
Результаты испытаний образцов трубопроводов с ППУ изоляцией

ОАО «ВНИПИэнергопром»
Лаборатория Тепловых Сетей

Участки отбора проб для установления остаточного ресурса эксплуатации ППУ изоляции

Район	Участок	Год ввода	Адрес	Технология прокладки	Наличие гарантии
3	1325/1-3	1998	пр-кт Маршала Жукова, 43	MFL	-
3	822-823-т.8а	2003	ул. Сосновая,11	MFL	МТЭР
8	721-722-723	1999	Бол. Новочеремушкинская, 30, к2	MFL	-
12	906(т.28)-910(т.15)	2000	Бол. Академическая, 45, корп. 1	MFL	-
12	911-911а-1704	2001	ул. Рычагова, 3	MFL	-
12	114-119/12	2002	ул. Весенняя, 8	MFL	Мосгазсетьстрой
12	407/2-407/4а	2004	ул. Старопетровская, 13	MFL	СУ-2
12	837-802/6а	2005	ул. Дыбенко, 42	MFL	Термосервис
12	1310-1316	2006	4-й Новомихалковский пер., 4(14)	MFL	
12	1252-1253	2004	Красностуденческий пр-д., 2	MFL	

Результаты испытаний образцов ППУ-изоляции по критерию качества «Водопоглощение» по 10-ти адресам (МФЛ)

Адрес	Год ввода	Водопоглощение, W, % (об.)				
		исходная	после выдерживания в термощкафу при 155 °С			
			5 суток	10 суток	20 суток	30 суток
1 пр-кт Маршала Жукова,43	1998	3,20	3,60	3,90	4,50	5,30
2 ул. Сосновая, дом 11	2003	3,40	3,60	3,80	4,20	4,70
3. ул. Большая Новочеремушкинская, дом 30, к. 2	1999	1,93	2,40	2,60	3.30	4,20
4 4.ул. Большая Академическая, дом 45, к.1	2000	2,40	2.60	2,80	3,20	3,80
5 . ул. Рычагова, дом 3	2001	2,33	2,60	2,90	3,80	4,50
6. ул. Весенняя, дом 8	2002	2,87	3,10	3,40	3,90	4,30
7 .ул. Старопетровская, дом 13	2004	2,17	2,80	3,00	4,20	5,10
8 . ул. Дыбенко, дом 42	2005	2,63	3,00	3,40	4,00	4,90
9 . 4 –й Новомихалковский пер. дом 4, (14)	2006	2,13	2,70	3,10	4,60	5,60
10 Красностуденческий пр-д, дом 2	2004	48,60	49,00	50,40	52,80	54,30
Норма по ГОСТ 30732-2001	-		≤10			

Результаты испытаний образцов ППУ-изоляции по критерию качества «Плотность» по 10-ти адресам (МФЛ)

Адрес	Год ввода	Плотность, γ , кг/м ³				
		исходная	после выдерживания в термошкафу при 155 °С			
			5 суток	10 суток	20 суток	30 суток
1 пр-кт Маршала Жукова,43	1998	67,0	66,2	65,5	64,3	63,0
2 ул. Сосновая, дом 11	2003	68,0	67,2	66,7	65,2	64,0
3. ул. Большая Новочеремушкинская, дом 30, к. 2	1999	73,6	73,0	71,6	70,0	68,0
4 4.ул. Большая Академическая, дом 45, к.1	2000	63,6	62,8	62,2	60,7	59,8
5 . ул. Рычагова, дом 3	2001	74,4	73,3	72,0	70,4	68,0
6. ул. Весенняя, дом 8	2002	67,7	67,1	65,8	64,5	63,0
7 .ул. Старопетровская, дом 13	2004	62,2	61,9	61,6	60,8	60,5
8 . ул. Дыбенко, дом 42	2005	67,8	67,0	65,7	63,0	61,1
9 . 4 –й Новомихалковский пер. дом 4, (14)	2006	66,2	65,5	64,7	63,4	62,2
10 Красностуденческий пр-д, дом 2	2004	67,0	66,1	65,0	62,8	61,0
Норма по ГОСТ 30732-2001	-	≥60				

Результаты испытаний образцов ППУ-изоляции по критерию качества «Прочность на сжатие» по 10-ти адресам (МФЛ)

Адрес	Год ввода	Прочность на сжатие, $\sigma_{сж}$, МПа				
		исходная	после выдерживания в термощкафу при 155 °С			
			5 суток	10 суток	20 суток	30 суток
1 пр-кт Маршала Жукова,43	1998	0,470	0,479	0,482	0,494	0,510
2 ул. Сосновая, дом 11	2003	0,330	0,318	0,301	0,265	0,240
3. ул. Большая Новочеремушкинская, дом 30, к. 2	1999	0,320	0,317	0,316	0,312	0,310
4 4.ул. Большая Академическая, дом 45, к.1	2000	0,270	0,250	0,240	0,223	0,180
5 . ул. Рычагова, дом 3	2001	0,670	0,672	0,680	0,693	0,700
6. ул. Весенняя, дом 8	2002	0,440	0,432	0,394	0,358	0,320
7.ул. Старопетровская, дом 13	2004	0,520	0,496	0,461	0,447	0,410
8 . ул. Дыбенко, дом 42	2005	0,310	0,311	0,314	0,317	0,320
9 . 4 –й Новомихалковский пер. дом 4, (14)	2006	0,620	0,610	0,587	0,561	0,540
10 Красностуденческий пр-д, дом 2	2004	0,080	0,076	0,073	0,066	0,060
Норма по ГОСТ 30732-2001	-		$\geq 0,3$			

Результаты испытаний образцов ППУ-изоляции по критерию качества «Теплопроводность» по 10-ти адресам (МФЛ)

Адрес	Год ввода	Теплопроводность, λ , Вт/м \times К				
		исходная	после выдерживания в термошкафу при 155 °С			
			5 суток	10 суток	20 суток	30 суток
1 пр-кт Маршала Жукова,43	1998	0,0347	0,0355	0,0360	0,0374	0,0384
2 ул. Сосновая, дом 11	2003	0,0347	0,0355	0,0358	0,0377	0,0387
3. ул. Большая Новочеремушкинская, дом 30, к. 2	1999	0,0353	0,0358	0,0361	0,0374	0,0381
4 4.ул. Большая Академическая, дом 45, к.1	2000	0,0345	0,0347	0,0349	0,0351	0,0354
5 . ул. Рычагова, дом 3	2001	0,0356	0,0358	0,0363	0,0367	0,0372
6. ул. Весенняя, дом 8	2002	0,0348	0,0354	0,0357	0,0365	0,0372
7 .ул. Старопетровская, дом 13	2004	0,0344	0,0349	0,0353	0,0360	0,0369
8 . ул. Дыбенко, дом 42	2005	0,0348	0,0355	0,0360	0,0371	0,0381
9 . 4 –й Новомихалковский пер. дом 4, (14)	2006	0,0343	0,0345	0,0348	0,0354	0,0357
10 Красностуденческий пр-д, дом 2	2004	0,0338	0,0340	0,0343	0,0345	0,0348
Норма по ГОСТ 30732-2001	-	$\leq 0,033$				

Определение остаточного ресурса конструкций теплопроводов в ППУ изоляции

Определение остаточного ресурса будем определять по прочности на сжатие. Прочность на сжатие $\sigma_{сж}$ как функцию срока службы t можно представить как

$$\sigma_{сж}(t) = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad \text{Ф. 1}$$

где

τ – «время жизни» ППУ изоляции по критерию прочности на сжатие,

σ_0 – прочность на сжатие при монтаже трубопровода, которая может быть определена из формулы 1 по исходной прочности, взятой из таблицы 25.

Определение остаточного ресурса конструкций теплопроводов в ППУ изоляции

«Время жизни» τ показывает через сколько лет исходное значение прочности на сжатие уменьшится в e -раз (основание натуральных логарифмов, равное **2,72**). Оно зависит от температуры срезки температурного графика $150 - 70^\circ\text{C}$. По кривой Арениуса (EN 253) срок службы теплопровода при постоянной температуре теплоносителя 130°C равен 10,3 года. А для условий работы тепловых сетей при качественном отпуске тепла при той же температуре срок службы увеличивается и становится равным:

$$10.3 \cdot \ln k = 17 \quad \text{Ф. 1}$$

где

k равно 4,45 и получено из анализа результатов испытаний на термические нагрузки (см. рисунки 21 – 30).

Определение остаточного ресурса конструкций теплопроводов в ППУ изоляции

Срок службы ППУ изоляции теплопровода при постоянной температуре теплоносителя 140°C по той же кривой Аррениуса равен 3,6 года. При срезке температурного графика 150 – 70°C до 140°C при качественном отпуске тепла согласно формуле 2 срок службы равен 6 годам.

$\sigma_{сжс}(t)$, рассчитанные по формуле 1, при $\tau = 17$ годам, представлены на рисунках 51 и 52. На этих рисунках номера кривых соответствуют номерам адресов таблицы 25. Горизонтальной пунктирной линией отмечено минимальное значение прочности на сжатие $\sigma_{мин} = 0,3$ МПа по ГОСТ 30732-2001.

Определение остаточного ресурса конструкций теплопроводов в ППУ изоляции

Остаточный ресурс $\tau_{ост}$ по результатам, представленным на рисунках 51, 52 по формуле 1 может быть определён:

$$\tau_{ост} = \tau \cdot \ln\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{\min}}\right) - \tau_{ср.сл.} \quad \text{Ф. 1}$$

Для вычисления $\tau_{ост}$ следует в формулу Ф.1 подставить $t = \tau_{ост}$, чтобы вычислить σ_0 , равное $\sigma_{монт}$. Формула Ф.3 при подстановки в нее σ_0 преобразуется в формулу:

$$\tau_{ост} = \tau \cdot \ln\left(\frac{\sigma_{монт}}{\sigma_{\min}}\right) \quad \text{Ф. 4}$$

Для вычисления $\tau_{ост}$ полиэтиленовой оболочки в формулу Ф.4 вместо $\sigma_{монт}$ и σ_0 следует подставить $\varepsilon_{монт}$ и ε_0 .

Результаты расчёта по формуле 4 представлены в двух последних столбцах таблицы 25.

Определение остаточного ресурса конструкций теплопроводов в ППУ изоляции

Из сказанного следует, что остаточный ресурс ППУ изоляции по анализируемым адресам для температурного графика 150-70°C со срезкой при 130°C составит с учетом начала эксплуатации:

- проспект маршала Жукова-7,6 лет;
- ул.Сосновая- 1,6 лет;
- ул. Большая Новочеремушкинская – 2.2 года;
- ул. Рычагова – 13,6 лет;
- ул. Весенняя -6,5 лет;
- ул. Старопетровская – 9,3 года;
- ул. 4-й Новомихалковский пер. – 12,5 лет;

Определение остаточного ресурса конструкций теплопроводов в ППУ изоляции

Такой разброс показателей указывает на то, что первоначальные физико-механические характеристики имеют различные исходные значения (см. таблицы 23,24), теплопроводы эксплуатировались в неодинаковых условиях и что для получения более достоверных показателей необходимо увеличить количество образцов, провести систематизацию по отдельным магистралям.

Прочность ПТУ на сжатие (МПа) и остаточный ресурс в годах

Адрес	Год ввода	σ_0 монтажное	$\sigma_{сж}(t=0)$ до термоиспытаний	$\tau_{ост}$	
				при темп. срезке 130 ⁰ С	при темп. срезке 140 ⁰ С
1. пр-кт Маршала Жукова, 43	1998	0,80	0,470	7,6	2,7
2. ул. Сосновая, дом 11	2003	0,42	0,330	1,6	0,6
3. ул. Большая Новочеремушкинская, дом 30, к. 2	1999	0,55	0,320	1,1	0,4
4. ул. Большая Академическая, дом 45, к. 1	2000	0,41	0,270	–	–
5. ул. Рычагова, дом 3	2001	0,95	0,670	13,6	4,8
6. ул. Весенняя, дом 8	2002	0,59	0,440	6,5	2,3
7. ул. Старопетровская, дом 13	2004	0,62	0,520	9,3	3,3
8. ул. Дыбенко, дом 42	2005	0,35	0,310	–	–
9. 4 –й Новомихалковский пер. дом 4, (14)	2006	0,66	0,620	12,4	4,4
10. Красностуденческий пр-д, дом 2	2004	–	0,080	–	–