

- Минимально скорость движения при работе с щупом с газовой завесой составляет 20 мм/с, при этой скорости течеискатель фиксирует наличие течи практически мгновенно.
- Выполнение требования по обязательной «гелиевой чистоте» помещения, т.е. о максимально допустимом содержании гелия в атмосфере помещения не более чем в 1,5 раза больше концентрации гелия в чистом воздухе – необязательно.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что внедрение щупа с газовой завесой будет способствовать значительному снижению трудоемкости процесса испытаний изделий способом «щупа» и повышению качества испытаний.

Вакуумные испытания и вакуумирование резервуара сферического криогенного типа РС -1400/0,4 (объём теплоизоляционной полости – 700м³) из состава ракетного космического комплекса «Ангара», космодром Плесецк, Архангельской области

В.В.Веденев, Л.К.Куцкий, Е.В.Жировов, В.А.Кобзев, К.В.Сметанин
Москва, ЗАО «Криогенмонтаж», Староваганьковский пер., дом 23 стр.1
E-mail: www.cryomont.ru

В данной статье приводится опыт проведения вакуумных работ на объекте ракетно-космического комплекса «Ангара» космодрома Плесецк, Архангельской области.

В условиях открытой монтажной площадки (температура окружающего воздуха от +35°C до -45°C) успешно проведены работы по испытаниям и вакуумированию уникального криогенного резервуара типа РС – 1400/0,4 для жидкого кислорода полезным объемом 1437м³, рабочим давлением 0,55МПа (5,5кг/см²), массой хранимого жидкого кислорода – 1480тн (1,48·10⁶ кг). Рабочая температура жидкого кислорода – минус 183⁰С. Потери от испарения при хранении не более – 33 кг/ч (для жидкого кислорода). Объём вакуумной теплоизоляционной полости – 700 м³. Давление (вакуум) в теплоизоляционной полости перед заполнением резервуара жидким продуктом не более 1,33·10⁻¹ Па (1·10⁻³ мм.рт.ст.)

Vacuum tests in Plesetsk, Archangelsk region. V.V.Vedeneyev, L.K.Kutsi, E.V.Zhirovov, V.A.Kobzev, K.V.Smetanin. The article describes the experience of vacuum works of unique cryo-depository liquid oxygen РС 1400/0,4 (volume of insulating vacuum cavity - 700m³) occurring in Plesetsk cosmodrome in the Arkhangelsk region at an open assembly area and ambient temperature from +35C to -45C.

9 июля 2014 года в 16 часов 00 минут успешно произведён первый пуск ракеты космического назначения «Ангара 1.2 ПП» с площадки № 35 космодрома Плесецк, Архангельской области. Спустя 21 минуту после старта неотделяемый габаритно – массовый макет полезной нагрузки со второй ступенью достиг заданного района полигона «Кура» на полуострове Камчатка на расстоянии 5700 км от места старта.

В качестве одного из компонентов ракетного топлива использовался жидкий кислород.

ЗАО «Криогенмонтаж» смонтировало и пустило в эксплуатацию систему заправки ракетносителя «Ангара» жидким кислородом, которая включает в себя следующее:

I. Резервуар для хранения и выдачи жидкого кислорода РС-1400/0,4

Технические характеристики резервуара РС-1400/0,4 [1]:

- Номинальная вместимость – 1437м³
- Рабочее давление - 5,5кгс/см²

- Масса хранимого жидкого кислорода - не более 1480тн.
- Рабочая температура жидкого кислорода – минус 183°С
- Потери от испарения при хранении - не более 33 кг/ч
- Объем вакуумной теплоизоляционной полости – 700м³
- Диаметры:
 - наружного кожуха – 16 м
 - внутреннего сосуда - 14 м
- Материалы:
 - наружный кожух - углеродистая сталь;
 - внутренний сосуд - нержавеющей сталь.

II. Система криогенных трубопроводов различного диаметра с запорной арматурой общей протяженностью около 1000м.

Резервуар РС – 1400/0,4 (внутренний сосуд и наружный кожух) изготавливается на монтажной площадке из заводских элементов, так называемых "лепестков".

По окончании изготовления и сборки резервуара проводились его испытания в следующей последовательности:

1) Внутренний сосуд испытывался на прочность пробным давлением 0,84МПа (8,4кгс/см²) с контролем его технического состояния методом акустической эмиссии, при котором сосуд проверялся на наличие развивающихся дефектов. При выполнении работ использовалась 12-ти канальная система акустико-эмиссионного контроля "Малахит АС-15А".

Для обработки результатов акустико-эмиссионного контроля использовался уникальный специализированный комплексный программный пакет "БУРЯ", в котором заключен многолетний опыт испытания промышленных объектов. Алгоритм программы обеспечивает корреляционную обработку зарегистрированных акустико-эмиссионных сигналов, их необходимую фильтрацию (параметрическую или графическую). Программные приложения способны обнаружить и отфильтровать как случайные, так и периодические электромагнитные помехи (в том числе от сварки и от линий электропередач). Приведение амплитуды зарегистрированных акустико-эмиссионных сигналов к источнику излучения производится с учетом функции затухания сигналов при их распространении. Автоматически определяются координаты выделенных кластеров и их числовые характеристики. Формируется таблица параметров акустико-эмиссионных сигналов вошедших в кластер и таблицы общего числа сигналов, сформировавших каждое событие, что даёт возможность судить о достоверности полученных результатов и алгоритма вычислений. При измерениях производилась запись форм волны, что позволяло при необходимости уточнять истинное место нахождения источника. В нашем случае это позволяло выяснить находится ли источник акустической эмиссии на поверхности сферы (внутренний сосуд) или сигналы идут со стороны фундамента и через опоры, как по волноводу, достигая поверхности сферы.

В процессе акустико-эмиссионных испытаний сосуда внутреннего резервуара сферического РС-1400/0,4 давлением 0,84 МПа (8,4 кгс/см²) источников акустической эмиссии активного типа, соответствующих развивающимся дефектам не выявлено. Выявленные при локализации отдельные сигналы носили разрозненный характер и не были объединены в какой-нибудь малозначительный кластер, и соответственно, были отнесены к разряду пассивных источников акустической эмиссии.

На рис. 1 представлен первый этап проведённых работ, а именно, вид функции затухания амплитуды акустико-эмиссионного сигнала при распространении и способ определения предельно допустимого расстояния между датчиками в локационной схеме. На рис.2. представлена схема расстановки 12-ти преобразователей акустической эмиссии на поверхности объекта контроля. Результаты локализации источников акустической эмиссии на последнем этапе измерений, при выдержке на пробном давлении 0,84МПа (8,4 кгс/см²), представлены на рис. 3-7.

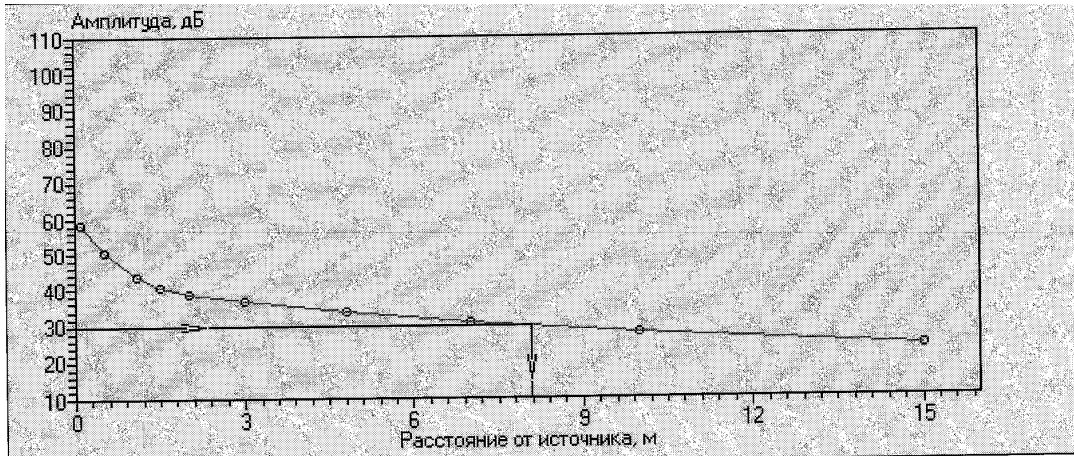


Рис. 1. Вид функции затухания амплитуды акустико-эмиссионного сигнала при распространении в материале объекта и определение предельно допустимого расстояния между датчиками при объединении их в локационную схему.

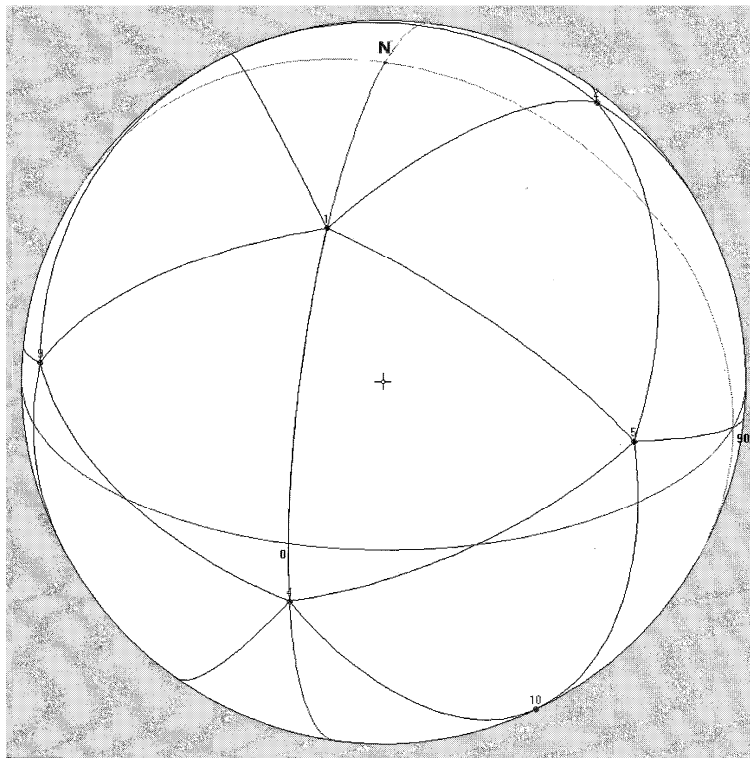


Рис. 2. Схема расстановки 12-ти преобразователей акустической эмиссии на поверхности объекта контроля.

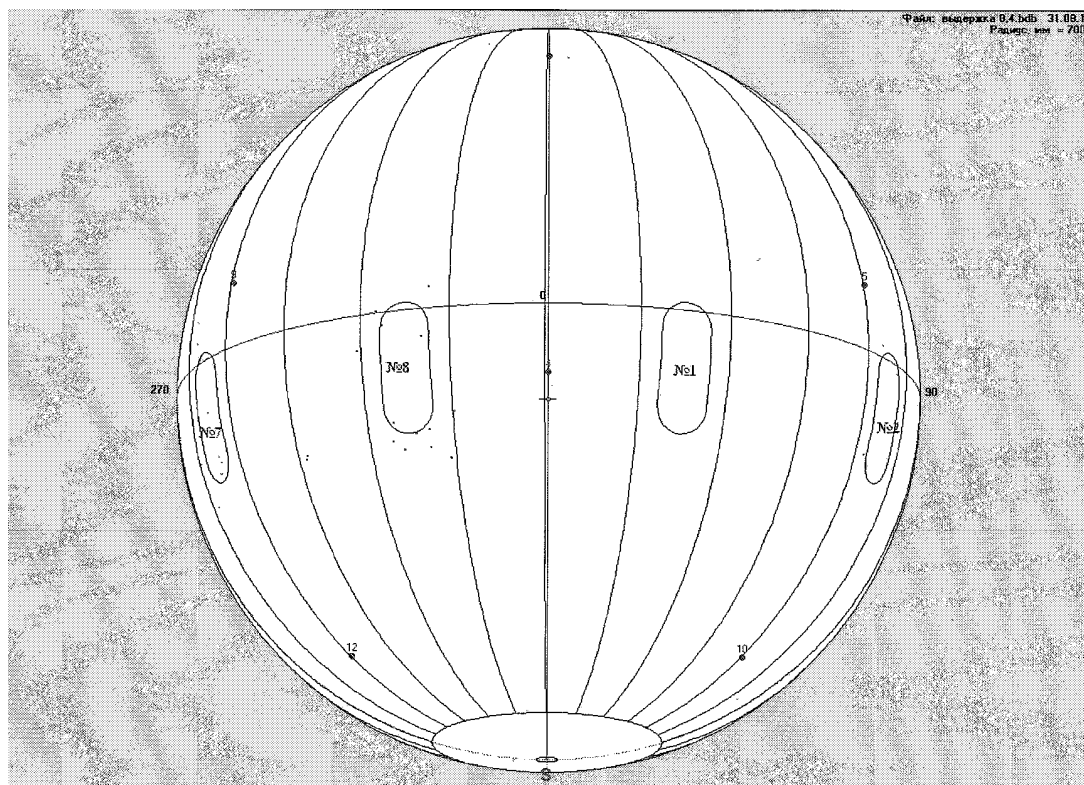


Рис. 3. Карта локации №1.

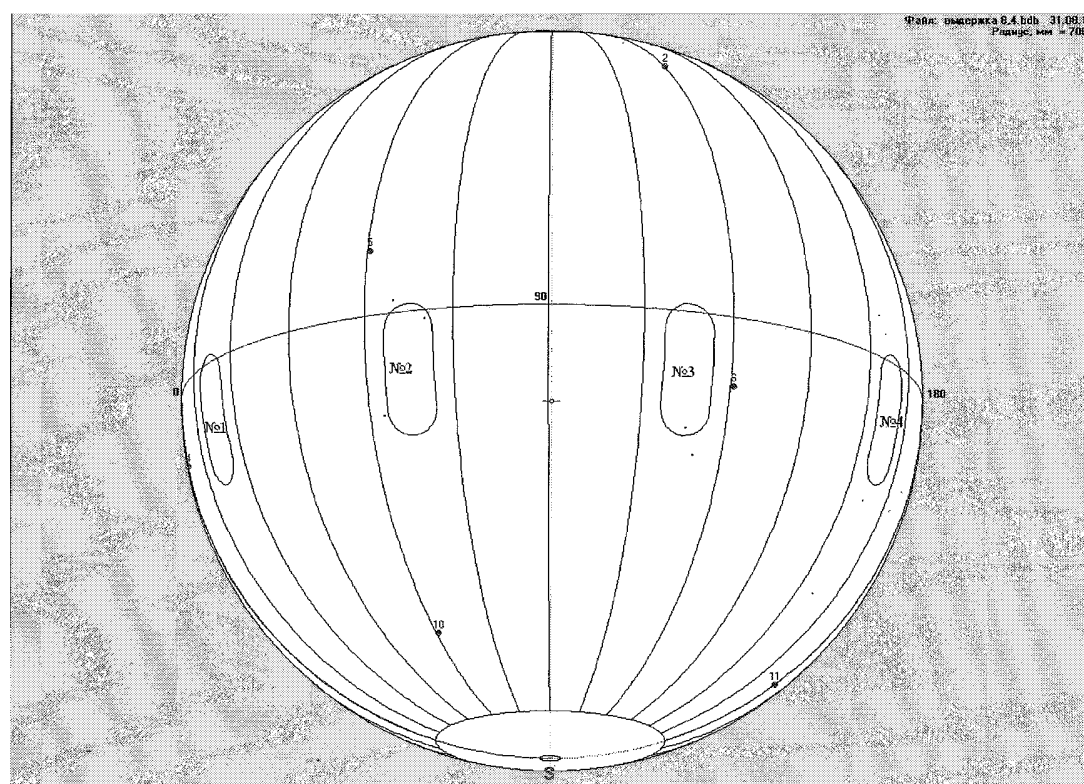


Рис. 4. Карта локации №2.

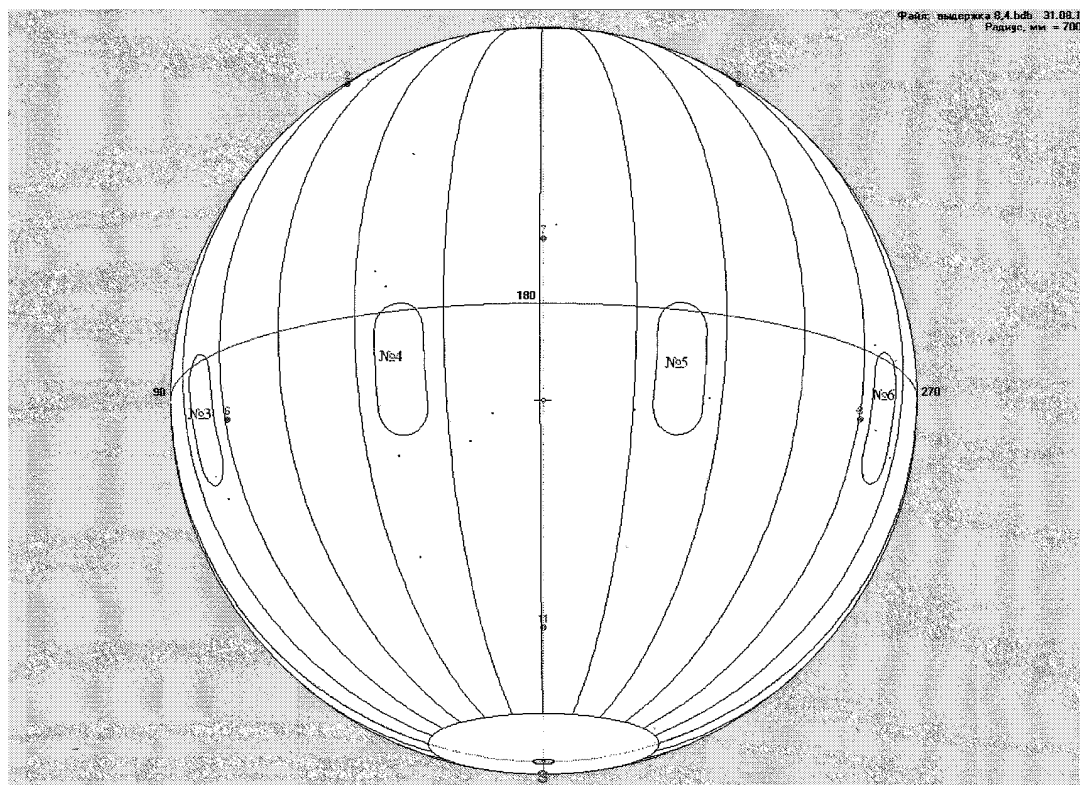


Рис. 5. Карта локации №3.

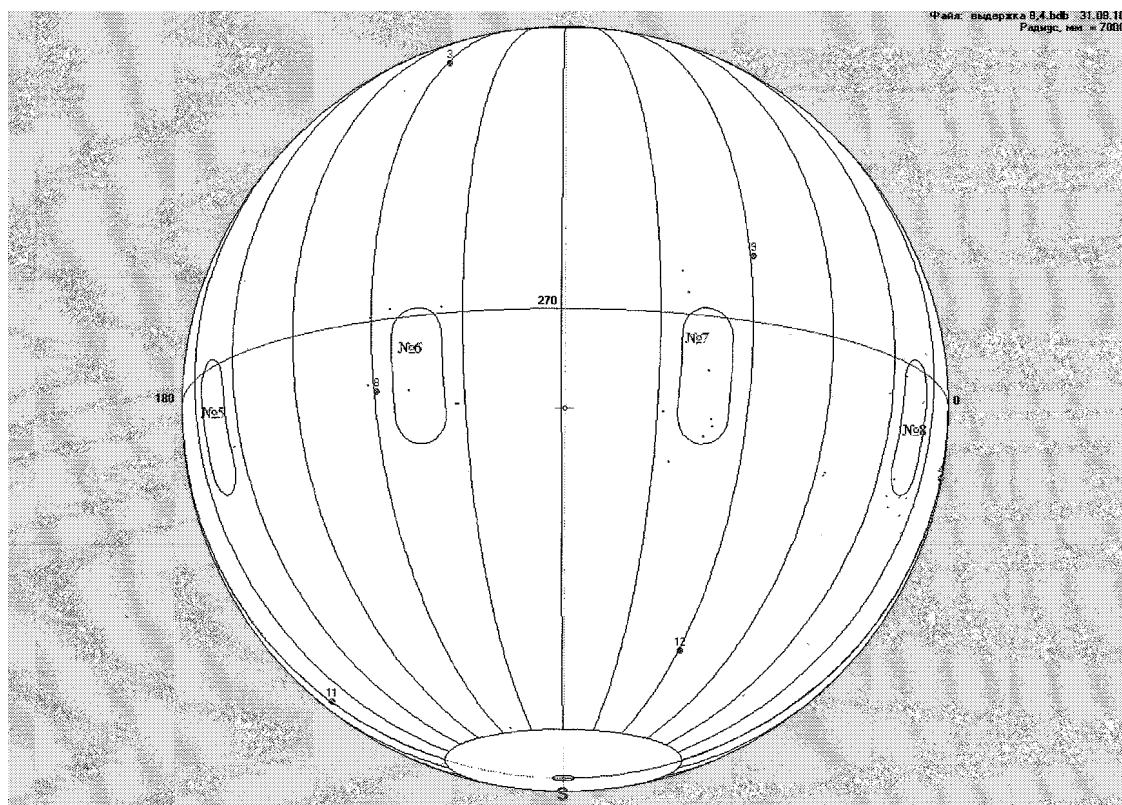


Рис. 6. Карта локации №4.

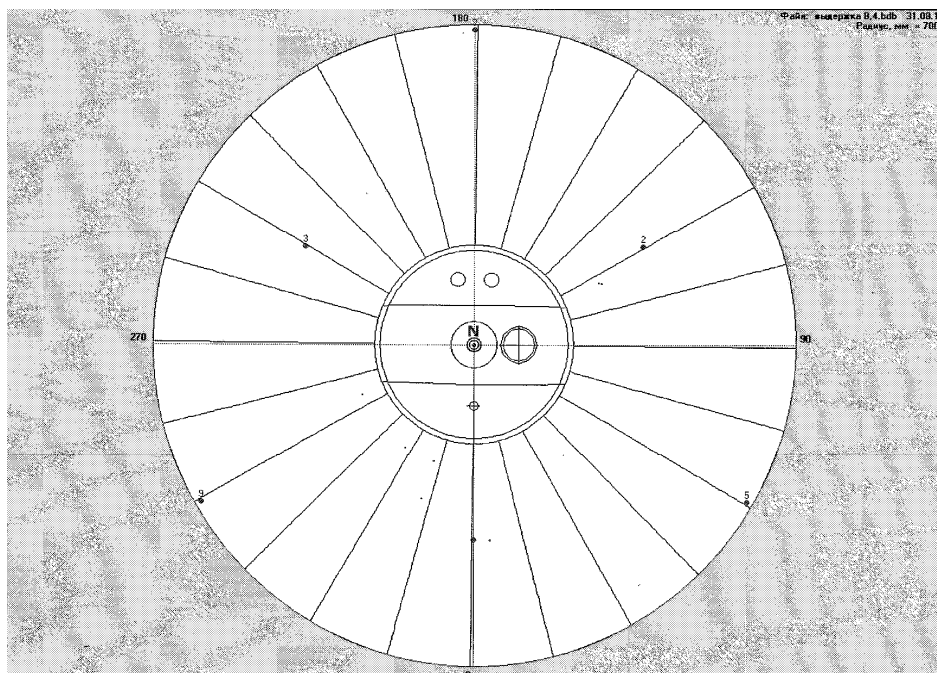


Рис. 7. Карта локаций. Вид сверху.

2) Испытания на герметичность 100% сварных швов внутреннего сосуда, выполненных ручной сваркой, способом накопления в атмосферном чехле при давлении 0,65МПа (6,5 кгс/см²) 1% гелиево-воздушной смеси во внутреннем сосуде.

При испытаниях подобных крупных объектов нашей организацией впервые использовался криоадсорбционный насос НКС-50 [2], применение которого в качестве дополнительной приставки к гелиевому течеискателю ТИ-1-22 позволило повысить чувствительность испытаний на полтора-два порядка, и соответственно, снизило концентрацию гелия в гелиево-воздушной смеси при проведении испытаний с 5-10% до 1%.

Порог чувствительности испытаний не более $1,33 \cdot 10^{-7}$ м³·Па/с ($1 \cdot 10^{-3}$ л · мкм рт ст/с).

На рис. 8 представлен эскиз криоадсорбционного насоса НКС-50.

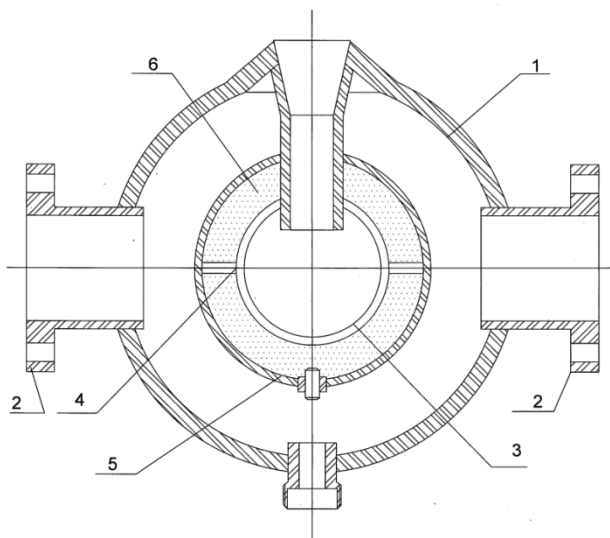


Рис. 8.Криоадсорбционный насос НКС-50.

1- корпус; 2 - подсоединительные патрубки; 3 - резервуар для криогенной жидкости;
4 - экваториальное ребро; 5 - пористый экран; 6 – адсорбент.

Основные данные криoadсорбционного насоса НКС-50:

- Диапазон рабочих давлений, Па..... $1 \cdot 10^1 \div 5 \cdot 10^{-4}$
- Быстрота действия в рабочем диапазоне давлений, м³/с:
- по азоту..... $5,6 \cdot 10^{-2}$
- по кислороду..... $4,3 \cdot 10^{-2}$
- по аргону..... $4,0 \cdot 10^{-2}$
- Адсорбент.....Цеолит СаЕН-4В; уголь СКТ-4
- Хладагент.....Жидкий азот
- Габаритные размеры, мм.....300x400x300
- Масса, кг.....8

3) После заварки люка – лаза кожух резервуара испытывался способом обдува гелием при одновременной откачке теплоизоляционной полости резервуара. Локальное натекание (зарегистрированный сигнал от течи) не допускается. Порог чувствительности испытаний не более $1,33 \cdot 10^{-7}$ м³·Па/с ($1 \cdot 10^{-3}$ л ·мкм рт. ст/с).

4) Испытания внутреннего сосуда в комплексе способом вакуумной камеры при давлении 0,65МПа ($6,5 \text{ кгс/см}^2$) во внутреннем сосуде 1 % гелиево-воздушной смеси с применением в качестве приставки к течеискателю ТИ-1-22 криoadсорбционного насоса НКС-50 . Порог чувствительности испытаний (допустимая утечка) не более $1,33 \cdot 10^{-7}$ м³·Па/с ($1 \cdot 10^{-3}$ л ·мкм рт ст/с).

5) После срезания заглушки люка-газа и нанесения изоляции на поверхность и опоры внутреннего сосуда (теплоизоляционные маты – комбинация прокладок из стеклотумаги БМД-К по ТУ-6-11-529 и экранов из металлизированной пленки ТМ-2 по ТУ304-10-007) и последующей заварки люка лаза теплоизоляционная полость вакуумировалась и обезгаживалась.

Контроль качества обезгаживания производился манометрическим методом. Суммарный газовый поток не превышал величину $1 \cdot 10^{-3}$ м³· Па/с (8л мкм рт ст/с) при применении вымораживающей ловушки перед манометрическим преобразователем.

При проведении работ по вакуумированию такого объема теплоизоляционной полости на начальном этапе ("срыв атмосферы") нашей организацией впервые применялись безмасляные мембранные вакуумные насосы типа НВМ-20 (использовались перед включением механического насоса НВЗ-90), которые очень хорошо зарекомендовали на проведении данного этапа работ. Мембранные вакуумные насосы типа НВМ-20, являются совершенно сухими, обеспечивают чистоту получаемого вакуума на первоначальном этапе, предельно просты в эксплуатации. Применение вышеуказанных насосов позволило в полной мере соблюсти технологию вакуумирования теплоизоляционной полости криогенного резервуара РС-1400/0,4 с нанесенной изоляцией по скорости ее откачки не допуская срыва изоляции, а также позволило, на данном этапе, ускорить работу, не допуская попадание паров воды при откачке теплоизоляционной полости в механический насос НВЗ-90.

Принципиальная схема мобильного вакуумного стенда для испытаний и вакуумирования криогенного резервуара РС-1400/0,4 приведена на рис.9. Условные обозначения согласно [3]. Стенд был изготовлен и смонтирован в стандартном 20-ти футовом морском контейнере.

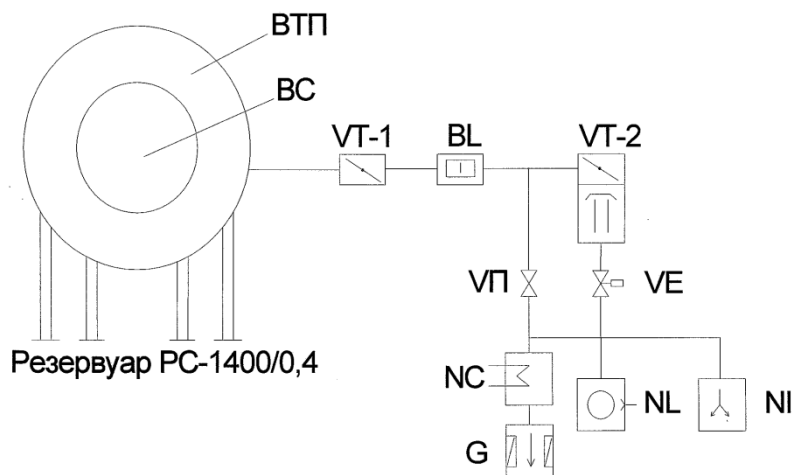


Рис. 9. Принципиальная вакуумная схема мобильного стенда для испытаний и вакуумирования криогенного резервуара РС-1400/0,4.

ВТП - вакуумная теплоизоляционная полость объемом 700 м^3 ; ВС - внутренний сосуд объемом 1437 м^3 ; VT-1 - затвор тарельчатый Ду-250 (непосредственно на резервуаре РС-1400/0,4); BL - азотная ловушка; ND - насос диффузионный НВБМ-2,5; VT-2 - затвор тарельчатый Ду250; VP - клапан (вентиль) с ручным приводом Ду100; VE - клапан с электромагнитным приводом КМУ-63; NC - криоадсорбционный насос НКС-50; G - течеискатель гелиевый ТИ-1-22; NL - насос механический НВЗ-90; NI - насосы мембранные НВМ-20.

На рис. 10-12 приведены фотографии системы хранения жидкого кислорода на базе резервуара РС-1400/0,4.



Рис. 10. Жировов Е.В. и Кобзев В.А.(слева, вдалеке) возле резервуара РС-1400/0,4.



Рис. 11. Резервуар РС-1400/0,4. Монтаж закончен.



Рис. 12. Система заправки: резервуар Р-1400/0,4 с испарителями подъема давления.

В результате проведённой работы опробована технология вакуумных испытаний и вакуумирования криогенного резервуара РС-1400/0,4 в суровых условиях космодрома Плесецк, Архангельской области.

Система заправки жидким кислородом ракетно-космического комплекса принята в эксплуатацию и успешно показала себя при двух первых пусках легкой и тяжелой ракет космического назначения "Ангара" в 2014 году.

Литература

1. ТУ 26-04-639-85 Резервуары сферические.
2. Описание на криоадсорбционный насос НКС-50.
3. Вакуумная техника. Справочник. Под общей редакцией К. Е. Демихова, Ю. В. Панфилова. М., Машиностроение, 2009.