

УДК 621.59(075.8)

Н.В. Павлов

ООО «Мониторинг», Щелковское шоссе, 100/5, офис 42, г. Москва, РФ, 105523

e-mail: pavlov@monitoring-ooo.ru

Клаус Шиппл

«Nexans Deutschland Industries GmbH», Kabelkamp, 20, Hannover, Deutschland, 30179

e-mail: klaus.schippl@nexans.com

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБКИХ КРИОГЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
ДЛЯ ЖИДКИХ КРИОПРОДУКТОВ**

Трубопроводы для транспортирования жидких криопродуктов (кислород, азот, метан, водород, гелий) являются важнейшими элементами криогенных систем. Приводится информация о конструкции и технических характеристиках высокоэффективных гибких криогенных трубопроводов «Криофлекс» с многослойной экранно-вакуумной теплоизоляцией. Внутренние диаметры таких трубопроводов лежат в диапазоне 10...198 мм, удельные теплопритоки могут быть снижены до 0,3 Вт/м. Применение трубопроводов уменьшит потери криопродуктов, расширит сферу их использования.

Ключевые слова: Гибкие криогенные трубопроводы. Жидкие криопродукты. Кислород. Азот. Аргон. Метан. Водород. Гелий. Экранно-вакуумная изоляция.

*N.V. Pavlov, Klaus Schippl***CHARACTERISTICS OF FLEXIBLE CRYOGENIC PIPELINES FOR LIQUID CRYOPRODUCTS**

Pipelines for transportation of liquid cryoproducts (oxygen, nitrogen, methane, hydrogen, helium) are the basic elements of cryogenic systems. The information on design and characteristics of highly effective flexible cryogenic pipelines «Cryoflex» with multilayered screen-vacuum heat-isolation is resulted. An internal diameters of such pipelines lay in range 10...198 mm, specific heat leakages can be reduced up to 0,3 W/m. Use of pipelines will lower the losses of cryoproducts, the sphere of their use will expand.

Keywords: Flexible cryogenic pipelines. Liquid cryoproducts. Oxygen. Nitrogen. Argon. Methane. Hydrogen. Helium. Screen-vacuum isolation.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших элементов криогенных систем являются трубопроводы для транспортирования криогенных жидкостей. Криогенными трубопроводами соединяются:

- установки по производству криогенных жидкостей (кислород, азот, аргон, гелий, метан и др.) с системами их хранения у производителя;
- терминальные системы хранения криогенных жидкостей с транспортными средствами, например, морскими метановозами;
- системы хранения криогенных жидкостей у потребителя с оборудованием их использующим.

Криогенные трубопроводы являются частью систем сверхпроводящих кабелей ускорительно-накопительных комплексов; они широко используются для криогенного обеспечения ракетно-космической техники [1-3].

Потери криогенной жидкости при её транспорти-

ровании по трубопроводу зависят от конструкции криогенного трубопровода и его характеристик.

К основным типам криогенных трубопроводов можно отнести:

- гибкий металлорукав, используемый для кратковременной подачи криогенной жидкости, например, при заправке ею малых транспортных средств или слива её из них (фото 1);
- стационарный трубопровод с полимерной вспененной или насыпной (из перлита) изоляцией;
- стационарный неразборный трубопровод с экранно-вакуумной теплоизоляцией (фото 2);
- разборный трубопровод из стандартных элементов с экранно-вакуумной изоляцией и вакуумными разъёмами. Такие трубопроводы производятся несколькими западными компаниями, например, «Quality Cryogenics».

Наиболее часто в качестве стационарных криогенных трубопроводов используют их неразборные конструкции с экранно-вакуумной изоляцией [1,2]. В

табл. 1 приведены характеристики таких трубопроводов.



Фото 1. Слив жидкого азота из транспортной ёмкости (ЦТК-5/0,25) в генератор снега через гибкий металлорукав



Фото 2. Криогенный трубопровод с экранно-вакуумной изоляцией в составе системы хранения

Таблица 1.

Условный диаметр трубопровода, мм	Размер внутренней трубы, мм	Диаметр кожуха, мм	Удельный приток, Вт/м
Ду15	18×1,4	100×2	0,9
Ду25	28×1,4	100×2	1,1
Ду50	56×2	150×2,5	1,15
Ду65	70×2	150×2,5	1,3
Ду100	100×2	200×2,5	1,5
Ду150	150×2,5	250×3	2,2
Ду200	200×2,5	300×3	3
Ду250	250×3	350×3,5	4
Ду300	300×3	408×4	5,2
Ду400	408×4	508×4	8

Как видно из таблицы, эти трубопроводы имеют хорошие показатели по удельному теплопритоку. К недостаткам этого типа трубопроводов можно отнести

сложность конструкции, необходимость использования специальных термокомпенсирующих элементов; большой объём работ по сборке трубопровода на объекте, ограничение монтажа погодными условиями; необходимость проведения испытаний на герметичность, прочность, холодных испытаний непосредственно на объекте; необходимость откачки экранно-вакуумной изоляционной полости на объекте.

Эти факторы обуславливают высокую стоимость монтажа криогенного трубопровода, которая часто превышает стоимость элементов конструкции трубопровода.

2. ОСОБЕННОСТИ ГИБКИХ КРИОГЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

С задачей устранения всех вышеперечисленных недостатков успешно справилась компания «Nexans» — мировой лидер в производстве кабельной продукции. Для изготовления криогенных трубопроводов компания применила технологии, используемые при производстве электрических кабелей. Результатом этих разработок стало создание системы гибких криогенных трубопроводов «Криофлекс». Рассмотрим их основные характеристики.

На фото 3 показаны устройства криогенных трубопроводов для транспортирования таких криогенных жидкостей, как кислород, азот, аргон и метан, а также гелий и водород.



Фото 3. Трубопроводы «Криофлекс» для продуктов разделения воздуха и метана (а), а также гелия и водорода (б)

Представление о внутреннем устройстве гибкого криогенного трубопровода даёт рис. 4. Как видно из него, трубопровод представляет собой систему из коаксиальных гофрированных труб из нержавеющей стали (гофрирование обеспечивает гибкость трубопровода и температурную самокомпенсацию). В меж-трубном его пространстве размещена многослойная суперизоляция. Снаружи внешняя гофрированная труба защищена от механических повреждений полиэтиленовым кожухом. На торцах трубопровод имеет концевые элементы, включающие в себя: индикатор вакуума; штуцеры откачки и контроля вакуума. Внутри трубопровода для поглощения газов размещён геттер.

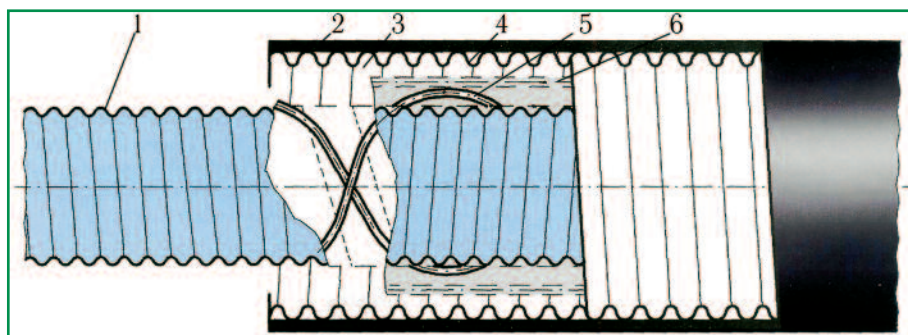


Рис. 4. Разрез криогенного трубопровода «Криофлекс»: 1, 4 — сильфонные спиральные сварные трубопроводы (внутренний и внешний) из нержавеющей стали; 2 — защитная наружная цилиндрическая оболочка из полиэтилена; 3 — вакуумное пространство; 5 — спиральная изолирующая прокладка; 6 — многослойная экранно-вакуумная теплоизоляция из полиэтилентерефталатной плёнки (ПЭТ), металлизированной с двух сторон алюминием



Фото 6. Вид технологической линии для изготовления криогенного трубопровода «Криофлекс» на машинах «Uniwema»

На фото 5 приведены концевые элементы трубопровода в двух исполнениях: присоединение стандартное неизолированное (слева) и с вакуумной изоляцией (справа).



Фото 5. Концевые элементы криогенных трубопроводов: а — с неизолированным разъёмом; б — с разъёмом, снабжённым вакуумной теплоизоляцией

Трубопровод может иметь неограниченную длину, но с точки зрения эффективной откачки экранно-вакуумной изоляционной полости длину одного неразборного трубопровода обычно ограничивают 100 м.

Трубопровод производится на линии, укомплектованной специальными машинами «Uniwema». На первой машине непрерывно и последовательно труба сваривается из нержавеющей ленты в защитной атмосфере, затем гофрируется, очищается моющим раствором, сушится. После этого на неё наносятся многослойная суперизоляция из ПЭТ и спиральная изолирующая прокладка. Готовая внутренняя труба сматывается на кабельную катушку. На второй машине внутренняя труба заключается во внешнюю, кото-

рая также сваривается непрерывно из металлической ленты, гофрируется и защищается полимерной изоляцией. Коаксиальный трубопровод с суперизоляцией сматывается на кабельную катушку. На фото 6 показана технологическая линия изготовления и сборки криогенного трубопровода.

Далее к коаксиальному трубопроводу привариваются концевые элементы и производится его тестирование и откачка. Тестирование выполняется с помощью гелиевого течеискателя с чувствительностью 10^{-9} мбар·л/с.

Таким образом, с завода выходит готовый к эксплуатации гибкий криогенный трубопровод с высокими технологическими и теплоизолирующими характеристиками. Рабочее давление трубопровода «Криофлекс» — 20 бар.

В табл. 2 приведены технические характеристики некоторых стандартных гибких криогенных трубопроводов. В таблице используются позиции, соответствующие рис. 7.

В табл. 2 указаны основные показатели стандартных гибких криогенных трубопроводов, производимых компанией «Nexans». Необходимо отметить, что компания может изготавливать трубопроводы и с другими характеристиками. Например, внутренние диаметры трубопроводов можно варьировать в диапазоне 10...198 мм. Изготовитель предлагает на выбор несколько типов аустенитных нержавеющей сталей: 304L, 321, 316Ti, E316LN.

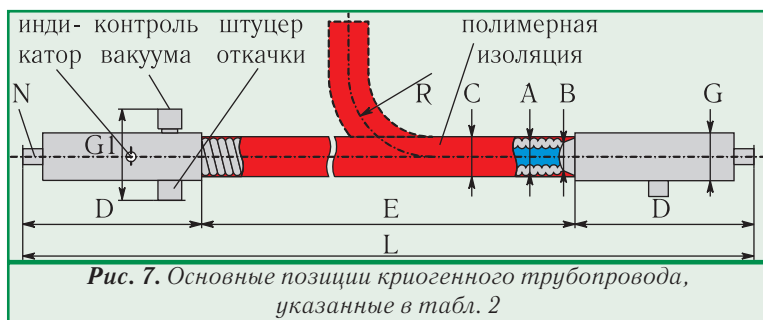
Монтаж криогенных трубопроводов «Криофлекс» производится аналогично монтажу электрических кабелей: по стенам зданий или в лотках по эстакадам, а также в бетонных траншеях (фото 8).

Системы трубопроводов «Криофлекс» успешно применяются для заправки танкеров сжиженным природным газом (СПГ) как от плавучих добывающих и ожигительных станций, так и от стационарных терминалов. На фото 9 показан такой заправочный узел «Cryodup», включающий пять параллельных гибких криогенных трубопроводов «Криофлекс» диаметром 300 мм и длиной 55 м каждый.

Таблица 2.

Технические параметры	Позиции	Размеры					
Внутренний диаметр внутренней трубы*	A	14	21	30	39	60	
Наружный диаметр внешней трубы	B	34	44	58	66	110	
Наружный диаметр полиэтиленовой изоляции	C	38	48	62	70	115	
Длина концевой детали	D	335	340	355	360	470	
Длина гибкого участка трубопровода	E	определяется заказчиком					
Диаметр концевой детали	G	54	54	76	76	128	
	G1	170	170	190	190	240	
Общая длина	L	не лимитирована					
Способ подключения	N	стандартное присоединение или специальное по заказу					
Минимальный радиусгиба:	R	при нескольких изгибах	600	700	900	1100	1200
		при одном изгибе	300	350	450	550	1000
Удельный теплоприток, Вт/м**		0,5	0,8	1,2	1,2	1,7	
Масса погонного метра, кг		0,5	0,8	1,2	1,3	4	

Примечание: *) Все размеры в мм. **) При исполнении трубопровода на заказ удельный теплоприток может быть снижен до 0,3 Вт/м.



3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производимые компанией «Nexans» гибкие криогенные трубопроводы пользуются высоким спросом. Среди потребителей этих изделий можно назвать такие известные компании, как «Linde Gas», «Messer Griesheim», «Air Products», «Air Liquide», Европейский центр ядерных исследований (CERN) и мн. др.

Применение трубопроводов «Криофлекс» позволит снизить потери криопродуктов, расширит сферу их использования. Специалисты компании в соответствии с конкретным заказом изготовят трубопроводы необходимой длины с требуемыми концевыми элементами.

В приобретении гибких криогенных трубопроводов заинтересованы также компании из РФ, Украины и стран СНГ. Их заявки могут сейчас выполняться более оперативно, так как предприятие ООО «Мониторинг» стало официальным дистрибьютером компании «Nexans».

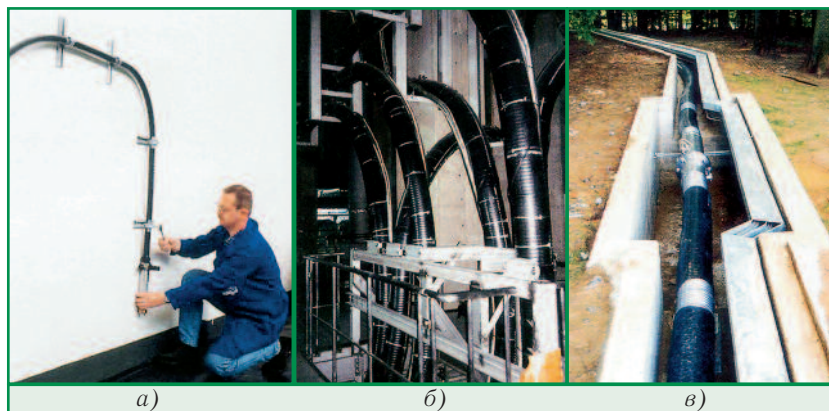


Фото 8. Варианты монтажа криогенных трубопроводов: а — настенное расположение; б — в лотках на эстакадах; в — в траншеях



Фото 9. Заправочный узел СПГ крупнотоннажного морского метановоза

ЛИТЕРАТУРА

1. Криогенные системы. В 2-ух т. Т.2. Основы проектирования аппаратов, установок и систем/ А.М. Архаров, И.А. Архаров, В.П. Беляков и др. — М.: Машиностроение, 1999. — 720 с.
2. Филин Н.В., Буланов А.Б. Жидкостные криогенные системы. — Л.: Машиностроение. Ленинград. отд., 1985. — 244 с.
3. Разделение воздуха методом глубокого охлаждения. Технология и оборудование. В 2-ух томах. Под ред. В.И. Епифановой и Л.С. Аксельрода. Т.2. Промышленные установки, машинное и вспомогательное оборудование. — М.: Машиностроение, 1973. — 568 с.