

УДК 539.3

Ю.А. Гагарин, С.Н. Пичков, А.А. Шумаев, Э.Г. Новинский

**ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ  
ОБОЛОЧЕК С ВОДОЙ ПРИ ЕЕ ЗАМЕРЗАНИИ**

Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова

Статья посвящена исследованиям прочности цилиндрических труб (ЦТ) размером  $\varnothing 16 \times 3$  мм,  $\varnothing 42 \times 5$  мм,  $\varnothing 102 \times 11$  мм длиной 400 мм, изготовленных из аустенитной стали типа 08X18H10T, заполненных водой в случае её замерзания при минусовых температурах, и моделируется их поведение при возможных гипотетических авариях в транспортных ЯЭУ. Исследования ЦТ проводились в термокамере (ТК) в течение 24 часов при температурах  $-1$  °С;  $-5$  °С;  $-10$  °С;  $-15$  °С. Перед установкой в ТК и после выдержки при каждой температуре измерялся наружный диаметр труб по длине в пяти сечениях. Проведенные исследования позволили определить остаточные деформации в ЦТ при замерзании в них воды. Результаты исследований могут быть полезны при эксплуатации подобных труб при низких температурах.

*Ключевые слова:* деформация, нержавеющие трубы, замерзание воды.

Объектом исследований являлись цилиндрические трубы размером  $16 \times 3$  мм,  $42 \times 5$  мм,  $102 \times 11$  мм длиной 400 мм (рис. 1-3). Трубы входят в испытательные сборки.

**Краткое описание методики проведения испытаний**

Испытанияборок проводились в термокамере TV1000, позволяющей получать низкие температуры до  $-70$  °С. Перед началом испытаний сборки заполнялись до отказа водой комнатной температуры, после чего плотно закрывались фланцами. Присутствие воздуха в сборках не допускалось. Испытуемые сборки помещались в термокамеру и выдерживались при температурах  $t = -1$  °С,  $-5$  °С,  $-10$  °С и  $-15$  °С в течение 2-х суток. Использование для управления режимами испытаний цифрового термометра D TM Pt100 позволило поддерживать заданную температуру с точностью  $\pm 0, 1$  °С.

Перед установкойборок в термокамеру и после выдержки при каждой температуре измерялся наружный диаметр труб в пяти по длине сечениях А, Б, В, Г и Д (рис. 1-3, размеры приведены в мм). Измерение в каждом сечении производилось в двух взаимно перпендикулярных направлениях 1 и 2 микрометрами МК ГОСТ 6507 – 78 (цена делений 0, 01 мм). После выдержкиборок при каждой температуре проводился тщательный визуальный осмотр наружной поверхности труб с помощью 20 - ти кратной линзы на предмет обнаружения трещин. По результатам испытаний определялись абсолютная (1) и относительная (2) деформации труб:

$$\Delta = D - D_0 \quad (1)$$

$$\delta = \frac{D - D_0}{D_0} 100\% \quad (2)$$

В формулах (1) и (2)  $D_0$  и  $D$  являются соответственно начальным и замеренным в процессе испытаний наружными диаметрами труб.

**Результаты исследований**

Результаты исходных измерений и испытаний наружных диаметров труб приведены в табл. 1. Значения абсолютных и относительных деформаций, вычисленных по формулам (1) и

(2), приведены в табл. 2. Из полученных результатов следует, что труба 16×3 не имела остаточных деформаций даже после ее выдержки при температуре -15 °С (табл. 1, рис. 4). Труба 42×5 получила остаточные деформации, максимальная величина которых составляла 0,75 мм или 1,78 % (табл. 2), после испытания ее при температуре -10 °С. Снижение температуры замораживания до -15 °С способствовало увеличению значений абсолютных и относительных деформаций до 1,11 мм и 2,64 % соответственно (табл. 2, рис. 5). Раньше всех незначительные остаточные деформации ( $\Delta_{\text{max}} = 0,06$  мм,  $\delta_{\text{max}} = 0,06\%$ ) были обнаружены в трубе 102×11 после ее выдержки при  $t = -5^\circ\text{C}$  (табл. 2). Однако после испытания при  $t = -10^\circ\text{C}$  максимальная величина остаточных деформаций уже составляла 2,82 мм или 2,76 % (табл. 2);  $t = -15^\circ\text{C}$  вызвала необратимые изменения размеров наружных диаметров трубы 102×11 максимум на величину 2,98 мм или 2,92% (табл. 2, рис. 6). Проводимый в процессе испытаний визуальный осмотр с помощью 20-кратной линзы показал отсутствие на поверхности труб трещин. Отметим, что все испытываемые трубы не имели осевых остаточных деформаций при каждой температуре испытаний.

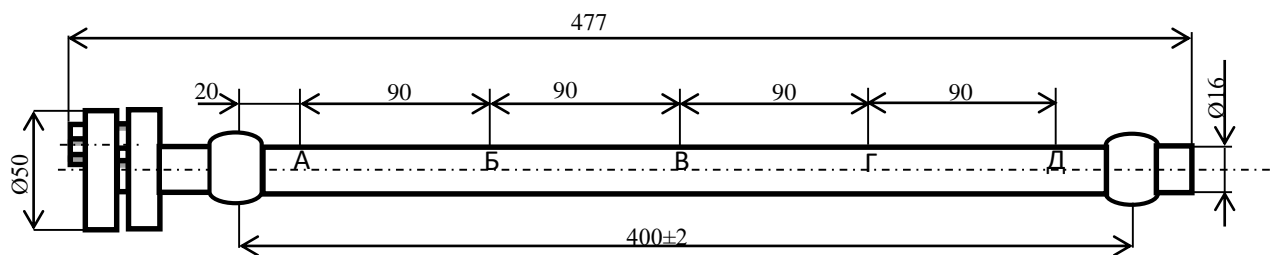


Рис. 1. Основные геометрические размеры трубы Ø16×3 мм

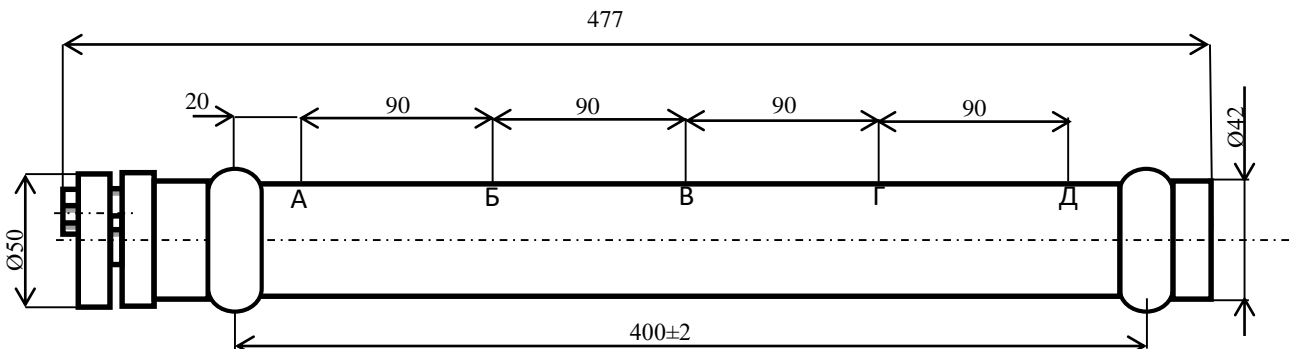


Рис. 2. Основные геометрические размеры трубы Ø42×5 мм

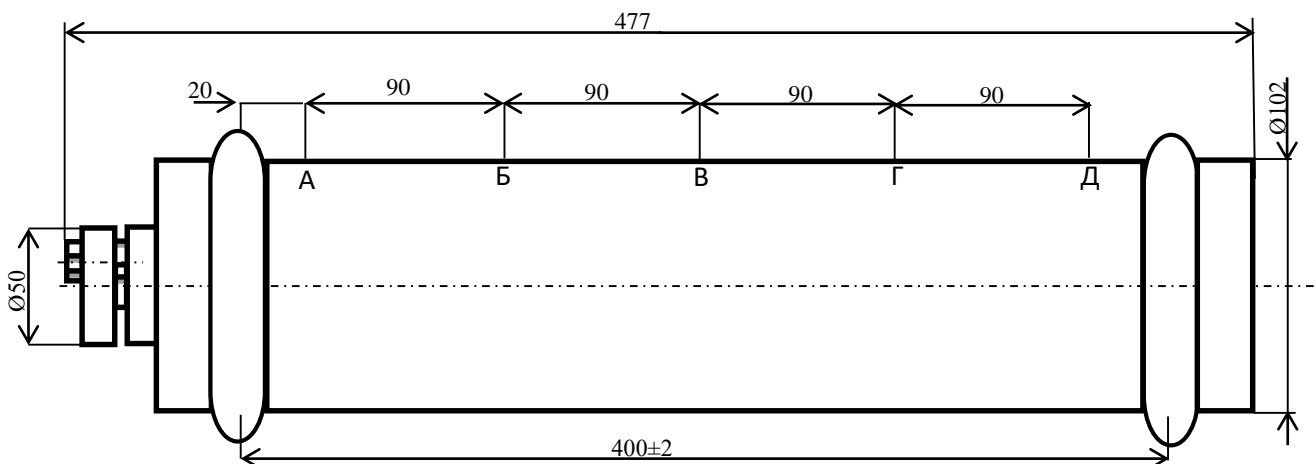


Рис. 3. Основные геометрические размеры трубы Ø102×11 мм

Таблица 1

## Результаты измерения наружного диаметра (мм) труб

Наименование	Сечение	Направление 1				
		Начальный диаметр, мм	Температура испытаний, °С			
			-1	-5	-10	-15
Труба 16×3	А	16,06	16,06	16,06	16,06	16,06
	Б	16,06	16,06	16,06	16,07	16,07
	В	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05
	Г	16,06	16,06	16,06	16,06	16,06
	Д	16,05	16,06	16,06	16,06	16,06
Труба 42×5	А	42,11	42,12	42,12	42,86	42,87
	Б	42,11	42,11	42,11	42,61	43,22
	В	42,12	42,12	42,12	42,82	43,12
	Г	42,09	42,09	42,11	42,64	42,71
	Д	42,05	42,05	42,05	42,67	42,67
Труба 102×11	А	102,22	102,22	102,24	103,20	103,21
	Б	102,18	102,18	102,21	104,59	104,61
	В	102,27	102,28	102,33	104,91	104,96
	Г	102,14	102,15	102,18	104,88	105,04
	Д	102,13	102,13	102,15	102,80	102,92
Наименование	Сечение	Направление 2				
		Начальный диаметр, мм	Температура испытаний, °С			
			-1	-5	-10	-15
Труба 16×3	А	16,06	16,06	16,06	16,06	16,07
	Б	16,06	16,06	16,06	16,06	16,07
	В	16,04	16,04	16,04	16,04	16,04
	Г	16,07	16,07	16,07	16,07	16,07
	Д	16,06	16,06	16,06	16,06	16,07
Труба 42×5	А	42,18	42,18	42,18	42,87	42,88
	Б	42,11	42,11	42,11	42,55	43,19
	В	42,23	42,23	42,23	42,74	43,07
	Г	42,13	42,13	42,13	42,62	42,71
	Д	42,12	42,12	42,12	42,72	42,73
Труба 102×11	А	102,06	102,06	102,07	102,72	102,81
	Б	102,22	102,23	102,26	104,51	104,57
	В	102,20	102,21	102,23	104,79	104,86
	Г	102,06	102,06	102,09	104,88	105,04
	Д	102,41	102,41	102,41	103,18	103,33

Таблица 2

## Величина остаточных деформаций труб

Наименование	Сечение	Направление 1							
		Температура испытаний, °С							
		-1		-5		-10		-15	
		$\Delta$ , мм	$\delta$ , %	$\Delta$ , мм	$\delta$ , %	$\Delta$ , мм	$\delta$ , %	$\Delta$ , мм	$\delta$ , %
Труба 42×5	А	0,01	0,02	0,01	0,02	0,75	1,78	0,76	1,80
	Б	0	0	0	0	0,50	1,19	1,11	2,64
	В	0	0	0	0	0,70	1,66	1,00	2,37
	Г	0	0	0,02	0,05	0,55	1,31	0,62	1,47
	Д	0	0	0	0	0,62	1,47	0,62	1,47

Окончание таблицы 2

Наименование	Сечение	Направление 2							
		Температура испытаний, °С							
		-1		-5		-10		-15	
		$\Delta$ , мм	$\delta$ , %	$\Delta$ , мм	$\delta$ , %	$\Delta$ , мм	$\delta$ , %	$\Delta$ , мм	$\delta$ , %
Труба 102×11	А	0	0	0,02	0,02	0,98	0,96	0,99	0,97
	Б	0	0	0,03	0,03	2,41	2,36	2,43	2,38
	В	0,01	0,01	0,06	0,06	2,64	2,58	2,69	2,63
	Г	0,01	0,01	0,04	0,04	2,74	2,68	2,90	2,84
	Д	0	0	0,02	0,02	0,67	0,66	0,79	0,77
Труба 42×5	А	0	0	0	0	0,69	1,64	0,70	1,66
	Б	0	0	0	0	0,44	1,04	1,09	2,59
	В	0	0	0	0	0,51	1,21	0,84	1,99
	Г	0	0	0	0	0,50	1,19	0,59	1,40
	Д	0	0	0	0	0,60	1,42	0,61	1,45
Труба 102×11	А	0	0	0,01	0,01	0,66	0,65	0,75	0,73
	Б	0,01	0,01	0,04	0,04	2,29	2,24	2,35	2,30
	В	0,01	0,01	0,03	0,03	2,59	2,53	2,66	2,60
	Г	0	0	0,03	0,03	2,82	2,76	2,98	2,92
	Д	0	0	0	0	0,77	0,75	0,92	0,90

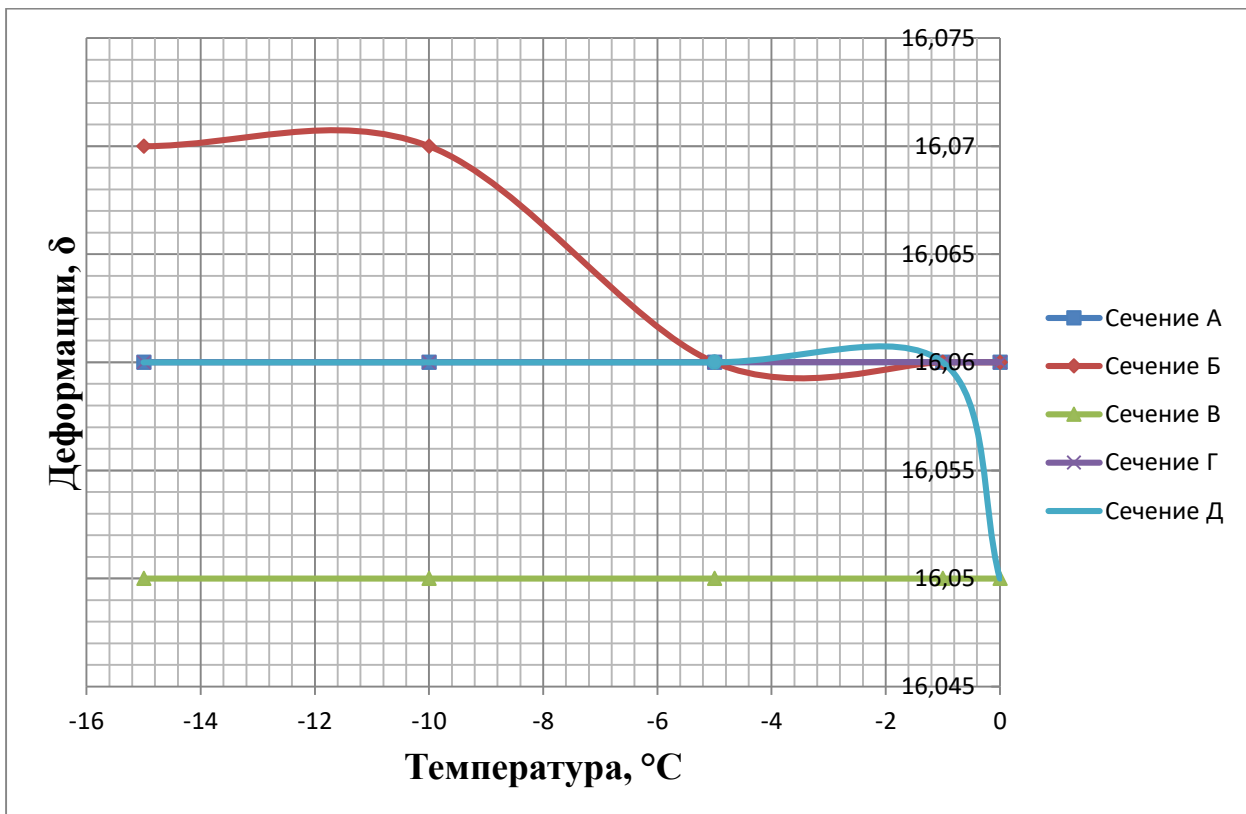


Рис. 4. Зависимость деформации от температурного воздействия на трубу Ø16×3 мм (направление 1)

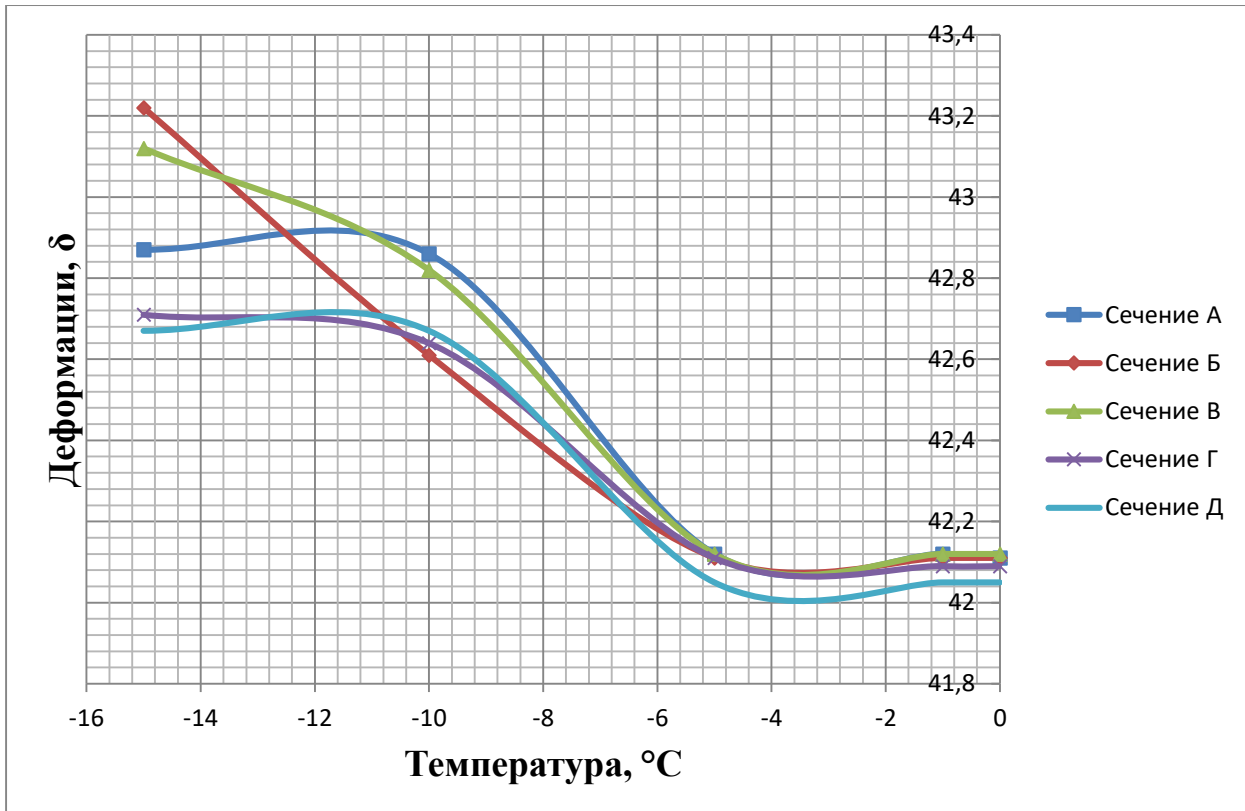


Рис. 5. Зависимость деформации от температурного воздействия на трубу Ø42×5 мм (направление 1)

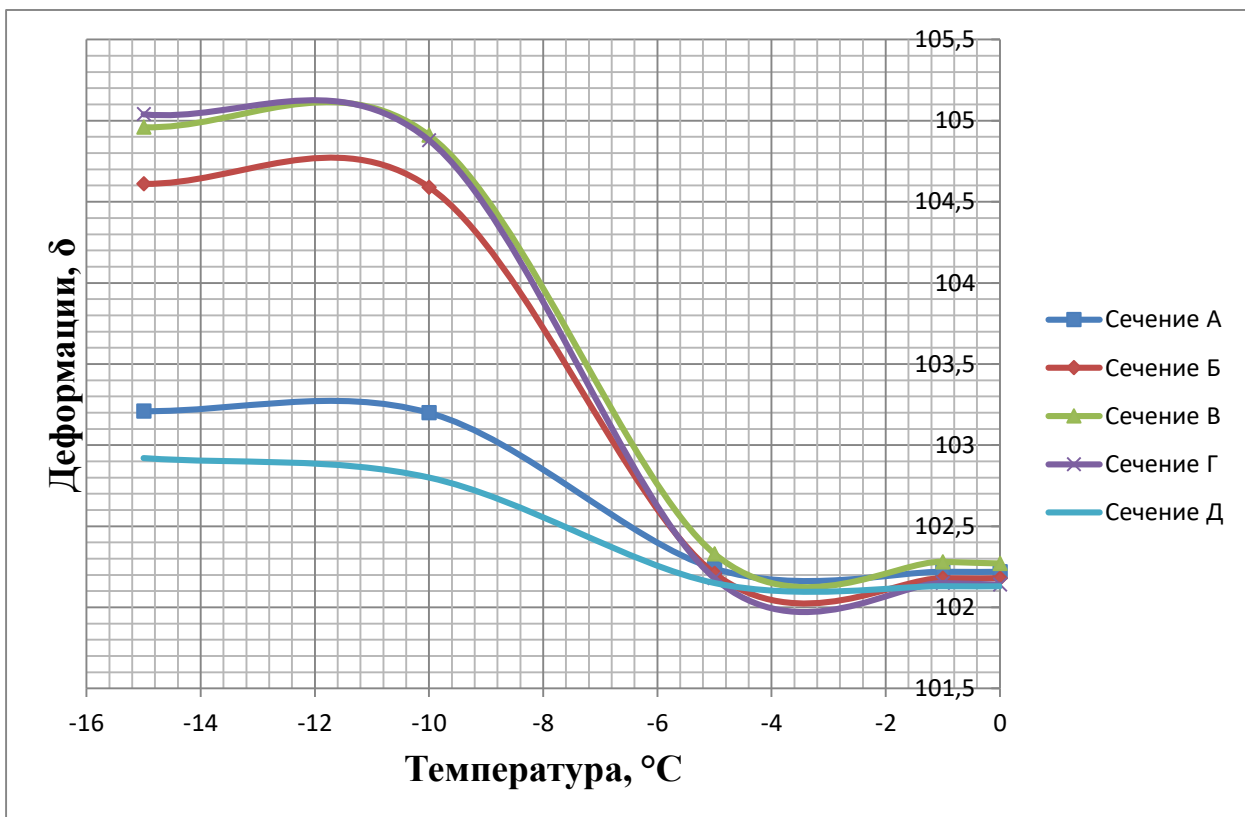


Рис. 6. Зависимость деформации от температурного воздействия на трубу Ø102×11 мм (направление 1)

## Заключение

Проведенные исследования позволили определить следующие остаточные деформации в цилиндрических трубах при замерзании в них воды:

- после выдержки труб 16×3 мм, 42×5 мм, 102×11 мм при  $t = -1$  °С в течение 2 суток остаточных деформаций не наблюдалось;
- остаточные деформации были обнаружены в трубах 42×5 и 102×11, начиная с  $t = -10$  °С и  $-5$  °С соответственно;
- максимальная величина остаточных деформаций в трубах 42×5 и 102×11 после выдержки их при температуре  $-15$  °С в течение 2 суток составляла величину 1,11 мм или 2,64% и 2,98 мм или 2,92% соответственно;
- трещины на поверхности труб не наблюдались при всех температурах испытаний.

*Дата поступления*

*в редакцию: 02.10.2018*

**Y. Gagarin, S. Pichkov, A. Shumaev, E. Novinskiy**

## DEFORMATION RESEARCH OF CYLINDRICAL SHEATH WITH WATER INSIDE WHILE FREEZING

JSC OKBM AFRICANTOV, Nizhniy Novgorod

**Purpose:** The article is devoted to the research of the strength of cylindrical tubes (ЦТ) of size  $\varnothing 16 \times 3$  mm,  $\varnothing 42 \times 5$  mm,  $\varnothing 102 \times 11$  mm length 400 mm made of austenitic steel 08X18H10T and filled with water in case of its freezing at sub-zero temperatures and simulate their behavior during possible hypothetical accidents at transport NPPs.

**Methodology:** Cylindrical tube researches were carried out in a heat chamber, which allows to obtain low temperatures up to minus 70 °С and exposure at each temperature:  $t = -1$  °С;  $-5$  °С;  $-10$  °С;  $-15$  °С for 24 hours. Before installation in the TC and after exposure at each temperature, the outer diameter of the tubes was measured along the length in five sections.

**Findings:** The results showed:

- tube  $\varnothing 16 \times 3$  mm has not residual deformations after exposure at  $t = -15$  °С;
- in tube  $\varnothing 42 \times 5$  mm occurred residual deformations of 1,78 % after testing at  $t = -10$  °С, at  $t = -15$  °С has residual deformations of 2,64 %;
- tube  $\varnothing 102 \times 11$  mm at  $t = -15$  °С has residual deformations of ~ 3 %.

Axial residual deformations in all tested tubes were absent.

**Value:** The carried out researches allowed to determine residual deformations in cylindrical tubes when water freezes inside. The research results can be useful in the operation of such tubes at low temperatures.

*Key words:* deformation, stainless steel ducts, water freezing