

## Повышение чувствительности масс-спектрометрического метода течеискания способом «щупа»

*Е.В. Жировов, В.А. Кобзев, О.Е. Чубаров, А.В. Ципун*  
Москва, АО «Криогенмонтаж», Староваганьковский пер., д. 23, стр. 1

В статье представлены результаты экспериментальных исследований методов повышения чувствительности испытаний и оценки локальной негерметичности способом «щупа». Исследования проводились на установке, укомплектованной масс-спектрометрическим течеискателем, криоадсорбционным насосом с сферическим модулем, капиллярным шлангом, щупом и газовой завесой, манометрическим преобразователем.

*Methods to increase the sensitivity of tests and the local leakage assessment by the "probe method." E.V.Zhirovov, V.A.Kobzev, O.E. Chubarov, A.V.Tsipun. The article presents the results of experimental studies of methods to increase the sensitivity of tests and the local leakage assessment by the "probe method." The studies were conducted at the facility, equipped by a mass spectrometer leak detector, cryosorption pump with a spherical module, capillary tubing, a probe and gas veil, a gauge transducer.*

### Введение

Проблема оценки суммарной негерметичности изделий решена достаточно успешно (чувствительности испытаний достигает  $1,33 \cdot 10^{-10}$  Па·м<sup>3</sup>/с), однако оценка локальной негерметичности остается невысокой. Так, в изделиях, работающих под избыточным давлением, утечки через микронеплотности, фиксируемые щупом-натекателем (способом «щупа») не превышают  $6,65 \cdot 10^{-8}$  Па·м<sup>3</sup>/с). Щуп-натекатель представляет собой «искусственную течь», которая калибруется на определенную величину пропускной способности, либо выполняется регулируемой, путем изменения величины проходного сечения.

Наиболее распространенной конструкцией, используемой при поиске локальных мест течей, является натекатель с игольчатым затвором – дросселирующее устройство, которое состоит из иглы, коаксиально перемещающейся относительно неподвижного седла. При щуповых испытаниях с использованием масс-спектрометрических течеискателей конструкции применяемых щупов-натекателей не позволяют пропускать поток газа больше, чем  $2,66 \cdot 10^{-4} \div 4 \cdot 10^{-4}$  Па·м<sup>3</sup>/с (предел возможности систем откачки течеискания). Это понижает чувствительности испытаний. С другой стороны, попадание в щуп, а, следовательно, в течеискатель, который находится в окружающей атмосфере газов, значительно увеличивает фоновые сигналы.

### Постановка задачи

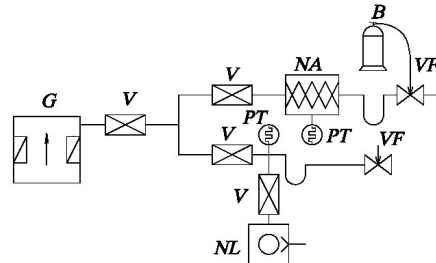
Учитывая вышеизложенное, можно выдвинуть ряд требований к схемам этого способа, основные из которых следующие:

1. Замена дополнительного насоса (механического) на насос с избирательной способностью.
2. Изолирование щупа в месте поиска течей от окружающей среды.
3. Увеличение газового потока через щуп, значительно превышающего  $4 \cdot 10^{-4}$  Па·м<sup>3</sup>/с за счет уменьшения фоновых сигналов.

Исходя из этих требований необходимо было решить следующие задачи:

1. Повысить чувствительность испытаний способом «щупа»
2. Разработать схемы и конструкцию щупов-натекателей, которые позволяли бы значительно понизить порог чувствительности испытаний способом «щупа»
3. Повышение чувствительности способом «щупа» с применением насосов селективной откачки на базе криоадсорбционных насосов с сферическим модулем.

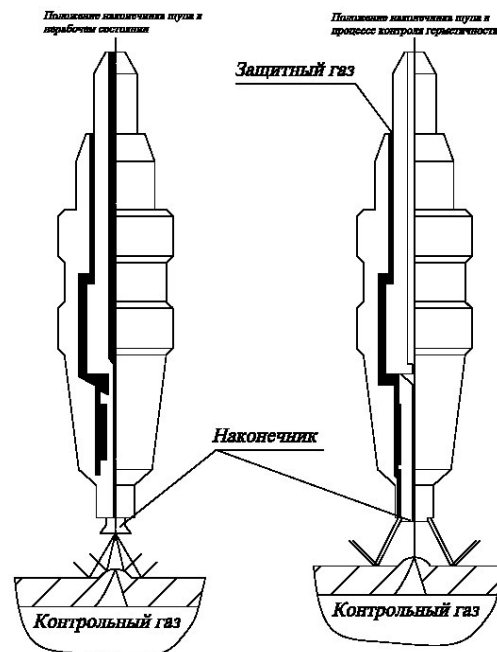
Для повышения чувствительности способа «щупа» механический насос был заменен на криоадсорбционный с быстротой действия порядка  $s = 0.05 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$ ., что позволит увеличить газовый поток через щуп от  $2,66 \cdot 10^{-2}$  до  $6,65 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ .



*Рис. 1. Схема установки для проведения испытаний на герметичность способом «щупа». G – течеискатель; NA – криоадсорбционный насос; NL – механический насос; B – баллон с защитным газом; PT – преобразователи манометрические тепловые; VF – щуп-натекатель; V – клапан; T – капиллярный шланг.*

Была определена зависимость чувствительности испытаний от величины газового потока, наибольшая чувствительность достигается при газовом потоке через щуп  $2,66 \cdot 10^{-2} \div 4 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ , чувствительность испытаний возросла в  $10 \pm 15$  раз. Конструкция насоса технологична в изготовлении, непрерывный ресурс работы при газовом потоке  $2,66 \cdot 10^{-2} \div 4 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ ,  $\tau = 50$  часов. Регенерация насоса осуществляется при  $T = 293\text{K}$  в течение  $4 \div 6$  часов.

Повышение чувствительности способа «щупа» с применением криоадсорбционного насоса, привело к увеличению фоновых сигналов флюктуаций выходного прибора ВПУ (выносной пульт управления) течеискателя. Для устранения этого недостатка на щуп-натекатель была изготовлена насадка рис. 2, через которую подавали газообразный азот.



*Рис. 2. Щуп-натекатель с газовой завесой.*

### **Повышение чувствительности испытаний способом «щупа» с применением газовой завесы**

Принцип работы щупа основан на создании в процессе испытаний газовой завесы вокруг участка поверхности изделия, подвергающегося проверке.

Газовая занавеса выполняет двойную роль:

1. Является защитной проверяемой зоной от воздействия внешних факторов, т.е. влияния содержания в атмосфере контрольного газа.
2. Завеса позволяет увеличить расход контрольного газа через щуп до  $2,66 \cdot 10^{-2} \pm 6,65 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ .

Возможность увеличения расхода объясняется тем, что основная часть потока через щуп представляет собой используемый для создания завесы газообразный азот, который хорошо поглощается криоадсорбционным насосом, не оказывая существенного влияния на давление в масс-спектрометрической камере течеискателя. При перекрытом выходном отверстии щупа весь подаваемый внутрь щупа азот в виде струи проходит через центральное отверстие и по внешней поверхности наконечника выбрасывается наружу. При открытии входного отверстия щупа до давления порядка  $10^{-2}$  Па, соответствующего показателям 150-200 мка «Вакуумметра магнитного» течеискателя, часть газообразного азота поглощается криоадсорбционным насосом, а остальная часть, в виде той же направленной струи через центральное отверстие и по внешней поверхности наконечника выбрасывается наружу. При контроле герметичности изделия наконечник, вступая в контакт с проверяемой поверхностью изделия, преодолевает сопротивление пружины (рис. 2 позиция 2) и герметично сообщает входное отверстие щупа и центральное отверстие наконечника. Весь поступающий, при этом внутрь щупа газообразный азот выбрасывается наружу по внешней поверхности наконечника и, создавая при этом газовый барьер вокруг проверяемого участка, ограждает зону поиска течи от влияния окружающей среды. Подсоединение щупа к вакуумной системе течеискателя, осуществленного с помощью хлорвинилового шланга с внутренним диаметром  $1 \div 2$  мм, позволяет свести к минимуму явление «гелиевой памяти», присущее резиновым шлангам. Проведенная нашей мобильной вакуумной лабораторией отработка способа «щупа» с щупом-накателем с газовой завесой и криоадсорбционным насосом, в качестве дополнительного насоса позволила определить преимущества схемы щупа новой конструкции перед ранее используемой. Проведенные сравнительные испытания по определению чувствительности системы (течеискатель-щуп) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний.

| Применяемый щуп                    | Поток газа от контрольной течи, Па·м <sup>3</sup> /с |                     |                     |                     |                     |
|------------------------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                    | $6,65 \cdot 10^{-8}$                                 | $1,4 \cdot 10^{-8}$ | $5,7 \cdot 10^{-9}$ | $1,9 \cdot 10^{-9}$ | $1,2 \cdot 10^{-9}$ |
| Старая конструкция, $\alpha_t$ , в | 0,5  | 0,25                | 0,1                 | 0                   | 0                   |
| Новая конструкция, $\alpha_t$ , в  | 4,5  | 3                   | 2,1                 | 1,0                 | 0,5                 |

Лабораторная отработка схемы конструкции щупа с газовой завесой и криоадсорбционным насосом, в качестве дополнительного насоса, показала, что чувствительность способа «щупа» возрастает до величины  $1,33 \cdot 10^{-9} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ .

Выводы:

- Применение новой схемы течеискания и щупа с газовой завесой позволяет увеличить суммарный газовый поток через щуп до  $2,66 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$  (в 50 раз превышает максимальный расход газа через щуп применяемой конструкции и тем самым повысить чувствительность испытаний способом «щупа» до  $1,33 \cdot 10^{-9} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$ )
- Применение щупа с газовой завесой позволяет стабильно фиксировать течи в диапазоне  $1,33 \cdot 10^{-9}$  до  $1,33 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$  с ошибкой  $\pm 0,5$  мм по длине шва

- 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 – 700м<sup>3</sup>) 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](http://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°С до -45°С) успешно проведены работы по испытаниям и вакуумированию уникального криогенного резервуара типа РС – 1400/0,4 для жидкого кислорода полезным объемом 1437м<sup>3</sup>, рабочим давлением 0,55МПа (5,5кг/см<sup>2</sup>), массой хранимого жидкого кислорода – 1480тн (1,48·10<sup>6</sup> кг). Рабочая температура жидкого кислорода – минус 183°С. Потери от испарения при хранении не более – 33 кг/ч (для жидкого кислорода). Объём вакуумной теплоизоляционной полости – 700 м<sup>3</sup>. Давление (вакуум) в теплоизоляционной полости перед заполнением резервуара жидким продуктом не более 1,33·10<sup>-1</sup> Па (1·10<sup>-3</sup> 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 PC 1400/0,4 (volume of insulating vacuum cavity - 700m<sup>3</sup>) 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 ракетноносителя «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 – 1437м<sup>3</sup>
- Рабочее давление - 5,5кгс/см<sup>2</sup>