,22	не менее 0,08
8.2.7	– " – – " –	– " –	16,28	0,24	
8.2.8	– " – – " –	– " –	12,88	0,19	
8.2.9	– " – – " –	– " –	12,88	0,19	
8.2.10	– " – – " –	– " –	14,24	0,21	
Среднее значение				0,21	

8.3. При температуре (180±0,5) °С. Время выдержки 1700 час. (23±2 °С)

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, м^2$	Р,кН	$\sigma_{сж.}, МПа$	Норма по ГОСТ 30732
8.3.1	$D_H=108$ мм.; L=200 мм.	$67,82 \times 10^{-3}$	14,24	0,21	не менее 0,08
8.3.2	– " – – " –	– " –	12,21	0,18	
8.3.3	– " – – " –	– " –	12,88	0,19	
Среднее значение				0,19	

8.4. При температуре (180±0,5) °С. Время выдержки 1700 час. (150±2 °С)

№ обр.	Габаритные размеры, мм.	$S_{бок.}, м^2$	Р,кН	$\sigma_{сж.}, МПа$	Норма по ГОСТ 30732
8.4.1	$D_H=108$ мм.; L=200 мм.	$67,82 \times 10^{-3}$	12,88	0,19	не менее 0,08
8.4.2	– " – – " –	– " –	12,21	0,18	
8.4.3	– " – – " –	– " –	13,56	0,20	
Среднее значение				0,19	

9. Радиальная ползучесть теплоизоляции при температуре испытания 150°С в течение 100 ч. и 1000 ч.

№ обр.	Габаритные размеры мм.	Радиальная ползучесть, мм.		Норма по ГОСТ 30732	
		100 ч	1000 ч	100 ч	1000 ч
1.	$D_H=57$ мм; $D_H=140$ мм.	1,65	3,55	не более 2,5 мм.	не более 4,6 мм.
2.	– " – – " –	1,80	3,85		
3.	– " – – " –	1,85	3,65		
Среднее значение		1,77	3,68		

10. Отклонение осевой линии стальной трубы от оси оболочки.

Диаметр оболочки $D_{н}=180$ мм.

$$\Delta = \sqrt{(\Delta_x^2 + \Delta_y^2)}, \text{ где:}$$

$$\Delta_x = \frac{(t_9 - t_3)}{2}; \Delta_y = \frac{(t_{12} - t_6)}{2};$$

t_{12}, t_6, t_9, t_3 – расстояние от верхнего края трубы-оболочки до поверхности стальной трубы, измеренное в положениях 12; 6; 9; 3 ч соответственно.

$t_{12}=40.; t_3=32$ мм.; $t_6=36$ мм.; $t_9=38$ мм.

$$\Delta_x = \frac{(38 - 32)}{2} = 3,0 \text{ мм}; \Delta_y = \frac{(40 - 36)}{2} = 2,0 \text{ мм}; \Delta = \sqrt{(3,0^2 + 2,0^2)} = 3,6 \text{ мм}$$

В соответствии с ГОСТ 30732 для оболочек диаметром св. 160 мм до 400 мм. включительно этот показатель должен составлять не более 5,0 мм.

11. Относительное удлинение при разрыве образцов полиэтиленовой оболочки.

№ образца	12.1	12.2	12.3	12.4	12.4
Калиброванная ширина, мм.	6±0,5	6±0,5	6±0,5	6±0,5	6±0,5
Расст. между контрольными линиями, мм	25±0,5	25±0,5	25±0,5	25±0,5	25±0,5
Толщина образца, мм.	3,3	3,4	3,1	3,1	3,3
Пл. поперечного сечения оболочки, см ²	0,198	0,204	0,186	0,186	0,198
Скорость нагружения, мм/мин.*	50±0,5	50±0,5	50±0,5	50±0,5	50±0,5
Сила нагружения, кГс	32	32	32	28	28
Предел текучести, МПа	15,9	15,4	16,9	14,8	15,8
Относительное удлинение до разрыва, %**	660	700	840	500	640
Среднее значение удлинения	668				

*-Скорость нагружения при толщине образца ГОСТ 30732 - составляет 50мм/мин.

**-. Относительное удлинение при разрыве по ГОСТ 30732 – не менее 350%.

Старший научный сотрудник



В.А. Копцов