

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.

Следующим перспективным аспектом, с точки зрения энергетики криогенных систем, является использование низкопотенциального тепла криопродукта. Этот, в общем-то известный [11], но не ре-

ализованный на практике энергетический потенциал имеет несомненные перспективы по его использованию для получения энергии [12]. В частности, это энергоустановки, использующие в качестве нижнего источника тепла (стека) криопродукт [11]. Это название вполне уместно, если учесть, что в основном, в качестве верхнего источника тепла автор предлагает использовать окружающую среду с практически неисчерпаемым энергоресурсом. В этом случае эффективность, мощность и время работы будут определяться только параметром криопродукта и его запасом. На основе конструкции баллона с криогенной заправкой была рассчитана теплоотрицательная установка, при эксплуатации которой вырабатывается дополнительная электрическая энергия. Схема установки представлена на рис. 6.

Принцип работы установки состоит в следующем. В баллоне с криогенной заправкой заправляется сжиженный природный газ при температуре 112 К. Далее он газифицируется за счет естественных теплопритоков до температуры окружающей среды 300 К и до давления 30 МПа.

После полной газификации газа в баллоне, из него может производиться заправка автомобилей на АГ-НКС [13]. Давление при заправке автомобильного баллона составляет 20 МПа. Если установка рассчитана на заправку 10 автомобилей и время заправки одного автомобиля составляет 7 мин, то расход газа при заправке одного автомобиля составляет 0,066 кг/с. Газонаполнительная станция может заправлять метаном и технические баллоны (например, для сварочного оборудования).

* Начало статьи в «Вестник МАХ» №3,2014, с. 30–34.

The beginning of article in «Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda» 2014, No 3, p. 30–34.

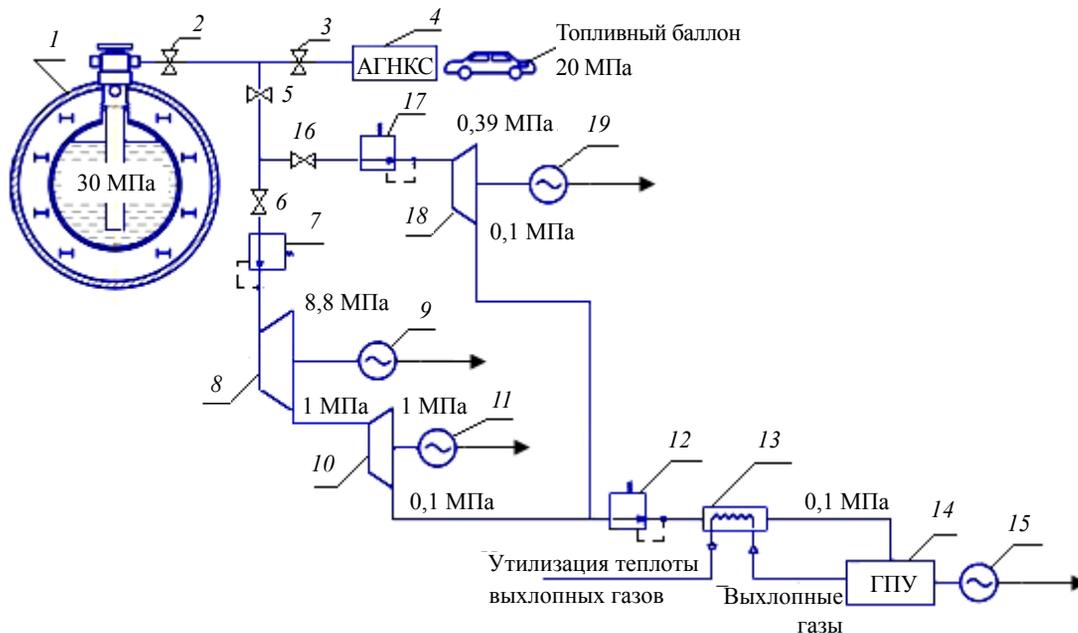


Рис. 6. Принципиальная схема энергетического комплекса для заправки и подачи СПГ:

- 1 — баллон с криогенной заправкой (БКЗ); 2, 3, 5, 6, 16 — задвижка; 4 — автозаправочная станция;
- 7 — редуктор на 10 МПа; 8 — турбина с $\pi_m = 8,8$; 9, 11, 15, 19 — электрогенератор; 10 — турбина с $\pi_m = 10$;
- 12 — редуктор на 0,1 МПа; 13 — теплообменник; 14 — газопоршневая установка (ГПУ);
- 17 — редуктор на 1 МПа; 18 — турбина с $\pi_m = 3,9$

При достижении в БКЗ давления 20 МПа заправка автомобилей далее не может производиться. Оставшееся количество природного газа поступает в магистраль с расширительными турбинами, на которых вырабатывается электрическая энергия, и далее газ используется в газопоршневой установке (ГПУ). Для ГПУ необходима подача газа под давлением 0,1 МПа, расход газа составляет 0,042 кг/с при мощности ГПУ 1011 кВт, всего потребуется 866 кг метана на 6 ч работы.

Вследствие того, что давление в БКЗ после начала истечения начинает снижаться, необходимо найти степень расширения, при которой общая работа турбин будет максимальна. Показано, что оптимальная степень расширения для первой турбины в первом контуре составит $\pi_t = 8,8$; для второй турбины в первом контуре $\pi_t^* = 10$; для турбины второго контура $\pi_t^* = 3,9$.

Результаты расчета теплоотрицательной установки представлены в табл. 1.

Время работы теплоотрицательной установки, включая время газификации метана в БКЗ, время заправки баллонов и время выработки электроэнергии составит 24 ч.

Проведенная экономическая оценка теплоотрицательной установки показала, что срок окупаемости установки составляет 3–4 года.

Другой областью применения БКЗ является возможное его применение в составе судовой энергетической установки. Для расчета судовой теплоотрицательной энергетической установки была взята автономная система топливопитания на базе океанского контейнера с силовой установкой (СУ), работающей на дизельном топливе. Судно по расчетам находится в рейсе 470 ч. Масса хранимого дизельного топлива на борту судна составит $m_{диз} = 5440$ т. Был сделан перерасчет СУ на сжиженный природный газ (СПГ) и получен необходимый запас СПГ (метан) на один рейс судна $m_t = 4390$ т, а расход топлива в секунду оставит $G_t = 9400$ кг/ч = 2,6 кг/с.

Анализ полученных расчетов показывает, что при принятой теплотворной способности метана ($H = 55550$ кДж/кг) данная силовая установка на СПГ израсходует на 1000 т меньше топлива, чем дизельная, но объем хранимого запаса топлива возрастет на 3950 м³. Это объясняется меньшей плотностью СПГ [14].

Таблица 1

Характеристики теплоотрицательного контура криогенного комплекса СПГ

	Степень расширения	Мощность, кВт	Время работы, мин	Выработанная энергия, кВт·ч
Первая турбина 1 контура	8,8	14,35	128	30,63
Вторая турбина 1 контура	10	8,73	90	13,04
Турбина 2 контура	3,9	5,52	7	0,64
Итого (на турбинах)	—	—	225	44,31
ГПУ	—	1010	225	3780,91
Итого	—	—	225	3725,22

Для решения поставленной задачи предлагается использовать ГПУ с теплоотрицательным энергетическим комплексом, в состав которого будут входить емкости с криогенной заправкой, соединенные с резервуарами для хранения СПГ, а также несколько расширительных турбин, соединенных с электрогенератором для получения дополнительной энергии.

Из условия прочности была рассчитана оболочка БКЗ на давление не превышающего 10,1 МПа и ее объем, рассчитанный на один час работы СУ, равный 151 м³. Масса топлива составила 6820 кг. Был выполнен расчет тепловых процессов БКЗ с учетом уноса массы и площади боковой поверхности баллона, а также температуры окружающей среды. Результаты этих расчетов представлены на рис. 7, 8.

По данным результатам выбрано оптимальное соотношение температуры и потребного теплового потока через стенку емкости для обеспечения работоспособности предлагаемой системы топливоподачи. Потребовалось увеличить площадь БКЗ до 900 м², а температуру до 323 К. Потребная площадь поверхности была увеличена за счет оребрения, а температура снаружи поддерживалась выхлопными газами СУ. Общий вид БКЗ для этого случая представлен на рис. 9.

Необходимое количество тепла для процесса газификации будет определяться по формуле:

$$Q = m_r r_{ж} + c_p m_r (t_r - t_{ж}) = 9,9 \text{ ГДж},$$

где $r_{ж}$ — удельная теплота испарения метана, Дж/(кг·К); c_p — изобарная теплоемкость метана, Дж.

Мощность теплового потока, поступающего из окружающей среды в БКЗ, определяется по формуле

$$W = k (t_r - t_{ж}) F = 1385 \text{ кВт},$$

где k — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); F — площадь баллона, м²; $t_{ж}$ — температура метана в жидком состоянии, К; $t_{ж}$ — температура окружающей среды.

Таким образом, время на естественную газификацию будет определяться величиной:

$$\tau = Q/W = 120 \text{ мин.}$$

Общее количество БКЗ на борту данного судна для обеспечения бесперебойной работы главного судового двигателя составляет 3 шт. При этом три БКЗ с указанными геометрическими параметрами обеспечат бесперебойную подачу топлива в СУ.

По методике [15] произведена оценка полезной работы, получаемой при расширении газа на турбине, которая входит в состав судовой теплоотрицательной энергетической установки. Из расчетов следует, что газовый редуктор в первом контуре проектируемой системы должен быть настроен на давление 2,9 МПа, этому значению соответствует степень расширения на турбине $\pi_r = 9,5$, а время работы проектируемой системы составит 45 минут. При этом будет произведено максимальное количество энергии равной 605,3 кВт·ч (рис. 10).

Остаточное давление в БКЗ составляет 2,1 МПа, а минимально давление может опуститься до 0,5 МПа. Во второй контур устанавливается редуктор на давлении

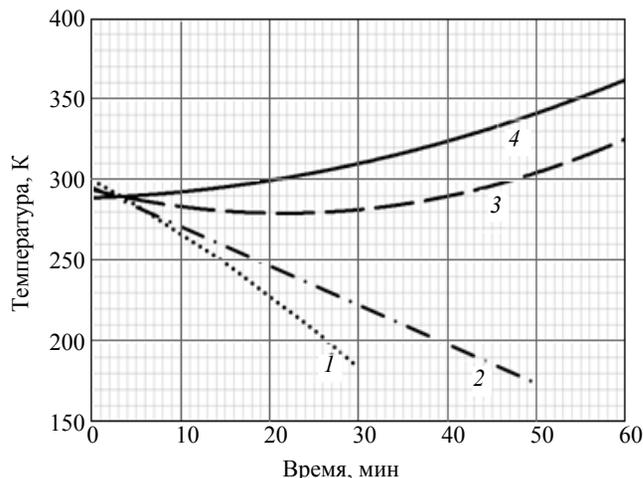


Рис. 7. График изменение температуры газа в БКЗ: 1 — I режим (температура «горячей среды» — 300К), 2 — II режим (температура «горячей среды» 300К), 3 — III режим (температура «горячей среды» 450К, коэффициент оребрения поверхности 4,7), 4 — IV режим (температура «горячей среды» 450К, коэффициент оребрения поверхности 3)

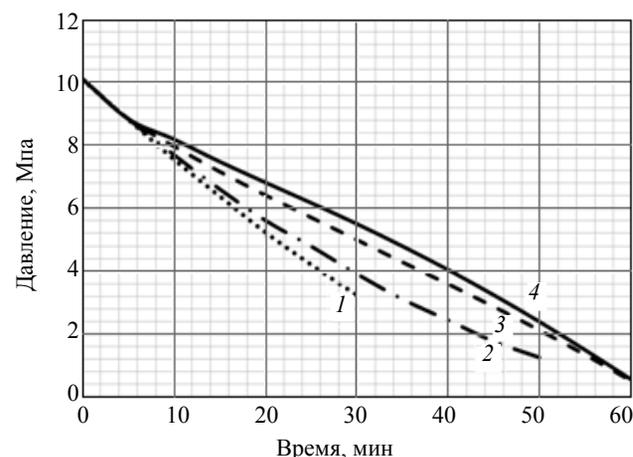


Рис. 8. График изменение давления от времени в БКЗ: 1 — I режим (температура «горячей среды» 300К); 2 — II режим (температура «горячей среды» 300К); 3 — III режим (температура «горячей среды» 450К, коэффициент оребрения поверхности 4,7); 4 — IV режим (температура «горячей среды» 450К, коэффициент оребрения поверхности 3)

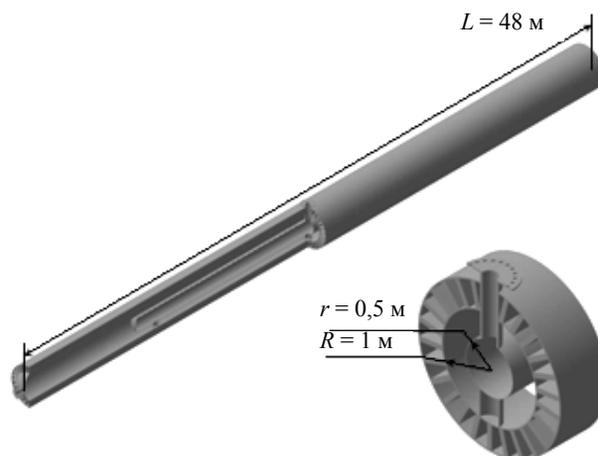


Рис. 9. Емкость с криогенной заправкой

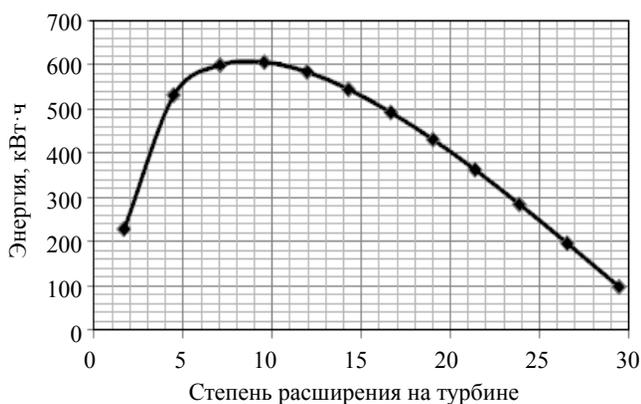


Рис. 10. График изменения вырабатываемой энергии от степени расширения в первом контуре

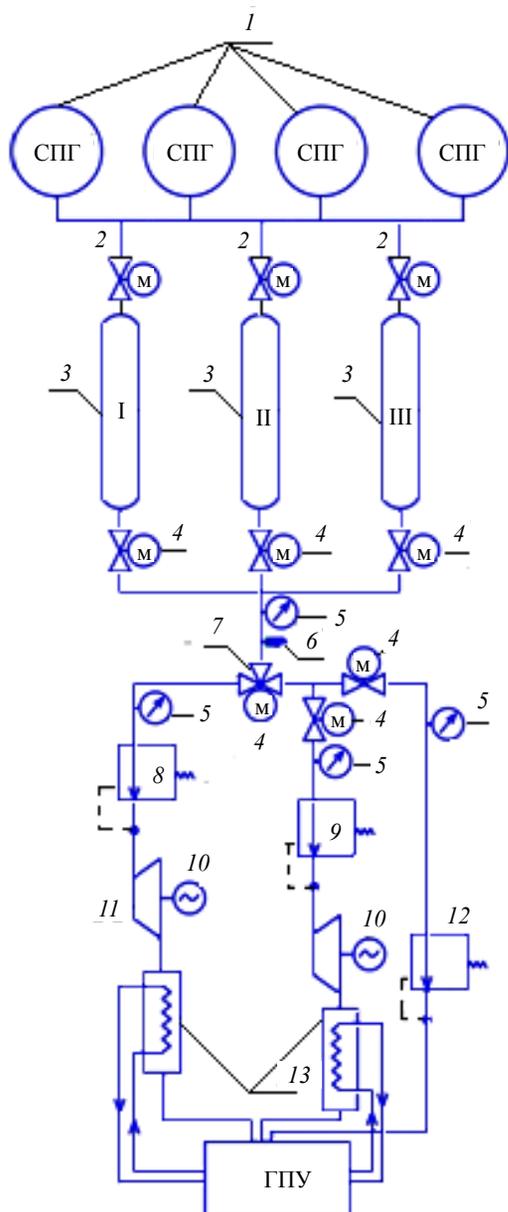


Рис. 11. Схема системы использования БКЗ в составе судовой силовой установки: 1 — бак с сжиженным газом (метан); 2 — задвижка; 3 — БКЗ; 4 — электромотор; 5 — манометр; 6 — датчик давления; 7 — трехходовой кран; 8 — кранредуктор на 2,9 МПа; 9 — редуктор на 2,1 МПа; 10 — электрогенератор; 11 — турбина; 12 — редуктор на 0,2 МПа; 13 — теплообменник

ние 0,5 МПа и оставшийся потенциал в БКЗ срабатывает во втором контуре проектируемой системы.

Суммарное количество произведенной энергии за один час составило около 750 кВт·ч, судно находится в пути 466,2 ч, тогда за все время следования можно использовать около 350 МВт·ч.

Как только давление в БКЗ становится равным давлению на редукторе (0,5 МПа), газ направляется в третью магистраль и используется в главной силовой установке. Схема такой системы представлена на рис. 11. Проведенная оценка технико-экономической эффективности использования БКЗ в составе судовой силовой установки показала, что срок окупаемости предлагаемой энергетической системы составит около 1,5–2 года.

На основе конструкции универсального газового баллона рассчитана система топливоподачи стенда для проведения испытаний газотурбинного двигателя. Для его работы необходимо обеспечить непрерывную подачу газа под давлением в 4,05 МПа в течение двух часов. Расход газа составляет 4000 кг/ч. Всего потребуются 8000 кг метана.

Принципиальная схема испытательной установки изображена на рис. 12.

Работа устройства осуществляется следующим образом.

После газификации в баллоне с сжиженным природным газом при открытом положении вентиля 2 газ поступает в первую систему подачи газа, проходя через редуктор 3, который поддерживает давление на входе в турбину 4 постоянным и равным p_1 . Проходя через турбину 4, газ понижает давление до уровня p_2 , совершая механическую работу, которая после преобразуется в электрическую энергию с помощью электрогенератора 5. За турбиной газ подогревается в теплообменнике 6 и подается в газотурбинную установку 7, которая вырабатывает электроэнергию с помощью электрогенератора 8.

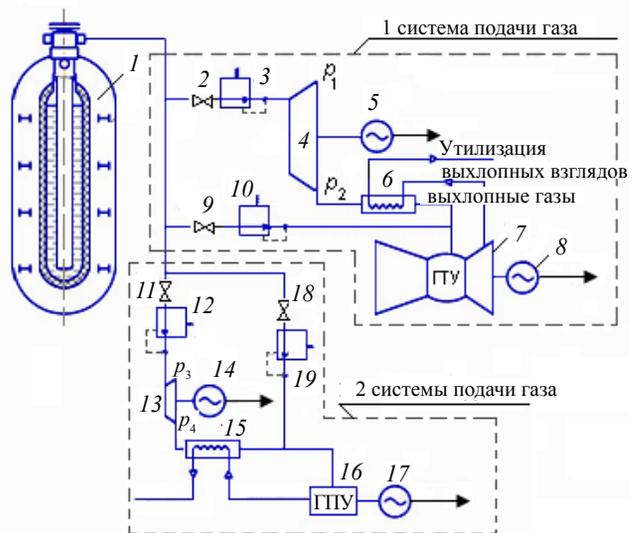


Рис. 12. Схема системы использования БКЗ в составе испытательного комплекса ГТУ: 1 — БКЗ; 2, 9, 11, 18 — задвижка; 3 — редуктор на 11,5 МПа; 4, 13 — турбина; 5 — электромотор; 6, 15 — теплообменник; 7 — газотурбинная установка; 8, 14, 17 — электрогенератор; 10 — редуктор на 4,26 МПа; 12 — редуктор на 1,35 МПа; 16 — газопоршневая установка; 19 — редуктор на 0,15 МПа

Когда давление в баллоне со сжиженным природным газом l становится равным давлению p_1 , закрывается вентиль 2 и открывается вентиль 9, и газ, проходя через редуктор 10, напрямую поступает в газотурбинную установку 7.

После достижения в баллоне l со сжиженным природным газом давления равного давлению p_2 , вентиль 9 закрывается и открывается вентиль 11, и газ поступает во вторую систему подачи газа, проходя через редуктор 12, который поддерживает давление на входе в турбину 13 постоянным и равным p_3 . Проходя через турбину 13, газ понижает давление до уровня p_4 , совершая механическую работу, которая преобразуется в электрическую энергию с помощью электрогенератора 45. За турбиной газ подогревается в теплообменнике 15 и подается в газопоршневую установку 16, которая вырабатывает электроэнергию с помощью электрогенератора 17. Когда давление в баллоне со сжиженным природным газом (СПГ) l становится равным давлению p_3 , закрывается вентиль 11 и открывается вентиль 18, и газ через редуктор 19, напрямую поступает в газопоршневую установку 16.

Таким образом, применение такого устройства позволяет получить дополнительную электрическую энергию, которую можно использовать для различных целей, в том числе для решения задач, возникающих при эксплуатации наземной ГТУ с использованием СПГ.

Расчеты системы по схеме (рис. 12) проводились с учетом того, что испытательный стенд должен проработать в течение двух часов с постоянным расходом газа $G_r = 4000$ кг/ч.

После того как давление в БКЗ станет равным 4,26 МПа газотурбинный двигатель не может обеспечиваться топливом из емкости. При этом в БКЗ останется около 2250 кг природного газа. Повторная заправка баллона сжиженным природным газом будет ослож-

нена из-за повышенного давления и потребует определенных энергетических затрат. Для решения этой проблемы и для получения дополнительной электроэнергии можно использовать газопоршневую установку (ГПУ). Давление на входе в ГПУ немногим выше атмосферного, а остаточное давление в баллоне p_6 составляет 4,26 МПа, что позволяет использовать этот перепад с помощью расширительной турбины.

Для расчета используется газопоршневая установка с номинальной мощностью 400 кВт и расходом газа $G_v = 100$ м³. Полученное суммарное количество дополнительной энергии представлено в табл. 2.

Для объективной оценки использования низкопотенциальной энергии СПГ в системах на основе БКЗ предлагается использовать следующие показатели:

$$\Omega_M = W_\Sigma / m, \text{ (кВт}\cdot\text{ч)/кг,}$$

где Ω_M — удельное количество дополнительной энергии; W_Σ — количество дополнительной энергии; m — масса газа в БКЗ.

$$\Omega_p = W_\Sigma / (p \cdot m), \text{ Дж/(кг}\cdot\text{атм),}$$

где Ω_p — удельный коэффициент количество дополнительной энергии с учетом давления газификации, p — давление газа в баллоне после газификации СПГ (атм).

Результаты сравнительного расчета сведены в табл. 3.

Таким образом, данные показатели позволяют объективно оценить потенциальные возможности получения дополнительной энергии при использовании криопродуктов с последующей их регазификацией в БКЗ с учетом эксплуатационных ограничений и потребного расхода рабочего тела. На основании выше изложенного [16] можно сделать вывод о перспективности предлагаемого технического решения и о возможности его применения в различных областях техники.

Таблица 2

Характеристики теплоотрицательного контура криогенного комплекса СПГ для испытательного комплекса газотурбинной установки (ГТУ)

Энергетическая установка	Номинальная мощность, кВт	Дополнительная мощность, кВт	Дополнительная мощность от номинальной, %	Дополнительная электроэнергия за год, МВт·ч
ГТУ	8300	247	3	2163,7
ГПУ	400	3,85	1	33,7

Таблица 3

Сравнительные характеристики различных энергетических комплексов на основе БКЗ

Энергетическая установка	Давление в БКЗ, МПа	Ω_M , (кВт·ч)/кг	Ω_p , Дж/(кг·атм)
БКЗ в составе судовой силовой установки	10	0,081	2851
БКЗ в составе испытательного комплекса ГТУ	20	0,049	882
БКЗ в составе энергетического комплекса СПГ	30	0,054	646

Список литературы

References

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 №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 околокритическими 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 заправкой 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 энергетики 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. Загорул'ченко В. А. Теплофизические свойства газобразного и жидкого метана/В. А. Загорул'ченко, 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.
16. Довгялло А. И., Сармин Д. В., Угланов Д. А., Цапкова А. Б. Использование баллона с криогенной заправкой в различных областях техники. // Вестник Международной академии холода. 2014. №3. С. 30–34.
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 thermodynamic 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 heat-negative 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: MG TU 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).
16. Dovgyallo A. I., Sarmin D. V., Uglanov D. A., Tsapkova A. B. Different applications of cylinders with cryogenic filling. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2014. No 3. p. 30–34. (in Russian).