УДК 621.57

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БАЛЛОНЕ С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ БОРТОВОЙ ДРОССЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Довгялло А.И., Сармин Д.В., Угланов Д.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет им.ак.С.П.Королева (национальный исследовательский университет), Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлены результаты предварительных исследований тепловых процессов в баллоне с криогенной заправкой бортовой дроссельной системы охлаждения. Исследования проведены при давлении до 4МПа. Также показано, что поведение основных параметров рабочего тела в баллоне по времени соответствует созданной ранее расчетной модели

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение охлаждения до криогенных температур ИК – приемников, элементов оптических систем и других устройств, устанавливаемых на космических кораблях, – важнейшее требование, предъявляемое ко многим космическим проектам и диктуемое современной технологией. Каждая система охлаждения может иметь различное значение массы, потребляемой мощности, габаритов, надежности, а в некоторых случаях – специальный диапазон возможных холодопроизводительностей и температурных уровней.

Рассматриваемые системы охлаждения можно разделить на два основных типа:

Механические системы охлаждения с замкнутым циклом, которые обеспечивают охлаждение, элемента на низком температурном уровне, а отводят тепло на высоком уровне;

Системы охлаждения одноразового действия с разомкнутым циклом, использующие, например, газ высокого давления. Эти системы используют хладагенты, находящиеся либо в субкритическом, либо в суперкритическом состоянии, отвержденные хладагенты, а также жидкие, сохраняемые при комнатных температурах.

Наипростейшей и наименее дорогой системой охлаждения одноразового действия является система охлаждения, основанная на эффекте Джоуля – Томпсона и использующая газ под высоким давлением от 70 до 600 атм.

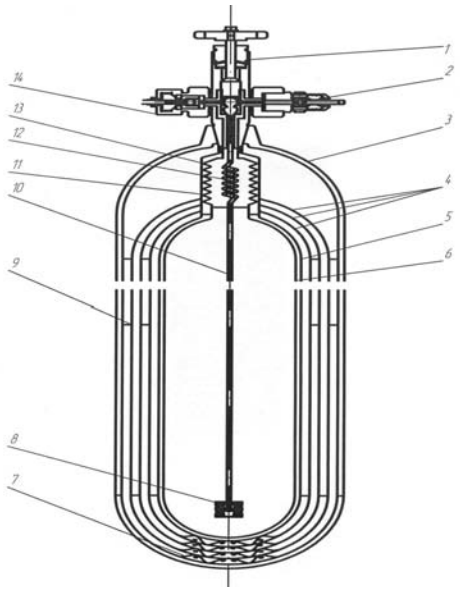

Рис.1 Универсальный газовый баллон: 1 – вентиль запорный; 2 – клапан предохранительный; 3 – баллон; 4 – изоляция; 5 – изоляция внутренней емкости; 6 – внутренняя емкость; 7 – про-ставки опорные; 8 – фильтр; 9 – про-ставки радиальные; 10 – стакан; 11 – трубка заправочная; 12 – змеевик; 13 – сильфон; 14 – штуцер

В сочетании с расширительным устройством Джоуля – Томсона, (состоящим из сопла, дрос-

сельного теплообменника с небольшим внутренним диаметром, экрана и т.д.), позволяющим охладить газообразный хладагент до температуры инверсии и получить жидкий хладагент в узле охлаждения объекта. Использование гелия, водорода, аргона или азота дает возможность обеспечить температурный уровень охлаждения от 4.2 К до 74 К при суммарной мощности тепловыделения объекта от 0.5 до 10 Вт.

Основное ограничение для применения подобных систем – большая масса, что обуславливается высоким рабочим давлением газообразного хладагента. Одно из преимуществ такой системы по сравнению с системой охлаждения основанной на использовании жидкого хладагента, является возможность обеспечения прерывистой (ритмической) работы в течение длительного периода. Системы охлаждения с использованием жидкого хладагента, находящегося в фазовом равновесии с парами, по-зволяют обеспечить легко контролируемую прак-тически постоянную температуру охлаждаемого объекта. Подобные системы охлаждения могут быть использованы в наземных станциях, перспективных самолетах и космических кораблях. Существует множество систем охлаждения с использованием жидкого хладагента, которые могут обеспечить температурный уровень охлаждения в диапазоне от 4.2 К (гелий) до 240 К (аммиак).

Таким образом, из приведенного выше следует, что объективно полезным и своевременным будет разработка и создание универсального оборудования, способного удовлетворять существующим технологиям применения компримированных газов и криогенных жидкостей.

Одними из основных элементов всего комплекса оборудования в этих технологиях являются: емкости для хранения и выдачи продукта и емкости, эксплуатируемые в составе бортовых комплексов на транспортных средствах или летательных аппаратах.

Примером совмещения существующих и перспективных технологий является патент «Топливный баллон» Самарского государственного аэрокосмического университета [1]. На рисунке 1 представлен эскиз баллона по этому патенту.

Положенные в основу изобретения идеи заключаются в том, что в случае заправки баллона газообразным продуктом, он работает как обычный, а в случае заправки равным по массе криогенным компонентом, баллон работает в более благоприятных условиях по давлению. Кроме того, внутренняя термосная емкость для криогенного компонента предотвращает тепловые удары, что характерно для обычных криогенных емкостей, и смягчает условия по термоциклической прочности конструкции [2,3].

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

С целью получения его энергетических характеристик при бездренажном хранении и в режиме подачи рабочего тела в дроссельную систему была разработана экспериментальная установка, принципиальная схема которой приведена на рисунке 1. Основной частью этой установки является макетный образец баллона с криогенной заправкой (поз.11), выполненного по оригинальной схеме на базе стандартного баллона ГОСТ 949-73, широко используемого для хранения различных газов. Материалом баллона является сталь 30ХМА. С целью уменьшения теплопритоков от основания баллона (поз.1), необходимо условие минимального контакта между ним и его основанием, в связи с этим баллон жестко соединен с основанием через специально изготовленные винты с проставками (поз.2). В крышке баллона располагаются пять штуцеров, через два из которых выведены концы термопар (поз.3), остальные штуцеры (поз.4) имеют свои отдельные трубопроводы.

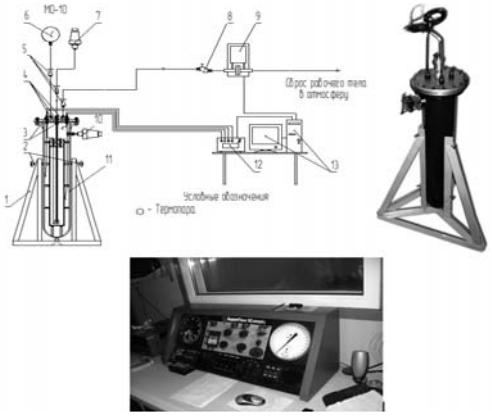

Рис.2 Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования баллона с криогенной заправкой

Один подключен к образцовому манометру (поз.6) для контроля давления в баллоне. Два других штуцера соединены соответственно с дублирующим предохранительным (поз.7), и с мембранным разрывным предохранительным клапаном (поз.10). В системе имеется регулирующий вентиль (поз.8) с установленным за ним расходомером (поз.9). В процессе эксперимента в баллон помещается термосная емкость с жидким азотом (77 К), крышка емкости герметично закрывается, и производятся замеры. Показания проволочных ХК термопар регистрируются измерительным потенциометром класса 0,05 (поз.12). Термопары установлены на наружной стенке баллона, внутри него, а также на термосе, и внутри термоса в жидкости.

Экспериментальная установка для исследования баллона с криогенной заправкой содержит: испытуемый баллон; систему безопасности (в виде двух различных по конструкции предохранительных клапанов); систему управления; систему замера, контроля и регистрации параметров (поз.13).

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ

Установка позволяет исследовать энергетические характеристики баллона (изменение температуры и давления в зависимости от времени). При проведении испытаний экспериментального образца были поставлены следующие задачи: подтверждение работоспособности баллона с криогенной заправкой в полной комплектации (вентиль баллона, термос, экранновакуумная теплоизоляция и т.д.); получение его энергетических характеристик при различных условиях и режимах работы; подтверждение расчетной методики для бездренажного хранения криопродукта. Испытания спланированы в три этапа, каждый из которых обусловлен необходимостью проверки влияния текущих доработок конструкции на характеристики баллона с криогенной заправкой с учетом поставленных задач.

На рисунках 3-4 представлены отдельные результаты выполненных исследований. Их анализ и сравнение с теорией [3,4] позволяют сделать основной вывод о достаточно высоком соответствии экспериментальных данных расчетной модели, описывающих теплофизику процесса в баллоне.

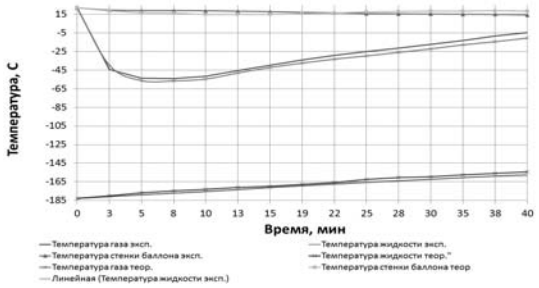

Рис.3 Зависимость температуры жидкости, изоляции, газа и стенки криогенной емкости от времени хранения криопродукта.

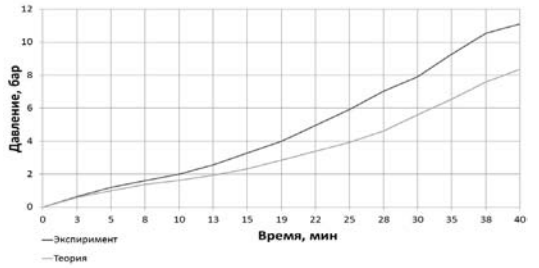

Рис.4 Зависимость давления газа в криогенной емкости от времени хранения криопродукта

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют считать, что система охлаждения на базе данного баллона будет иметь ожидаемые улучшенные характеристики по времени функционирования, или по массе. Таким образом, результаты исследований тепловых процессов в баллоне с криогенной заправкой подтверждают перспективность его использования в бортовых системах охлаждения в соответствии с теоретическими выводами, представленным в работе [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Топливный баллон./ Довгялло А.И., Лукачев С.В. и др.// Патент №2163699, Россия, МПК 7F17C9/02, 99114577/06 заявл. 02.07.1999, опубл. 27.02.2001. Бюл. №6.
2. Довгялло, А.И. Оценка термоциклической прочности в топливном баллоне с криогенной заправкой / А.И. Довгялло, Д.А. Угланов, Т.В. Ашихмина // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева. - 2007. - № 2. - С. 83-86.
3. А.И. Довгялло, А.П. Логашкин, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов. Анализ работы баллоного микроохладителя при использовании азота с околокритическими параметрами. Вестник СГАУ, 2009, №3 (Ч.2), с. 143-146.
4. Довгялло А.И., Ашихмина Т.В. Особенности постановки задачи расчета процессов для универсального газового баллона как неклассической двухфазной системы и оценка его температурного состояния // Вестник СГАУ № 1(9). – Самара, 2006. – С. 133-137.
5. Довгялло А.И., Логашкин А.П., Сармин Д.В., Угланов Д.А., Дроссельная бортовая система охлаждения на базе баллона с криогенной заправкой // статья в научно – техническом журнале Прикладная физика: Государственное унитарное предприятие «Научно – производственное объединение «Орион» - Государственный научный центр Российской федерации. Московское физическое общество, 2010. Вып. 2. С. 129-132

© Довгялло А.И., Сармин Д.В., Угланов Д.А.