

УДК 621.57

Использование баллона с криогенной заправкой в различных областях техники

Д-р техн. наук А. И. ДОВГЯЛЛО¹, Д. В. САРМИН,
канд. техн. наук Д. А. УГЛАНОВ², А. Б. ЦАПКОВА³

¹d.a.i@mail.ru, ²dmitry.uglanov@mail.ru, ³a_tsapkova@mail.ru

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королева

443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34

В статье представлено исследование возможности применения баллона с криогенной заправкой в различных областях промышленности. Данная система хранения рабочих тел обладает существенным преимуществом — универсальностью заправки. Положенные в основу идеи баллона с криогенной заправкой 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. Проведенные исследования показали, что баллон с криогенной заправкой может быть эффективно использован в составе бортовой дроссельной системы охлаждения. Также он может быть эффективно применен в составе комплексов на сжиженном природном газе, как газификатор и аккумулятор давления. В статье представлены схемные решения применения баллона с криогенной заправкой в различных энергетических комплексах и системах.

Ключевые слова: технологические газы, газовый баллон, система охлаждения, холодопроизводительность.

Different applications of cylinders with cryogenic filling

D. Sc. A. I. DOVGJALLO¹, D. V. SARMIN,
Ph. D. D. A. UGLANOV²,
A. B. TSAPKOVA³

¹d.a.i@mail.ru, ²dmitry.uglanov@mail.ru,
³a_tsapkova@mail.ru

Samara State Aerospace University
443086 Samara, Russia

Different industrial applications of cylinders with cryogenic filling are considered. The main advantage of the storage system in question is that it can be filled in a universal way. The main principle is that if cylinder is filled with a gaseous product it works as a usual one, and when the cylinder is filled with cryogenic material of the same volume it works under more favorable pressure conditions. A cylinder with cryogenic filling has been shown to be effectively used as a part of a vehicle cooling system. It can be also used as a gasifier and pressure accumulator in liquefied natural gas units. Application examples of cylinder with cryogenic filling for different power complexes and systems are given.

Keywords: process gas, gas cylinder, cooling system, refrigeration capacity.

Экономические, эксплуатационные и специальные требования, предъявляемые к емкостям хранения газов и криогенных жидкостей, требуют создания более совершенных конструкций, способных выдерживать большое давление, иметь увеличенный ресурс работы, способствовать снижению потерь рабочего тела, удовлетворять

технологиям ускоренной заправки, отвечать требованиям безопасности и иметь необходимую живучесть.

Обычно рабочие тела технологического и специального назначения хранятся и транспортируются либо в газообразном компримированном виде в баллонах высокого давления, либо в состоянии жидкости при криогенных температурах.

Они используются как технологические газы; как топливо в промышленных установках и для бытовых целей; как газообразное топливо на транспорте; как газы для систем вытеснения и наддува баков и емкостей; как криогенные газы и жидкости для охлаждения.

В случае использования, например природного газа, данное рабочее тело заправляется в баллоны или емкости до давления 20 МПа и выше. Заправка осуществляется на газонаполнительных станциях путем компримирования, при этом продолжительность заправки составляет несколько минут и сопровождается нагревом баллона, что снижает ресурс последнего, влечет его недозаправку или увеличивает время наполнения. Заправка компримированием требует существенных затрат энергии.

В настоящее время широкое применение начинают находить технологии на основе использования сжиженного природного газа (СПГ). Параллельно существуют технологии хранения и транспортировки рабочих тел в криогенно жидком состоянии, после чего использование рабочего тела осуществляется после регазификации в газообразном виде.

Дроссельные системы охлаждения работают за счет расхода азота (или смесей газов) из баллонов высокого давления [1]. К таким рабочим телам предъявляются повышенные требования по их чистоте, что осуществляется за счет их регазификации из криогенно-жидкого состояния.

Использование в военной технике криогенных жидкостей для систем охлаждения на борту летательных аппаратов

также имеет место. Но по некоторым требованиям эксплуатации их применение вызывает определенные трудности.

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.

Так, например, на газонаполнительных компрессорных станциях при существующей инфраструктуре и технологиях заправки было бы уместно совместить применяемый в настоящее время способ наполнения баллонов компримированием с заправкой из криогенно — жидкого состояния.

Примером совмещения существующих и перспективных технологий является патент топливный баллон [2], разработанный на базе Самарского государственного аэрокосмического университета, схема которого показана на рис. 1.

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 и теплоизоляции предотвращает тепловые удары, что характерно для обычных емкостей, и смягчает условия по термодинамической прочности конструкции. Расчеты показывают, что циклы силового нагружения давлением такого баллона в три раза ниже, чем при заправке компримированием [3].

В данной публикации представлены результаты предварительных исследований по использованию баллона с криогенной заправкой (БКЗ) в различных областях промышленности и техники.

В работе [4] представлен сравнительный анализ работы стандартного газификатора (рис. 2) и газификатора на основе емкости с криогенной заправкой (рис. 3) [5]. Первый газификатор для прокачки криогенной жидкости использует погружной плунжерный насос. Для работы по такой схеме насос обеспечивает высокое давление, которое необходимо для подачи далее уже газифицированного продукта в емкость высокого давления.

Предлагается перспективным использовать газификатор на основе емкости с криогенной заправкой в составе комплекса газоснабжения с использованием СПГ (рис. 3). При этом он может выполнять функции емкости высокого давления и обеспечить заправку баллонов газообразным продуктом, так и поставлять газ в сеть, а также быть источником высокого давления газа для обеспечения нужд самой станции.

Рассматривая применение такой емкости, как газификатора, в первой схеме, можно отметить следующее. Холодный газификатор (рис. 2) для регазификации СПГ в атмосферных испарителях использует тепло окружающей среды и дополнительный тепло от другого источника практически не потребляет. СПГ подается насосом с давлением на выходе 20...25 МПа. Основные энергозатраты приходятся на насос высокого давления, потребляемая мощность которого составляет 25 кВт (при расходе 50 л/мин), среднее время работы — 10...16 ч в сут.

Расчеты показывают, что для заправочной станции, показанной на рис. 3 на основе БКЗ с таким же расходом

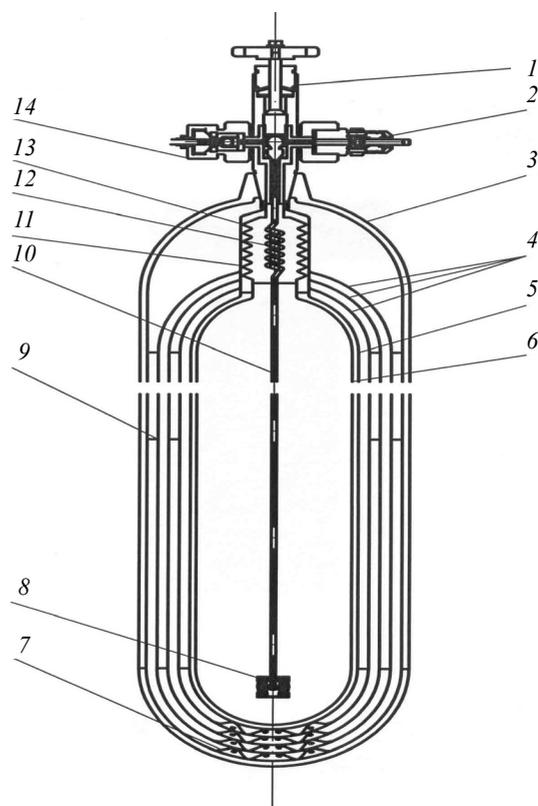


Рис. 1. Универсальный газовый баллон:

- 1 — вентиль запорный; 2 — клапан предохранительный;
3 — баллон; 4 — изоляция; 5 — изоляция внутренней емкости;
6 — внутренняя емкость; 7 — прокладки опорные;
8 — фильтр; 9 — прокладки радиальные; 10 — стакан;
11 — трубка заправочная; 12 — змеевик;
13 — сиффон; 14 — штуцер

криогенного продукта 50 л/мин, требуется насос, мощность которого составляет около 1 кВт. Относительно малая мощность обусловлена только гидравлическим сопротивлением теплообменника, т. к. давление в наполняемой газовой полости БКЗ равно давлению во всем объеме.

Перспективным является применение баллона с криогенной заправкой в дроссельных системах охлаждения [6]. В работе [7] выполнен расчет основных характеристик дроссельных систем охлаждения (ДСО) на основе баллона высокого давления (БВД) и на основе баллона с криогенной заправкой с азотом при температуре 130-135К и давлении 4МПа. На рис. 4 представлены рабочие циклы и схемы этих систем. В первом случае в дроссельной системе используется баллон высокого давления, заправленный азотом с исходным давлением $p_0 = 30$ МПа и температурой $T_0 = 293$ К. Во втором случае в составе дроссельной системы используется баллон с криогенной заправкой (БКЗ).

Имитационные испытания баллона с криогенной заправкой для дроссельной системы охлаждения показали правильность теоретических моделей и методик расчета, а также надежность данной системы [8, 9].

Технико-экономическая оценка применения БКЗ в составе дроссельной системы охлаждения показывает в сравнении с БВД снижение массы системы в два раза либо пропорциональное увеличение времени ее функционирования по сравнению с существующими штатными системами [10].

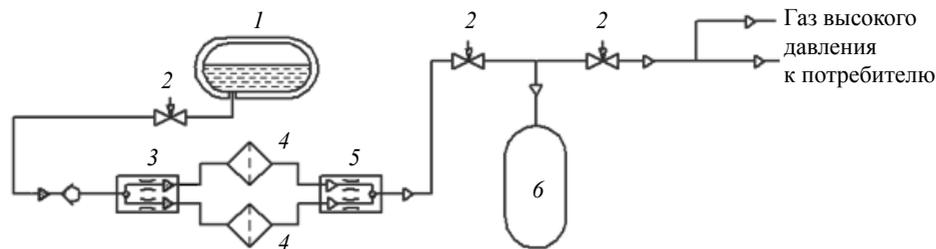


Рис. 2. Газозаправочная станция:

1 — емкость для хранения криогенной жидкости; 2 — вентиль; 3 — распределитель жидкости; 4 — теплообменники-испарители атмосферного типа; 5 — распределитель газа; 6 — заправочный баллон

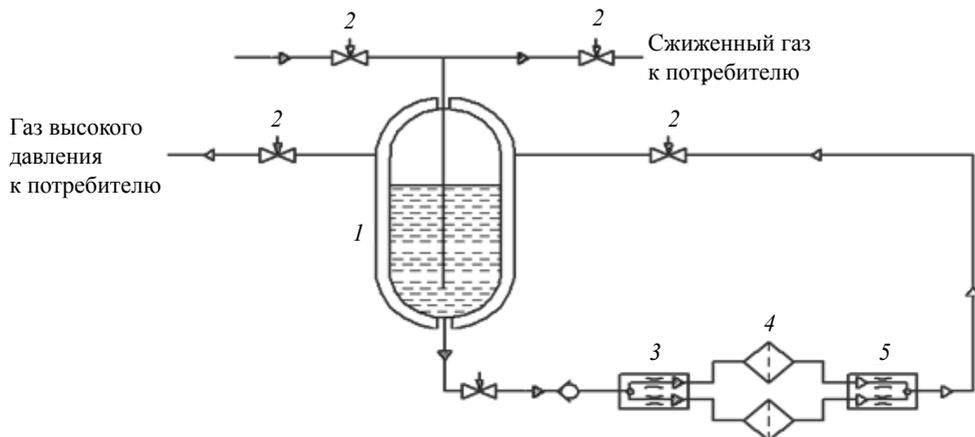


Рис. 3. Газозаправочная станция на основе универсального газового баллона:

1 — емкость для хранения криогенной жидкости; 2 — вентиль; 3 — распределитель жидкости; 4 — теплообменники-испарители атмосферного типа; 5 — распределитель газа

При этом было проведено сравнение двух вариантов БКЗ в составе ДСО:

1. Холодопроизводительность ДСО $Q = 10$ Вт, объем баллона высокого давления и БКЗ — 1 л.

2. Холодопроизводительность ДСО $Q = 10$ Вт, объем баллона высокого давления и БКЗ — 8 л.

Анализ того, что универсальность баллона, заключающаяся в возможности использования рабочего тела как из криогенно-жидкого состояния, так и газообразного, не вносит изменений в конструкцию охладителя. Это позволяет использовать штатные микродрессельные системы охлаждения.

Расчеты показывают, что время работы ДСО можно увеличить за счет БКЗ на 50–80% (в зависимости от массы заправки рабочим телом), в то же время масса БКЗ больше БВД при равной холодопроизводительности ДСО на 5–20%, в зависимости от объема баллонов.

Для получения объективной характеристики оценки эффективности использования БКЗ в составе ДСО была введена удельная величина — коэффициент времени работы:

$$\chi = \frac{\tau_{\text{дсо}}}{m_{\text{бал}}},$$

где $\tau_{\text{дсо}}$ — время работы дрессельной системы;

$m_{\text{бал}}$ — масса баллона в рассматриваемых системах.

Из расчетных данных, показанных на рис. 5, следует, что БКЗ при одинаковой массе заправки в составе ДСО увеличивает время работы бортовой системы охлаждения в 1,2...1,5 по сравнению с БВД. Или для фиксированного времени работы бортовой ДСО, в состав ко-

торой входит БКЗ, потребуется рабочего тела на 40–60% меньше по сравнению с ДСО на основе баллона высокого давления. Это снижает суммарную массу баллона с рабочим телом на 25...30% и компенсирует указанные выше 5...20% дополнительной массы БКЗ.

Таким образом, использование БКЗ позволяет снизить массогабаритные характеристики системы охлаждения и увеличить эффективность использования криогенных систем на борту летательных аппаратов.

Окончание статьи в следующем номере

Список литературы

1. Микулин Е. И. Криогенная техника. — М.: Машиностроение, 1969.
2. Патент 2163699, Российская Федерация, МПК 7F17C9/02/Топливный баллон/А. И. Довгялло, С. В. Лукачев и др. заявитель и патентообладатель СГАУ. — №9911457706 заявл. 02.07.1997, опубл. 27.02.2001. Бюл. № 6.
3. Довгялло А. И. Оценка термодинамической прочности в топливном баллоне с криогенной заправкой/ А. И. Довгялло, Д. А. Угланов, Т. В. Ашихмина // Вестник СГАУ. 2007. № 2. С. 83–86.
4. Ашихмина Т. В., Сармин Д. В., Угланов Д. А. Использование емкости высокого давления с криогенной заправкой в качестве хранилища-регазификатора для автономных комплексов газоснабжения и железнодорожного транспорта // Вестник СГАУ. 2011. № 5. с. 76–83.
5. Патент на полезную модель «Устройство для получения газа высокого давления из криогенной жидкости»/(Заявка

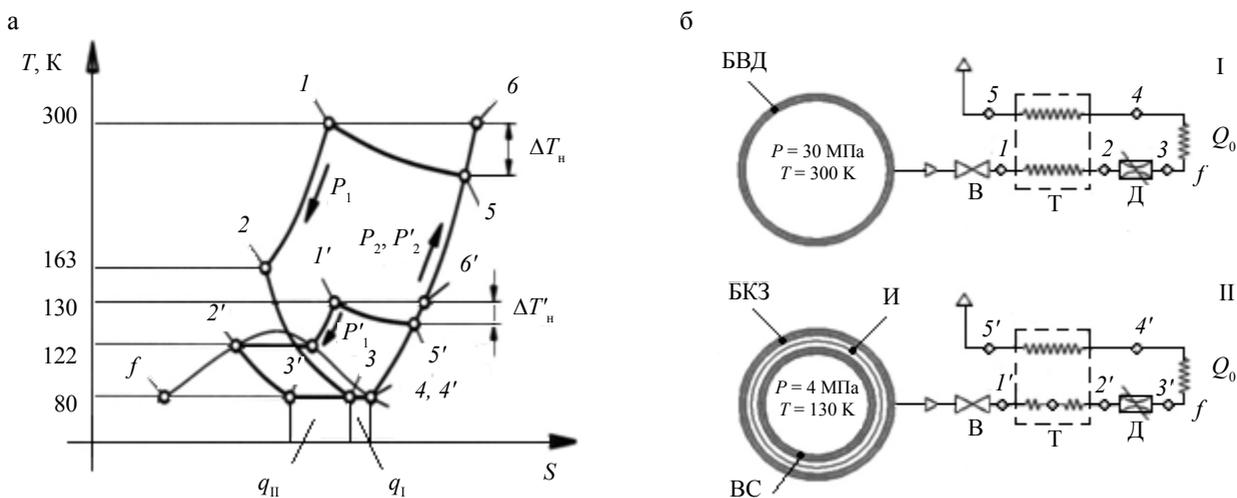


Рис. 4. Работа дроссельных систем охлаждения: а — рабочий процесс в T-S- диаграмме; б — схемы дроссельных систем охлаждения: I — обычная баллонная система; II — система с универсальным баллоном; БВД — баллон высокого давления; В — запорный вентиль; Д — дроссельный вентиль; ВС — внутренний сосуд (термос) И — теплоизоляция; БКЗ — баллон с криогенной заправкой, Т — теплообменник

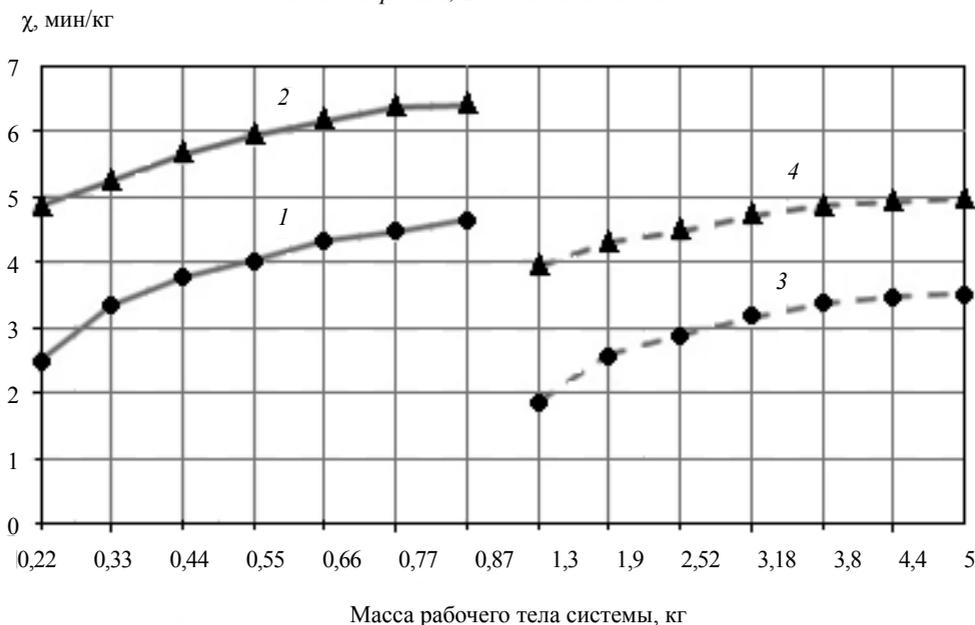


Рис. 5. Зависимость коэффициента времени работы от массы заправки баллона рабочим телом для двух типов баллонов: 1 — система с БВД, объем баллона 1 л; 2 — система с БКЗ, объем баллона 1 л; 3 — система с БВД, объем баллона 8 л; 4 — система с БКЗ, объем баллона 8 л

№2010124674/06 (035174))/Довгялло А. И., Редькин Е. С., Соколов А. Б., Угланов Д. А.

6. Довгялло А. И., Логашкин А. П., Сармин Д. В., Угланов Д. А. Дроссельная бортовая система охлаждения на базе баллона с криогенной заправкой // Прикладная физика. 2010. Выпуск 6. С. 75–78

7. Довгялло А. И., Логашкин А. П., Сармин Д. В., Угланов Д. А. Анализ работы баллонного микроохлаждителя при использовании азота с околоритических параметрами. // Вестник СГАУ. 2009. №3 (Ч. 2). с. 143–146.

8. Довгялло А. И., Сармин Д. В., Д. А. Угланов. Предварительные исследования тепловых процессов в баллоне с криогенной заправкой бортовой дроссельной системы // Вестник СГАУ. 2011. №3 (Ч. 4). с. 78–85

9. Сармин Д. В., Некрасова С. О., Угланов Д. А., Довгялло А. И. Имитационные испытания баллона с криогенной за-

правкой для дроссельной системы охлаждения и ее сравнительные характеристики // Прикладная физика. 2013. №4. С. 54–59.

10. Довгялло А. И., Логашкин А. П., Сармин Д. В., Угланов Д. А., Шатохин Е. С. Сравнение массовых характеристик баллона с криогенной заправкой и баллона высокого давления для дроссельной системы охлаждения // Вестник СГАУ. 2013. №3. С. 112–118

11. Алексеев Г. Н. Основы теории энергетических установок подводных подвижных аппаратов. — М.: Наука, 1974.

12. Довгялло А. И., Сармин Д. В., Угланов Д. А., Шишкина Ю. В. Оценка возможности применения теплоотрицательной энергии в комплексах сжиженного природного газа // Вестник СГАУ. 2013. №3 (41). С. 84–89.

13. Бармин И. В. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра/И. В. Бармин, И. Д. Кунис, под ред. А. М. Архарова. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 256 с.

14. Загорюльченко В. А. Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана/В. А. Загорюльченко, А. М. Журавлев. — М.: Изд-во комитета стандартов, мер и измерительных приборов при совете министров СССР, 1969.

15. Кулагин В. В. Теория, расчет и проектирования авиационных двигателей и энергетических установок. — М.: Машиностроение, 2003.

References

1. Mikulin E. I. Cryogenic technique. — Moscow: Mashinostroenie, 1969. (in Russian).

2. Patent 2163699, Rossiiskaya Federatsiya, MPK 7F17C9/02/Fuel bulb/A. I. Dovgyallo, S. V. Lukachev i dr. zayavitel' i patentoobladatel' SGAU. — №9911457706 zayavl. 02.07.1997, opubl. 27.02.2001. Byul. No 6. (in Russian).

3. Dovgyallo A. I., Uglanov D. A., Ashikhmina T. V. Assessment of thermocyclic durability in a fuel bulb with cryogenic priming. *Vestnik SGAU*. 2007. No 2. p. 83–86. (in Russian).

4. Ashikhmina T. V., Sarmin D. V., Uglanov D. A. Use of capacity of high pressure with cryogenic priming as storage-regazifikatora for independent complexes of gas supply and railway transport. *Vestnik SGAU*. 2011. No. 5. p. 76–83. (in Russian).

5. Patent «The device for receiving gas of high pressure from cryogenic liquid»/(Zayavka №2010124674/06 (035174))/Dovgyallo A. I., Red'kin E. S., Sokolov A. B., Uglanov D. A. (in Russian).

6. Dovgyallo A. I., Logashkin A. P., Sarmin D. V., Uglanov D. A. The throttle onboard cooling system on the basis of a bulb with cryogenic priming. *Prikladnaya fizika*. 2010. Vol. 6. p. 75–78. (in Russian).

7. Dovgyallo A. I., Logashkin A. P., Sarmin D. V., Uglanov D. A. The analysis of operation of the ballony microcooler

when using nitrogen with near-critical parameters. *Vestnik SGAU*. 2009. No. 3 (part 2). p. 143–146. (in Russian).

8. Dovgyallo A. I., Sarmin D. V., D. A. Uglanov. Preliminary researches of thermal processes in a bulb with cryogenic priming of onboard throttle system. *Vestnik SGAU*. 2011. No. 3 (part 4). p. 78–85. (in Russian).

9. Sarmin D. V., Nekrasova S. O., Uglanov D. A., Dovgyallo A. I. Imitative tests of a bulb with cryogenic priming for the throttle cooling system and its comparative characteristics. *Prikladnaya fizika*. 2013. No. 4. p. 54–59. (in Russian).

10. Dovgyallo A. I., Logashkin A. P., Sarmin D. V., Uglanov D. A., Shatokhin E. S. Comparing of mass characteristics of a bulb with cryogenic priming and a high-pressure tank for the throttle cooling system. *Vestnik SGAU*. 2013. No. 3. p. 112–118. (in Russian).

11. Alekseev G. N. Bases of the theory of energetic installations of underwater mobile devices. — Moscow: Nauka, 1974. (in Russian).

12. Dovgyallo A. I., Sarmin D. V., Uglanov D. A., Shishkina Yu. V. Assessment of possibility of application of the heatnegative power engineering in complexes of the liquefied natural gas. *Vestnik SGAU*. 2013. No. 3 (41). p. 84–89. (in Russian).

13. Barmin I. V. The liquefied natural gas yesterday, today, tomorrow/I. V. Barmin, I. D. Kunis, pod red. A. M. Arkharova. — Moscow: MGTU im. N. E. Bauman, 2009. 256 p. (in Russian).

14. Zagorul'chenko V. A., Zhuravlev A. M. Heatphysical properties of gaseous and liquid methane. — Moscow, 1969. (in Russian).

15. Kulagin V. V. Theory, calculation and design of aviation engines and energetic installations. — Moscow: Mashinostroenie, 2003. (in Russian).

11-13
НОЯБРЯ 2014
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
EXPOFORUM

XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ
ВЫСТАВКА

peterfood

Разделы выставки:

- Мясо и мясопродукты. Мясная гастрономия
- Птица. Яйцо
- Рыба и морепродукты
- Овощи. Фрукты
- Замороженные продукты. П/ф.
- Молочная продукция. Сыры
- Бакалея (зернопродукты, макаронные изделия, специи)
- Готовые блюда, салаты
- Масложировая группа
- Кондитерская продукция. Снэки, орехи, сухофрукты
- Соки. Воды. Безалкогольные напитки
- Чай. Кофе. Какао
- Спиртные напитки
- Здоровое питание. Детское питание
- Консервация. Соусы
- Табак
- Салон сопутствующего оборудования «ПетерфудТех» (Холодильное, упаковочное оборудование и материалы; Торговое оборудование и автоматы, оборудование для быстрого приготовления пищи, барное оборудование. Кофе-машины)

Контакты:

Тел./ф.: 8 (812) 327-49-18

E-mail: imperia@imperiaforum.com, press@imperiaforum.com

http://peterfood.ru/