

УДК 621.59

**Г.И. Сайдаль**

ОАО «Криогенмаш», пр. Ленина, 67, г. Балашиха Московской области, РФ, 143907

e-mail: saydal@cryogenmash.ru

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫМИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ СОВРЕМЕННОГО КРИОГЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Показатели криогенного оборудования часто напрямую зависят от качества используемых в нём теплоизоляционных систем. Разработке и совершенствованию таких систем большое внимание уделяют на известном предприятии — ОАО «Криогенмаш» (Балашиха Московской области). Приводятся характеристики вспученного перлитового песка как наиболее востребованного теплоизоляционного материала криогенных воздухоразделительных установок и др. оборудования. Сообщается о разработке новых технических условий на этот тип теплоизоляции и организации контроля его качества. Обращается внимание на рост использования в криогенном оборудовании новых видов теплоизоляции на основе вспененных каучуков. Приводится перечень оборудования, в котором целесообразно применять слоисто-вакуумную теплоизоляцию.*

**Ключевые слова:** Криогенное оборудование. Теплоизоляция. Перлит. Технические условия. Вспененные каучуки. Слоисто-вакуумная изоляция.

**G.I. Saydal**

## MAINTENANCE BY EFFECTIVE HEAT INSULATION SYSTEMS OF THE MODERN CRYOGENIC EQUIPMENT

*Parameters of the cryogenic equipment frequently directly depend on quality of used in it heat insulation systems. The big attention give for development and perfection of such systems at the known enterprise — JSC «Cryogenmash» (Balashikha of Moscow area). Characteristics of circulite sand as the most claimed heat insulation material of cryogenic air separation plants and others equipment are resulted. It is informed about development of new specifications on this type of heat insulation and the organizations of the control of its quality. It is paid attention to growth of use in the cryogenic equipment of new kinds of heat insulation on a basis of foamed rubbers. The list of the equipment in which is expedient to apply laminated-vacuum heat insulation is resulted.*

**Keywords:** Cryogenic equipment. Heat insulation. Pearlite. Specifications. Foamed rubbers. Laminated-vacuum insulation.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Выпуск нового типа воздухоразделительных установок (ВРУ), другого знакового криогенного оборудования сопровождается рекламными компаниями, изданием буклетов, публикацией статей в журналах, презентациями. В это же время изменения в подходах к изолированию этого нового криогенного оборудования, как правило, не очень заметны. Однако последнее десятилетие производства криогенного оборудования в ОАО «Криогенмаш» характеризуется существенными переменами в выборе изоляционных материалов и технологий их применения, а также созданием эффективных теплоизоляционных систем. Отметим наиболее важные работы в этой области.

### 2. ВНЕДРЕНИЕ ПОВЫШЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ПЕРЛИТОВОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

Вспученный перлитовый песок в настоящее время является наиболее востребованным изоляционным материалом для криогенного оборудования. Объёмы его применения в криогенной технике, как в стоимостном, так и в количественном выражении существенно превышают объёмы использования любых других изоляционных материалов.

В криогенной технике перлит в основном применяется для теплоизоляции ВРУ. Учитывая, что крупная ВРУ представляет собой небольшой завод и по размерам сопоставима с многоэтажным зданием, расход вспученного перлитового песка на её изолирование

может составлять 3...5 тыс. м<sup>3</sup>. ВРУ, оснащаемые пневмотранспортными системами перекачки перлита, изолируются путём подачи его в кожух установки из перлитохранилищ. При транспортировании перлит частично измельчается [1], в результате чего его плотность повышается. Учёт этого, а также создание запаса перлита на весь цикл функционирования ВРУ, приводит к тому, что на каждую установку с пневмотранспортной системой поставлялся трёхкратный к изоляционному пространству установки объём перлита. Это составляет 10...12 тыс. м<sup>3</sup> на крупную установку.

Объёмы производства ВРУ, а также поставки перлита при ремонте и модернизации установок позволяют оценить его потребление в текущие годы в 75 тыс. м<sup>3</sup> в год. Средняя стоимость 1 м<sup>3</sup> в 2008 г. с учётом транспортирования от места производства к потребителю составляла примерно 1200 руб. Таким образом, объём потреблённого в 2008 г. перлита на нужды криогенной изоляции можно оценить в 90 млн. руб.

Широкое применение вспученного перлитового песка в криогенной технике обусловлено его особыми техническими характеристиками и высокими эксплуатационными качествами. При производстве вспученного перлита перлитовая порода обжигается в печах при температуре около 900 °С. Таким образом технологический процесс производства вспученного перлитового песка полностью исключает наличие в нём органических веществ. Это снимает все вопросы по пожаро- и взрывобезопасности перлитовой изоляции при применении её в ВРУ и, в частности, в условиях, когда газообразная среда, в которой находится перлит, может быть сильно обогащена кислородом, а также в условиях возможных протечек жидкого кислорода. При этом перлит является одним из лучших теплоизоляторов. Его теплопроводность одна из самых низких в сравнении с материалами, применяемыми для изоляции криогенного оборудования. Сочетание перечисленных достоинств с низкой стоимостью вспученного перлитового песка и определяет его преимущественное положение в списке изоляционных материалов криогенной техники.

Однако при применении перлита требуется соблюдать определённые правила. Наиболее частыми проблемами при использовании перлита являются

значительный рост насыпной массы перлита в процессе длительной эксплуатации, когда проводятся неоднократные переизолирования установок с помощью пневмотранспортной системы. Также отмечается увеличение в процессе эксплуатации установок количества мелкой фракции в перлитовом песке, снижение газопроницаемости перлита, рост его влажности. Это вызывает ряд негативных явлений, таких как увеличение нагрузок на кожух установок, возрастание ударных нагрузок на него и внутриблочное оборудование ВРУ при вторичном изолировании и разизолировании установок. Значительное снижение газопроницаемости, характерное для перлита, прошедшего через несколько циклов пневмотранспортирования, резко повышает риск аварийных ситуаций с разрывами и раскрытием кожухов при даже незначительной разгерметизации внутриблочного оборудования, аппаратов и трубопроводов ВРУ [2].

В связи с указанным использование нашим предприятием вспученного перлитового песка как криогенной изоляции в последние годы претерпело ряд существенных изменений.

В первую очередь были выпущены два нормативных документа: Технические условия 5712-001-05747985-2006 «Песок перлитовый вспученный для изоляции криогенного оборудования» [3] и Стандарт предприятия СТП 2082-657-2008 «Оборудование криогенное. Материалы теплоизоляционные для блоков разделения воздуха ВРУ. Характеристики, применение» [4].

Необходимость в выпуске технических условий на перлит для криогенного оборудования возникла в связи с тем, что в процессе производства новых модификаций ВРУ возросли требования к перлитовой изоляции. Имевшиеся требования к общестроительному перлитовому песку, изложенные в ГОСТ 10832-91 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия» [5], оказались недостаточными. Новые технические условия конкретизируют ряд характеристик перлита. Кроме этого, они нормируют характеристики, непредставленные в ГОСТ 10832-91, оговаривают упаковку, маркировку, правила приёмки и методы контроля вспученного перлитового песка. В указанные ТУ 5712-001-05747985-2006 введены два ти-

**Таблица 1.** Характеристики перлита по ТУ 5712-001-05747985-2006

Наименование показателя	Тип А	Тип Б
Плотность насыпная $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	45-60	40-60
Плотность в слежавшемся состоянии $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	55-90	60-90
Зерновой состав, мм (% масс.)	до 0,16 — не более 12 % от 0,16 до 1,25 — не менее 83 % свыше 1,25 — не более 5 %	до 0,16 — не менее 85 %
Угол естественного откоса $\alpha$ , град.	30-38	33-40
Теплопроводность при температуре (25±5) °С, Вт/м·К, не более	0,043	0,043
Влажность, % масс., не более	1,0	0,2
Содержание органических веществ, % масс., не более	0,1	0,1

па вспученного перлитового песка: тип А (преимущественное применение — изоляция ВРУ и другого крупногабаритного стационарного оборудования) и тип В (для использования в системах с порошково-вакуумной изоляцией). Характеристики перлита представлены в табл. 1.

Более подробно с техническими условиями ОАО «Криогенмаш» на вспученный перлитовый песок можно ознакомиться в публикации [6].

В настоящее время закупка перлита по новым техническим условиям осуществляется в три этапа. На первом этапе производители перлитового песка, желающие участвовать в поставках перлита для криогенного оборудования, предъявляют пробы для предварительной проверки песка на соответствие ТУ. Как правило, при этом производители ставят свою согласующую подпись на титульном листе ТУ, что говорит о возможности производства перлита на данном предприятии в соответствии с требованиями данного документа.

Следующий этап — это тендер на закупку перлита. В договоре на поставку перлита для победителя тендера оговаривается проверка его характеристик на нашем предприятии за 2 недели до основной поставки пробной партии перлита. В случае соответствия пробной партии техническим условиям производится основная поставка, в процессе которой на заводе-потребителе, где осуществляется монтаж ВРУ, также выполняется проверка качества перлита. В ряде случаев при поставке проверяются все упаковки. Наиболее часто наблюдаются отклонения по фракционному составу перлита (излишек мелкой фракции), по его насыпной массе (более тяжёлый), по влажности и по несоответствию упаковки требованиям документа.

Технические условия оговаривают требования к характеристикам перлита, в это же время существует необходимость в уточнении требований к применению этого материала. Имеющийся опыт эксплуатации ВРУ показал, что оснащение отечественных установок пневмотранспортными системами, с одной стороны, облегчает работы по изолированию установок, осуществлению ремонтных работ, но, с другой стороны, негативно сказывается на характеристиках перлита. Плотность перлита при каждой перекачке его из перлитохранилища в установку или наоборот резко возрастает вследствие измельчения порошка [1]. После нескольких циклов изолирования-разизолирования установок возникает необходимость замены перлита. Однако с учётом значительных объёмов изоляции и высокой трудоёмкости замены, решение об использовании свежего перлита максимально затягивается. Это приводит к тому, что некоторые установки с перлитом, плотность которого превышает  $300 \text{ кг/м}^3$ , продолжают эксплуатироваться. Это недопустимо, так как может привести к возникновению аварийных ситуаций. Вследствие того, что газопроницаемость такого плотного перлита столь низка, небольшие изменения давления газа, которым осуществляется наддув кожуха ВРУ, не регистрируются датчиками давления уже на расстоянии 4 м от точки ввода газа. Также

отмечены случаи послойного заполнения перлитом из перлитохранилищ кожухов ВРУ персоналом, применяющим пневмотранспортные системы, когда разные слои перлита имеют различную удельную насыпную плотность, а вышележащие слои — насыпную плотность как меньше, так и больше, чем нижележащие слои. Это приводит к значительным и превышающим расчётные локальным нагрузкам на кожух установки.

Разработанный документ [4] устанавливает ряд требований к конструкции, оснащению и регламенту работы теплоизоляционных систем ВРУ. В этом документе оговаривается необходимость изолирования только с применением ручной засыпки перлита, соответствующего техническим условиям [3]; указываются также требования к системам наддува изоляционного пространства ВРУ, системе предохранительных клапанов и работе устройств регистрации давления газов в изоляционной полости установки.

### 3. ОСВОЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВИДОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

Из других материалов, применяемых для изоляции криогенного оборудования, производимого предприятием, следует выделить вспененные синтетические каучуки и, в первую очередь, «Armaflex». Широкое использование нами данных материалов осуществляется в последние 5-7 лет.

В течение этого времени на предприятии был выполнен комплекс исследований по определению характеристик вспененных синтетических каучуков с учётом условий их применения в производимом у нас оборудовании, разработаны оптимальные многослойные конструкции, позволяющие максимально снизить проникновение влаги в изоляцию и предотвратить разрушение её внутренних слоёв из-за потери эластичности при криогенных температурах и значительных термических напряжений [7,8]. Отработаны варианты изолирования трубопроводов с жидким азотом. В ограниченных случаях предусмотрено применение изоляции в оборудовании с жидким кислородом. Главные свойства, которые определили широкое применение «Armaflex», — это низкая теплопроводность при очень высоком сопротивлении проникновению влаги, что делает ненужным установку парового барьера. Изоляция «Armaflex», как и вспененные синтетические каучуки других компаний, производится в виде пластин, лент, трубок различных типоразмеров. Существуют варианты изоляции с покрытием алюминиевой фольгой, защитными составами, полимерными сетками, краской. Технология указанных нанесений детально проработана, и для производства работ имеются крепёжные элементы, инструменты и оснастка практически для всех случаев, возможных при изолировании оборудования. Всё это заметно выделяет современные вспененные синтетические каучуки из других видов невакуумной изоляции и в значительной мере определяет успех их применения.

Производитель «Armaflex» — компания «Армселлс Европа ГМБХ» для упрощения закупок этой

**Таблица 2.** Основные характеристики изоляции «Armaflex»

Наименование показателя	Типы изоляции		
	AF	AC	NT
Объёмная плотность, кг/м <sup>3</sup> :			
– пластины	40-60	40-60	40-60
– трубки	50-70	50-70	50-70
Температуры применения, °С:			
– минимальная	–50 (–200)	–50	–50 (–200)
– максимальная	+105	+105	+105
Теплопроводность, Вт/м·К, не более			
– 180 °С	0,013		
– 150 °С	0,017		
– 100 °С	0,022		
– 60 °С	0,030		
– 40 °С	0,032	0,034	
– 20 °С	0,034	0,036	
0 °С	0,036	0,038	0,040
+ 10 °С	0,037	0,039	0,041
+ 20 °С	0,038	0,040	0,043
+ 40 °С	0,040		0,045
Паропроницаемость, мг/м·ч·Па, не более	0,000101	0,000235	0,000353
Водопоглощение в течение 24 ч, %, не более	0,2	0,7	0,7
Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	0,07	0,07	0,07
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	150	150	150
Сопrotивление сжатию при 50 % деформации, кПа, не менее	1,0	1,0	1,0
Сжимаемость (упругость) под удельной нагрузкой (2000±30) Па, %, не менее	15 (80)	15 (80)	15 (80)

изоляция российскими предприятиями разработала Технические условия 5768-001-55258056-04 «Изделия теплоизоляционные из эластомерных материалов на основе вспененных синтетических каучуков» [9]. В табл. 2 представлены характеристики «Armaflex», необходимые для расчётов изоляции криогенного оборудования [9].

Вспененные синтетические каучуки вытеснили вату и маты из супертонкого волокна и минеральной ваты как изоляцию криогенного оборудования. Однако следует отметить, что в данное время рынок невакуумных изоляционных материалов пополнился ещё одной теплоизоляцией, имеющей высокие потребительские свойства. Это материал, относящийся к классу аэрогелей, имеет фирменное наименование «Syrogel Z». Изоляция этой марки изготавливается в процессе, основанном на нанотехнологии, и имеет значения теплопроводности, показателей пожаро- и взрывобезопасности и влагофобных свойств, делающие её привлекательной для применения в криоборудовании.

Вспененные синтетические каучуки в значительной мере вытеснили вату и маты из супертонкого во-

локна и минеральной ваты как изоляцию криогенного оборудования.

#### 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СВТИ

Принципиально иным видом криогенной изоляции является слоисто-вакуумная тепловая изоляция (СВТИ). В количественном выражении объёмы использования СВТИ в криогенном оборудовании предприятия существенно ниже по сравнению с вспученным перлитовым песком. Однако существует чётко определённый круг криогенного оборудования, в котором стабильно в течение длительного времени применяется СВТИ. Это в первую очередь криогенные резервуары для жидких криопродуктов (жидких азота, аргона, кислорода), а также оборудование для жидких водорода и гелия и, в частности, их ожижители.

История разработки, внедрения и совершенствования СВТИ насчитывает уже почти шесть десятилетий. В докторской диссертации В.Ф. Гетманца «Крупногабаритные бортовые системы криостатирования» имеется следующая фраза: «Имея рекордно низкую теплопроводность, ЭВТИ в первые же годы после своего «рождения» (Петерсон, Швеция, 1951 [10]) приобрела решающее значение для развития криогенной, ракетно-космической и др. отраслей промышленности». Теорией СВТИ, её математическими моделями, методами монтажа, текстурами данной изоляции продолжают заниматься многие компании, в том числе и ОАО «Криогенмаш», по настоящее время. Но наиболее активно проработка применения этого типа изоляции велась в 80-90-ых годах прошлого века. Были изучены свойства различных композиций. Разрабатывались методики расчётов. Попытки создания методик расчётов, позволяющих получать результаты, коррелирующиеся с экспериментальными данными, не прекращаются и в наше время. Так, в [11] описывается одна из последних работ по данной проблеме. Однако применение СВТИ и сейчас в большей степени базируется на результатах экспериментальных работ. Выполненные исследования позволили разработать технологию изолирования с использованием СВТИ, обеспечивающую достаточно высокую эффективность теплоизоляционных систем. Основные работы по СВТИ на нашем предприятии касаются исследований их характеристик при применении альтер-



нативных материалов, а также изменении параметров при вариациях технологии изготовления и монтажа изоляции [12].

Из других особенностей технологии теплоизоляции следует отметить расширившееся у нас применение тепловизионного метода контроля эффективности изоляционных систем криогенного оборудования [13], а также создание и внедрение методики проведения испытаний на испаряемость криогенных резервуаров, завершившейся разработкой документа [14] и компьютерной программы для обработки результатов испытаний [15].

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее десятилетие происходит существенное изменение перечня изоляционных материалов, технологии изолирования, конструкций изоляционных систем криогенного оборудования ОАО «Криогенмаш». Был создан ряд документов, нормирующих технические аспекты создания теплоизоляционных систем. Разработанные конструкции теплоизоляционных систем обеспечивают, в большинстве случаев, более долговременное функционирование изделий, повышенную изоляционную эффективность, надёжность и безопасность работы криогенного оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Сайдадь Г.И., Копченко П.В. Измельчение перлита в процессе пневмотранспортировки// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2004. — № 6. — С. 12-15.
2. Аверин Л.В., Сайдадь Г.И., Цыбин О.В. Силовое воздействие насыпной теплоизоляции при обрушении на кожух воздуходелительной установки// Химическое и нефтяное машиностроение. — 1994. — № 8. — С. 13-15.
3. Технические условия ТУ 5712-001-05747985-2006 «Песок перлитовый вспученный для изоляции криогенного оборудования». Дата введения — с 01.07.2007 г. без огр. срока действия. — 11с.
4. СТП 2082-657-2008. Стандарт предприятия «Оборудование криогенное. Материалы теплоизоляционные для

блоков разделения воздуха ВРУ. Характеристики, применение». — Балашиха: ОАО «Криогенмаш», 2008. — 11с.

5. ГОСТ 10832-91. Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия.

6. Сайдадь Г.И., Петров С.И., Коротаев Э.Г. Разработка требований к вспученному перлитовому песку как эффективной теплоизоляции криогенного оборудования// Технические газы. — 2007. — № 1. — С. 63-66.

7. Применение синтетического каучука Agmatex в качестве криоизоляции/ П.В. Копченко, А.С. Розовский, Г.И. Сайдадь, В.М. Смирнов// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2003. — № 3. — С. 14-16.

8. Упрочненные конструкции криоизоляции на основе синтетического каучука K-Flex/ Г.И. Сайдадь, П.В. Копченко, К.В. Пластинин, Б.А. Левин// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2003. — № 9. — С. 19-20.

9. Технические условия ТУ 5768-001-55258056-04 «Изделия теплоизоляционные из эластомерных материалов на основе вспененных синтетических каучуков». Дата ввода в действие — 01.12.2004. — 33 с.

10. Peterson P. The Heat Tight Vessel// Office of Naval Intelligence Translation. — 1953. — No 1147. — P. 142-146.

11. Жунь Г.Г. Оптимизация многоэлементных теплозащитных конструкций криососудов// Технические газы. — 2008. — №1. — С. 23-33.

12. Кузьменко И.Ф., Румянцев Ю.Н., Сайдадь Г.И. Современные тенденции в конструировании и изготовлении резервуаров для хранения и транспортировки жидкого водорода// Технические газы. — 2008. — № 1. — С. 53-58.

13. Сайдадь Г.И., Копченко П.В. Определение эффективности теплоизоляционных систем криогенного оборудования тепловизионным методом// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2007. — № 3. — С. 21-23.

14. РД 2082-38-2007 «Оборудование криогенное. Резервуары криогенные. Методы испытаний по определению потерь криопродукта от испарения». — Балашиха: ОАО «Криогенмаш», 2007. — 27 с.

15. Сайдадь Г.И., Солодов А.И., Каппель Г.М. Разработка программы обработки результатов испытаний на потери продуктов от испарения в криогенных резервуарах// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2007. — № 9. — С. 18-20.



## ВТОРОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ — ЗА 2 ГОДА!



- необходимо наличие законченного высшего инженерно-технического образования;
- обучение в Одесской государственной академии холода по направлению Украинской ассоциации производителей технических газов «УА-СИГМА»;
- специальность 8.090507 «Криогенная техника и технология»;
- форма обучения — заочная контрактная;
- завершение учёбы — сдачей государственного экзамена;
- возможность продолжения обучения для получения диплома магистра;
- диплом Министерства образования и науки Украины признается в странах СНГ.

Условия приёма по контактному тел./факсу: +38 (048) 777-00-87