УДК 621.57

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БАЛЛОНЕ С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ БОРТОВОЙ ДРОССЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

© 2011 А. И. Довгялло, Д. В. Сармин, Д. А. Угланов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Представлены результаты испытаний баллона с криогенной заправкой (жидкий азот), которые были проведены на уровне давления 4 МПа. Также показано, что поведение параметров в резервуаре время и давление соответствуют модели, принятой в расчетной программе.

Дроссельный эффект, дроссельная система охлаждения, баллон с криогенной заправкой, экспериментальная установка.

В настоящее время обеспечение охлаждения ИК-приемников, элементов оптических систем и других устройств, устанавливаемых на космических летательных аппаратах, является важнейшим требованием, предъявляемым ко многим космическим проектам. Система охлаждения может иметь различные параметры по массе, потребляемой мощности, габаритам, надежности, холодопроизводительности и температуры термостатирования.

Бортовые системы охлаждения можно разделить на два основных типа:

1. Термомеханические системы охлаждения с замкнутым циклом.

2. 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 7 до 60 МПа.

Использование гелия, водорода, аргона или азота дает возможность обеспечить температурный уровень охлаждения от 74К до 4,2К при суммарной мощности тепловыделения объекта от 0,1 до 10 Вт.

Основным ограничением для применения подобных систем является параметр массы баллона, что обуславливается высоким рабочим давлением газообразного хладагента. Преимуществом дроссельной баллонной 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 хладагента, позволяют обеспечить легко контролируемую практически постоянную температуру охлаждаемого объекта. Эти системы охлаждения могут быть использованы в наземных устройствах, на самолетах и в космических системах.

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 госу-

дарственного аэрокосмического университета [1]. На рис. 1 представлен эскиз баллона по этому патенту.

Идея заключается в том, что в случае заправки баллона газообразным продуктом он работает как обычный баллон высокого давления, а в случае заправки равным по массе криогенным компонентом баллон работает в более благоприятных условиях по давлению. Внутренняя термосная емкость для криогенного компонента предотвращает тепловые удары, что характерно для обычных криогенных емкостей, и смягчает условия по термоциклической прочности конструкции [2,3].

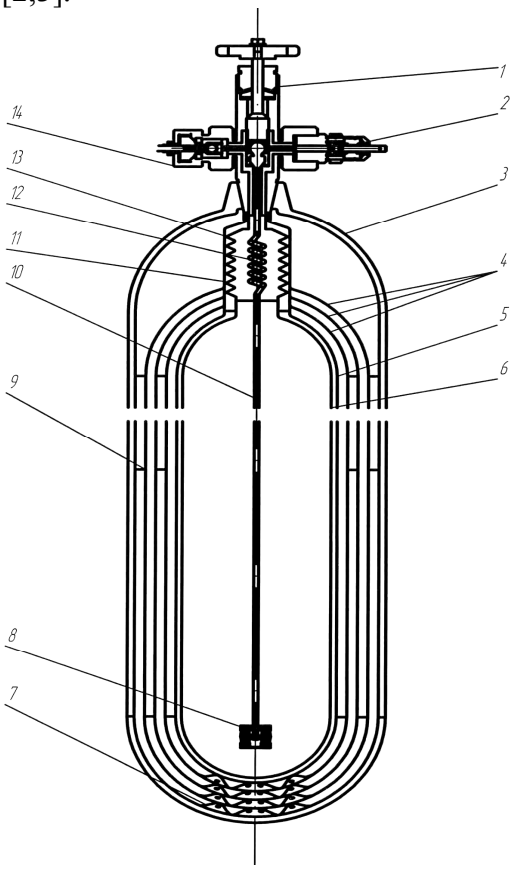

Рис. 1. Универсальный газовый баллон: 1 – вентиль запорный; 2 – клапан предохранительный; 3 – баллон; 4 – изоляция; 5 – изоляция внутренней емкости; 6 – внутренняя емкость; 7 – проставки опорные; 8 – фильтр; 9 – проставки радиальные; 10 – стакан; 11 – трубка заправочная; 12 – змеевик; 13 – сильфон; 14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

С целью получения энергетических характеристик баллона при бездренажном хранении и в режиме подачи рабочего тела в дроссельную систему была разработана экспериментальная установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 2. Основной частью этой установки является макетный образец баллона с криогенной заправкой, выполненный по оригинальной схеме на базе стандартного баллона ГОСТ 949-73. Материал баллона - сталь 30ХМА. С целью уменьшения теплопритоков от стапеля баллона 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 2. В крышке баллона располагаются пять штуцеров, через два из которых выведены концы термопар 3, другие штуцеры 4 имеют свои отдельные трубопроводы. Один подключен к образцовому манометру 6 для контроля давления в баллоне. Два других штуцера соединены соответственно с дублирующим предохранительным клапаном 7 и с мембранным разрывным предохранительным клапаном 10. Регулирующий вентиль 8 установлен перед расходомером 9.

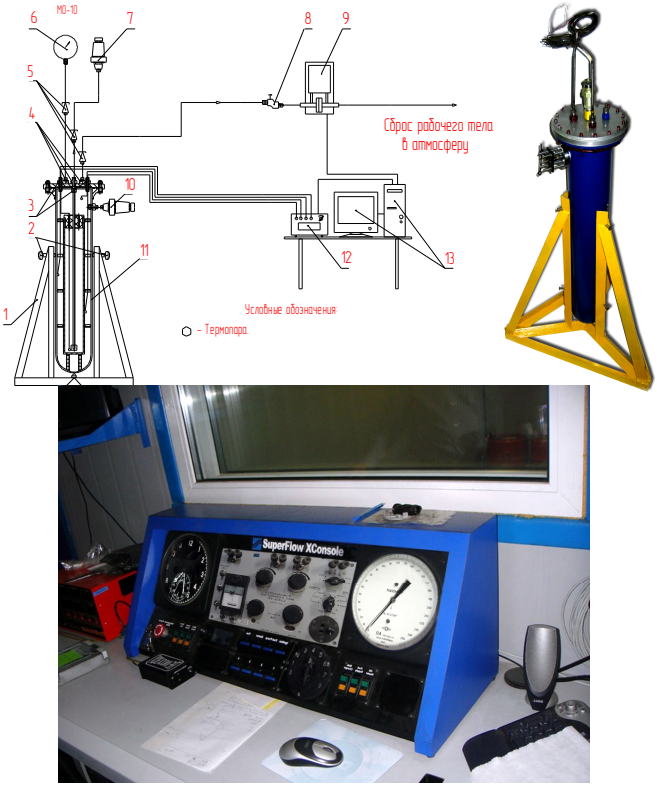

Рис. 2. Экспериментальная установка для исследования баллона с криогенной заправкой

В процессе эксперимента в баллон помещается термосная емкость с жидким азотом (77 К), крышка емкости герметично закрывается и производятся замеры. Показания проволочных хромель-копелевых термопар регистрируются измерительным

потенциометром ПП-63 класса 0,05 (поз.12). Термопары установлены на наружной стенке баллона, внутри газовой полости, а также на стенке и внутри термоса в жидкости.

Экспериментальная установка снабжена системой безопасности (в виде двух различных по конструкции клапанов).

Установка позволяет исследовать энергетические характеристики баллона (изменение температуры и давления в зависимости от времени, а также оценить тепловые потоки). При проведении испытаний экспериментального образца были поставлены следующие задачи: подтверждение работоспособности баллона с криогенной заправкой в полной комплектации (вентиль баллона, термос, экранная теплоизоляция на основе ЭВТИ и т.д.); получение его энергетических характеристик при различных условиях и режимах работы; подтверждение расчетной методики для бездренажного хранения криопродукта и в расходном режиме.

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 рис. 3-7 представлены отдельные результаты выполненных исследований. Их анализ и сравнение с теорией [3,4] позволяют сделать основной вывод о достаточно высоком соответствии экспериментальных данных и расчетной модели, описывающих теплофизику процесса в баллоне. При равных условиях заправки теплофизика процессов подчиняется логике поведения термодинамических систем, а именно при уносе массы (расходный режим) температура у внутренней стенки баллона и температура у внешней поверхности термосной емкости значительно ниже, чем в безрасходном режиме. Это способствует удержанию температуры жидкости на постоянном уровне (около – 180 ^{o}C), что отражено на рис. 1-2. Эксперимент показывает, что расходный режим при условиях эксперимента (рис. 3-4) позволяет увеличить время подачи жидкого криагента в два раза (до 80 мин). Это подтверждает перспективность использования баллона как возможную технологию использования двухфазной термодинамической системы на примере предлагаемого баллона с криогенной заправкой.

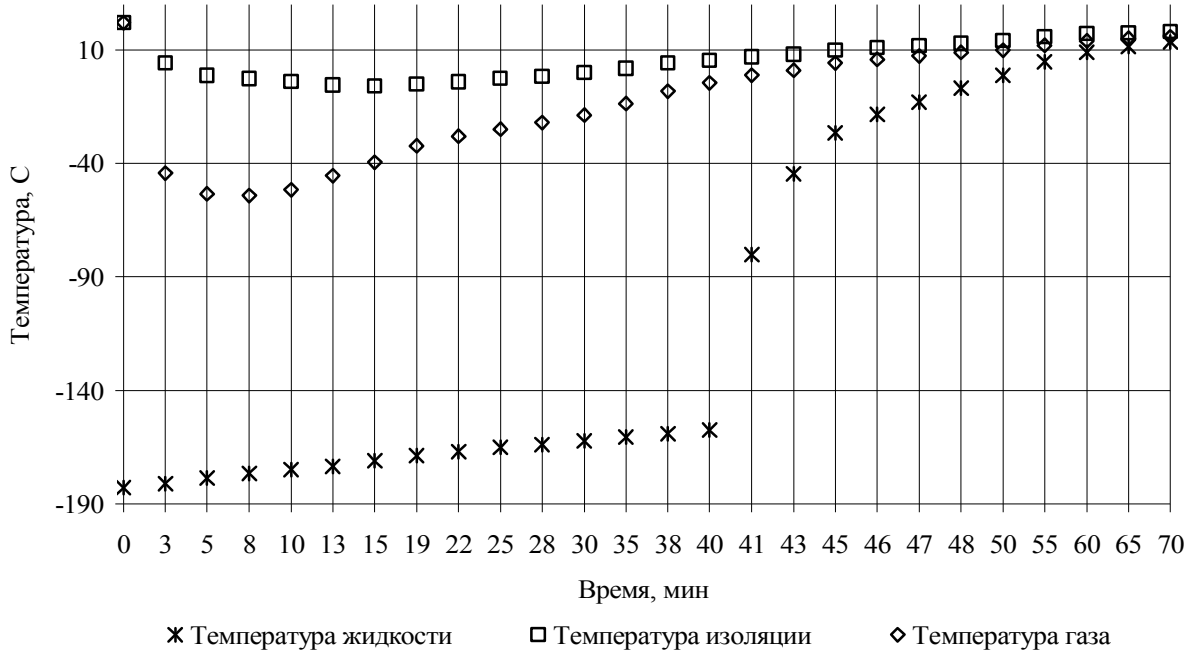

Рис. 3. Изменение температуры жидкости, изоляции и газа в криогенной емкости по времени хранения криопродукта в режиме без расхода (условия заправки – масса азота 250 г, изоляция)

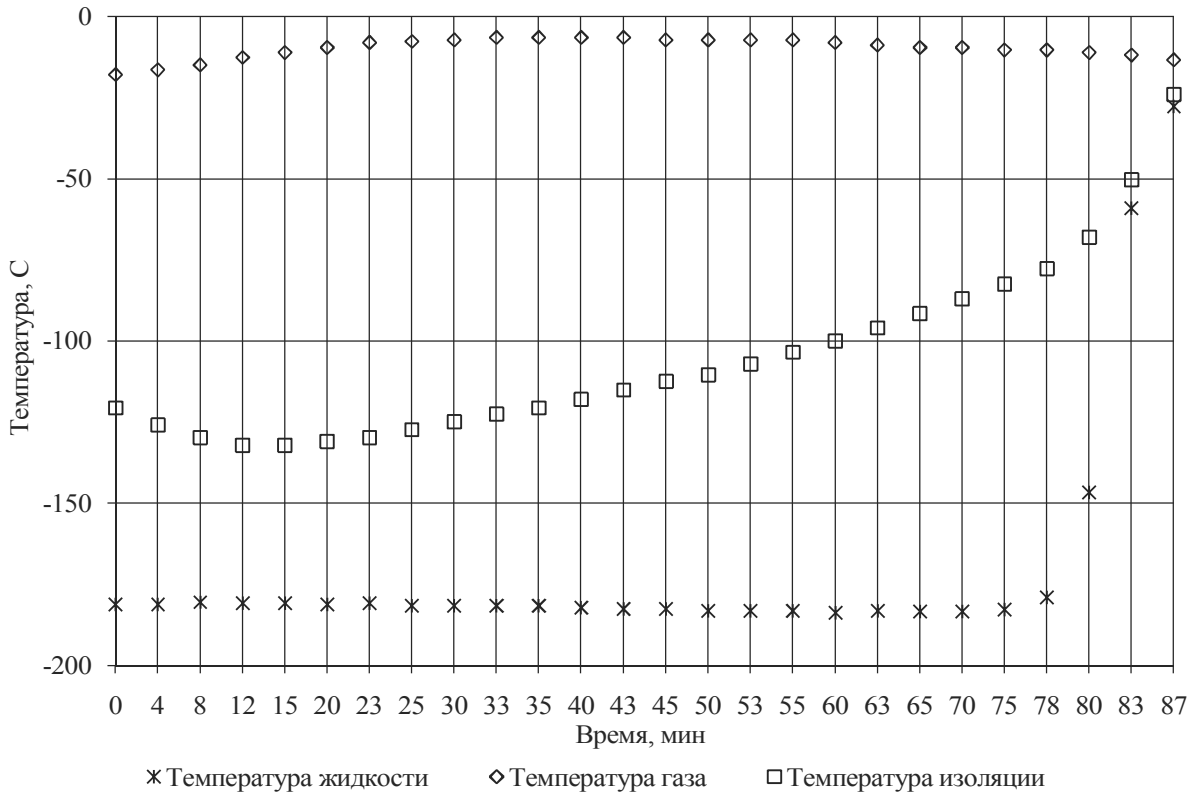

Рис. 4. Зависимость температуры жидкости, изоляции и газа в криогенной емкости от времени хранения криопродукта в расходном режиме (условия заправки – масса азота 250 г, изоляция)

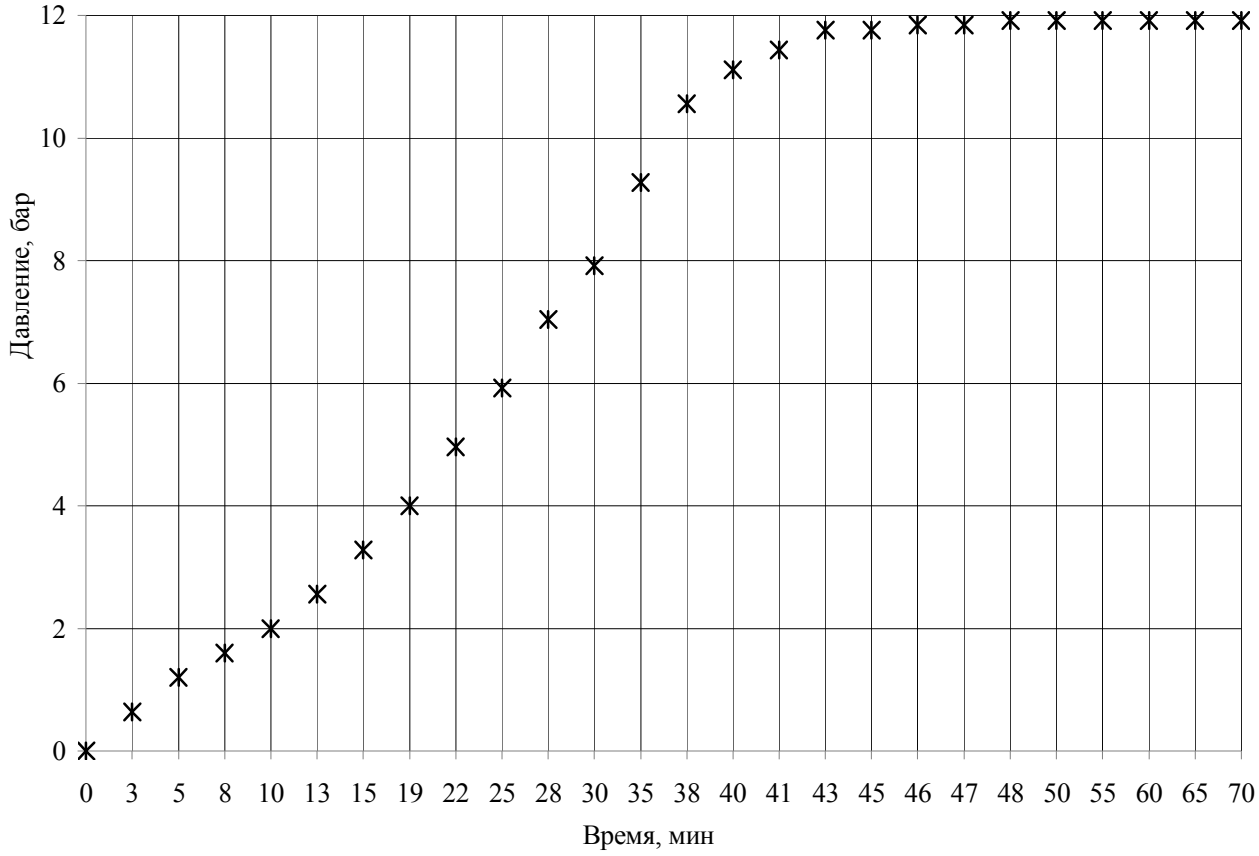

Рис. 5. Зависимость давления газа в криогенной емкости от времени хранения криопродукта в режиме без расхода (условия заправки – масса азота 250 г, изоляция)

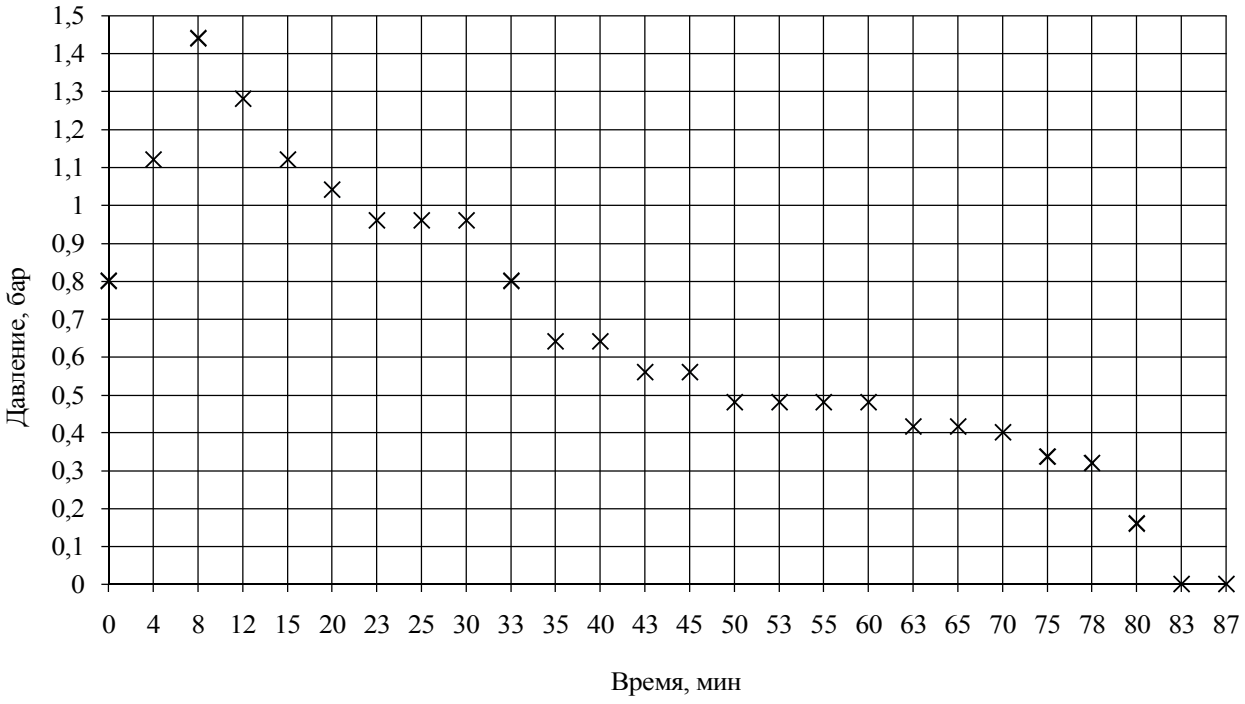

Рис. 6. Зависимость давления газа в криогенной емкости от времени хранения криопродукта в расходном режиме (условия заправки – масса азота 250 г, изоляция)

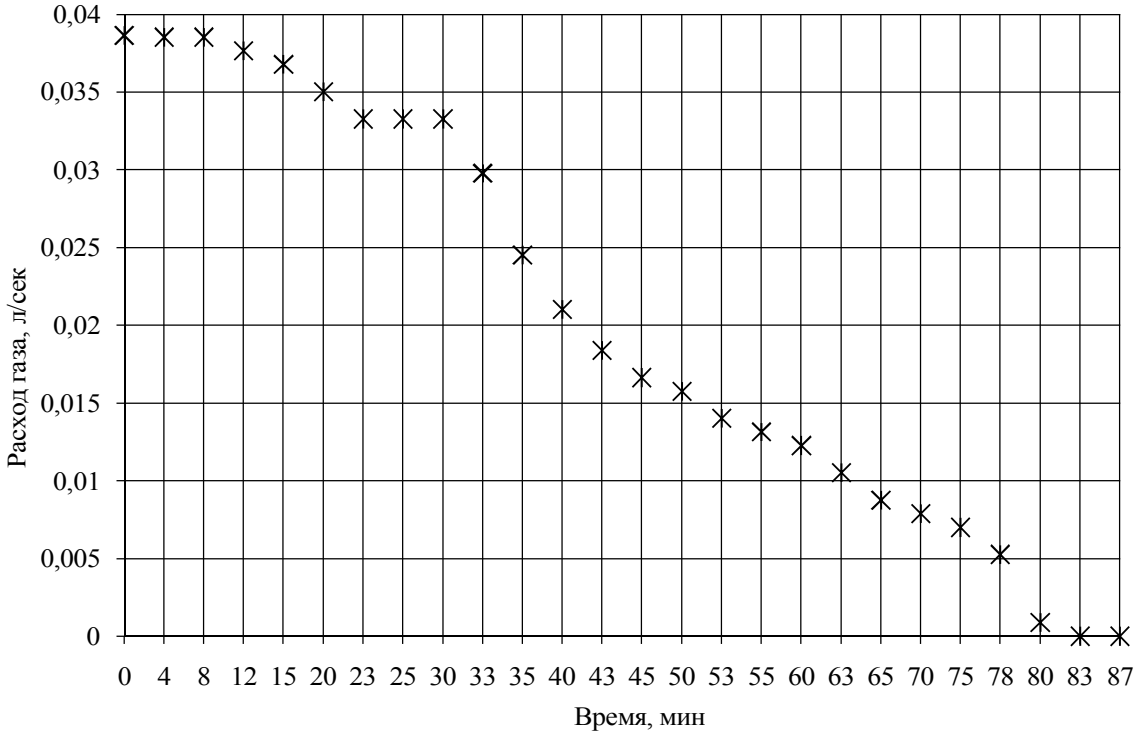

Рис. 7. Зависимость расхода газа в криогенной емкости от времени хранения криопродукта в расходном режиме (условия заправки – масса азота 250г, изоляция)

Поведение давления в расходном режиме способствует увеличению ресурса баллона. В соответствии с рис. 5 естественный рост давления, обусловленный испарением жидкой фазы, не является препятствием для использования баллона в любой момент его параметрического состояния, т.е. при запуске дроссельной системы охлаждения (в момент открытия расходного органа). При этом поведение термодинамических параметров будет соответствовать логике процессов, а время функционирования дрос-

сельной системы все равно будет выше, чем у баллона с заправкой компримированием.

Таким образом, результаты исследований тепловых процессов в баллоне с криогенной заправкой подтверждают перспективность его использования в бортовых системах охлаждения в соответствии с теоретическими выводами, представленными в работе [5].

Библиографический список

1. Пат. №2163699, РФ, МПК 7F17C9/02, 99114577/06 Топливный баллон [Текст] / А.И. Довгялло, С.В. Лукачев [и др.] заявл. 02.07.1999, опубл. 27.02.2001. Бюл. №6.
2. Довгялло, А.И. Оценка термоциклической прочности в топливном баллоне с криогенной заправкой [Текст] / А.И. Довгялло, Д.А. Угланов, Т.В. Ашихмина // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2007. - № 2. - С. 83-86.
3. Анализ работы баллонного микроохладителя при использовании азота с околокритическими параметрами [Текст] / А.И. Довгялло, А.П. Логашкин, Д.В. Сармин [и др.] // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - №3 (Ч.2). - С. 143-146.
4. Довгялло, А.И. Особенности постановки задачи расчета процессов для универсального газового баллона как неклассической двухфазной системы и оценка его температурного состояния [Текст] / А.И. Довгялло, Т.В. Ашихмина // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та, № 1(9). – Самара, 2006. – С. 133-137.
5. Дроссельная бортовая система охлаждения на базе баллона с криогенной заправкой [Текст] / А.И. Довгялло, А.П. Логашкин, Д.В. Сармин [и др.] // Прикладная физика, - 2010. Вып. 2. - С. 129-132.

PRELIMINARY TESTS OF TANK WITH CRYOGENIC CHARGING FOR ON-BOARD THROTTLE SYSTEM OF COOLING

© 2011 A. I. Dovgjallo, D. V. Sarmin, D. A. Uglanov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

This article deals with first results of tests of a tank with cryogenic charging (liquid nitrogen), which have been made at level of pressure to 4 MPa. Also it is shown that the behavior of parameters in a tank on time corresponds to calculation model.

Throttle effect, throttle system of cooling, tank with cryogenic refueling, the experimental stand.

Информация об авторах

Довгялло Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 335-18-12. E-mail: d.a.i@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Сармин Дмитрий Викторович, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 335-18-12. E-mail: sarmin.d.v@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Угланов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.:

(846) 335-18-12. E-mail: dmitry.uglanov@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

Dovgjallo Aleksandr Ivanovich, doctor of technical science, professor of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-18-12. E-mail: d.a.i@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power engineering, energy saving.

Sarmin Dmitry Viktorovich, post-graduate student of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-18-12. E-mail: sarmin.d.v@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power engineering, energy saving.

Uglanov Dmitry Aleksandrovich, candidate of technical science, senior lecturer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-18-12. E-mail: dmitry.uglanov@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power engineering, energy saving.