

УДК 621.565

Выбор и расчет оптимального автономного криогенного двигателя для привода автомобильной рефрижераторной установки

А. А. ШИМАНОВ¹, канд. техн. наук Д. А. УГЛАНОВ², А. Б. ШИМАНОВА³,
С. В. ЗАЙКА⁴, Е. С. ШАТОХИН⁵

¹tema444st@mail.ru, ²dmitry.uglanov@mail.ru, ³a_tsapkova@mail.ru,

⁴zaikasv@yandex.ru, ⁵evgeniy_shatohin@mail.ru

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева
(Самарский университет)

Исследована возможность замещения традиционного углеводородного топлива, используемого в автомобильном двигателе внутреннего сгорания, на криогенные жидкости или криогенное рабочее тело. Применение криогенного рабочего тела делает такой автомобиль безопасным в эксплуатации. Проведены, сравнения расчетных циклов и рабочих процессов криогенных энергетических установок. Наиболее эффективной признана установка с криогенным баллоном и турбодетандером, имеющая оптимальные параметры: наименьший расход хладагента 0,024 кг/с, наибольшую удельную холодопроизводительность 444 кДж/кг и коэффициент возврата энергии 3,2%. Выявлено, что энергетическая установка, рассмотренная в данной статье, обеспечивает расширение жидкого азота или жидкого воздуха за счет тепловой энергии окружающей среды при газификации жидкого азота для производства мощности механической энергии, которая в последующем может быть использована для привода вспомогательных устройств автомобиля, таких как: электрогенератор и компрессор пароконденсационной холодильной машины или как основной двигатель автомобиля. Немаловажным аспектом применения криогенного рабочего тела вместо традиционного углеводородного топлива является нулевой выброс загрязняющих веществ в окружающую среду, что является актуальным для мегаполисов.

Ключевые слова: автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, криогенное рабочее тело, углеводородное топливо.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 13.03.2018, принята к печати 20.07.2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-3-37-44

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Шиманов А. А., Угланов Д. А., Шиманова А. Б., Зайка С. В., Шатохин Е. С. Выбор и расчет оптимального автономного криогенного двигателя для привода автомобильной рефрижераторной установки // Вестник Международной академии холода. 2018. № 3. С. 37–44.

Selection and calculation of optimal autonomous cryogenic engine to drive the car reefer unit

A. A. SHIMANOV¹, Ph. D. D. A. UGLANOV², A. B. SHIMANOVA³,
S. V. ZAIKA⁴, E. S. SHATOKHIN⁵

¹tema444st@mail.ru, ²dmitry.uglanov@mail.ru, ³a_tsapkova@mail.ru,

⁴zaikasv@yandex.ru, ⁵evgeniy_shatohin@mail.ru

Samara National Research University

The article presents a study of the possibility for replacing traditional hydrocarbon fuel used in the automotive internal combustion engine with cryogenic liquids or cryogenic working fluid. The use of cryogenic working fluid makes such a vehicle safe to operate. The comparison of calculated cycles and operating flows of cryogenic power plants is made. The plant with cryogenic balloon and turboexpander and the following optimum parameters — the smallest refrigerant consumption (0.024 kg/s), the highest specific refrigerating capacity (444 kJ/kg, and energy recovery coefficient of 3.2% — is proved to be the most effective. The power plant in question provides the expansion of liquid nitrogen or liquid air due to the thermal energy of the environment during gasification of liquid nitrogen for the production of mechanical energy power, which can later be used to drive auxiliary devices of the car such as: electric generator and compressor steam compression refrigeration machine or as the main engine of the car. Another important aspect of the using cryogenic working fluid instead of traditional hydrocarbon fuel is the zero emission of pollutants into the environment, which is very important for megacities.

Keywords: car, internal combustion engine, cryogenic working fluid, hydrocarbon fuel.

Article info:

Received 13/03/2018, accepted 20/07/2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-3-37-44

Article in Russian

For citation:Shimanov A. A., Uglanov D. A., Shimanova A. B., Zaika S. V., Shatokhin E. S. Selection and calculation of optimal autonomous cryogenic engine to drive the car reefer unit. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2018. No 3. p. 37–44.

Введение

С каждым годом растет мировой рынок производства грузовых и легковых автомобилей. Ежедневно большое количество фур перевозят различные грузы по всему миру, логистика между странами стремительно развивается, требуя увеличения количества грузовых автомобилей для ее осуществления.

Основную долю рынка занимают автомобили с двигателями внутреннего сгорания, использующие углеводородное топливо. Стоимость на данные продукты ежегодно увеличивается, что негативно сказывается на достатке населения и стоимости грузоперевозок. Рост потребления энергоресурсов и стремительный рост автомобилей с ДВС истощает невозобновляемые природные нефте- и газоресурсы, приводит к интенсивному сжиганию атмосферного кислорода. Также последние исследования показали, что производство экологически безопасных компонентов топлив и смазочных материалов требует огромных экономических затрат и внедрение более совершенных технологий [1, 2, 3]. Процессы, происходящие при сжигании топлива, порождают серьезные проблемы в области экологии и выбросов вредных веществ в атмосферу. Большая концентрация углекислого газа в атмосфере является барьером для теплового излучения Солнцем поверхности Земли, что приводит к «парниковому эффекту». В результате этого, температура на планете повышается, что приводит к таянию ледников, а в дальнейшем к глобальному потеплению и, помимо этого, наносится непоправимый вред здоровью человека. Поэтому существует острая необходимость в разработке энергетических установок технологического цикла с применением экологически чистого двигателя (ЭЧД) на возобновляемом природном источнике.

Одним из перспективных типов экологически чистого двигателя является двигатель на криогенном топливе. Подобные двигатели имеют более высокие энергетические показатели и меньшую стоимость по сравнению с электромобилями, а их эксплуатационные расходы сопоставимы с традиционными автомобилями с ДВС при учете экологического аспекта. Цель данной работы представляет собой выбор и расчет циклов и рабочих процессов оптимального автономного криогенного двигателя для привода автомобильной рефрижераторной установки.

Современное состояние двигателей на криогенном топливе

В Англии производственная компания Dearman уже приступила к серийному производству двигателя на криогенном рабочем теле [4, 5].

Особенностью представленной энергетической установки является новый поршневой двигатель, который обеспечивает расширение жидкого азота (LiN) или жидкого воздуха для производства мощности механической энергии привода электрогенератора.

Данная разработка представляет собой поршень с приводом от двигателя, работающий за счет расширения жидкого азота или жидкого воздуха, для производства чистого холода и мощности. Жидкий азот расширяется 710 раз, и это расширение используется для привода поршня двигателя. Данный двигатель работает как паровой двигатель высокого давления, но и низкая температура кипения означает, что тепло окружающей среды может быть использовано в качестве источника тепла, устраняя необходимость в традиционном углеводородном топливе. Уникальной особенностью такой модели криодвигателя является использование теплообмена жидкости, которая при смешивании с жидким азотом порождает квазиизотермическое расширение, значительно увеличивает коэффициент полезного действия [6].

Двигатель компании Dearman работает следующим образом.

Горячий теплоноситель (этиленгликоль) подается в цилиндр, затем в цилиндр вводится жидкий азот, который вступает в взаимодействие с высокотемпературной жидкостью, и за счет этого он начинает расширяться.

Тепло от теплоносителя поглощается расширяющимся газом, в результате чего происходит изотермическое расширение. Поршень вынужденно опускается вниз, выпускной клапан открывается, и смесь газа и горячего теплоносителя удаляется из двигателя. Затем, горячий теплоноситель отделяется из смеси в сепараторе и возвращается в резервуар, в то время как азот или воздух выводится в атмосферу.

В работе [7] представлена силовая установка (СУ), работающая на жидком азоте (LN₂), предназначенная для преобразования тепловой энергии окружающей среды при газификации жидкого азота в механическую энергию, которая может быть использована, в частности, для приведения в движение криогенного автомобиля (рис. 1).

Данная установка имеет существенные преимущества:

- полная экологическая чистота;
- недорогая технология производства и обслуживания СУ;
- эффективный КПД может достигать 50÷60%, что значительно превышает максимальный КПД двигателей внутреннего сгорания;
- пожаробезопасность;
- доступность и относительно низкая стоимость рабочего тела (жидкий азот).

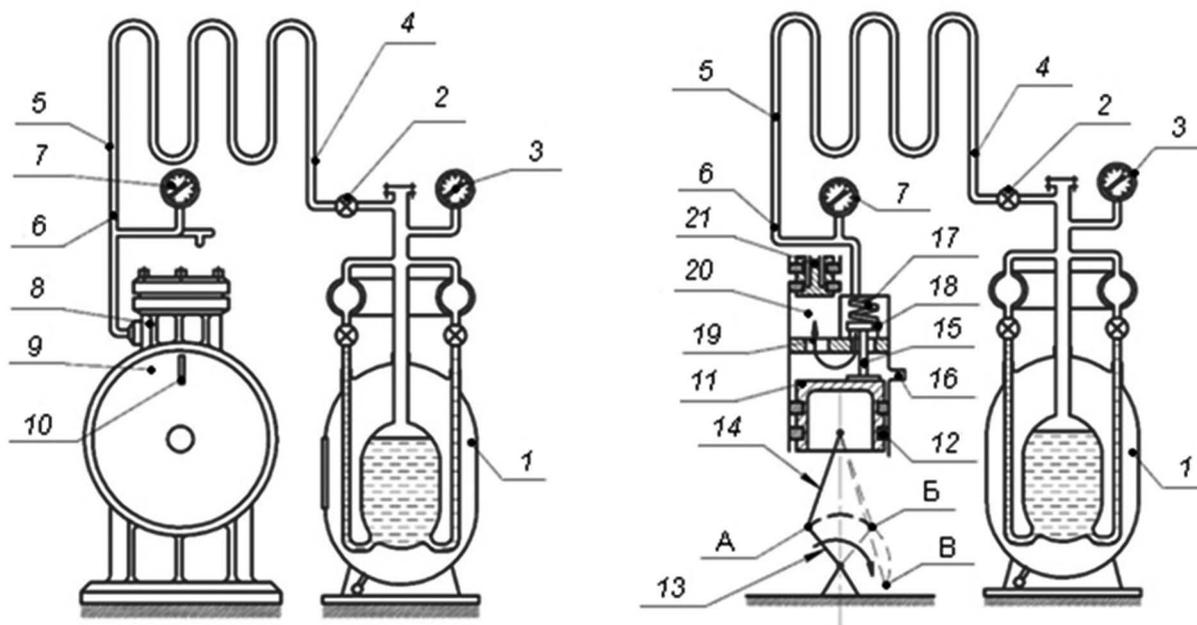


Рис. 1. Схема силовой установки: 1 — сосуд Дьюара; 2 — вентиль; 3, 7 — манометры; 4, 6 — трубопровод; 5 — газификатор; 8 — впускная полость; 9 — маховик; 10 — датчик положения коленвала; 11 — поршень; 12 — уплотнительное кольцо; 13 — коленчатый вал; 14 — шатун; 15 — толкатель; 16 — выпускное отверстие; 17 — ресивер; 18 — клапан; 19 — перепускное отверстие; 20 — впускная полость, 21 — поршень регулировки объема

Fig. 1. The scheme of power plant: 1 — Dewar vessel; 2 — valve; 3, 7 — manometers; 4, 6 — pipes; 5 — gasifier; 8 — inlet chamber; 9 — flywheel; 10 — crankshaft position sensor; 11 — piston; 12 — casing ring; 13 — crankshaft; 14 — rod; 15 — pusher; 16 — outlet; 17 — receiver; 18 — valve; 19 — overflow hole; 20 — inlet chamber; 21 — pressure adjust piston

Основным недостатком подобных установок является недостаточно эффективное использование низкотемпературного потенциала криопродукта.

Таким образом, в задачу данного исследования входит изучение комбинированного использования хладагента по прямому назначению (охлаждение), а также в качестве рабочего тела в расширительных машинах для получения механической энергии на валу.

Использование криогенных двигателей в качестве привода различных технических устройств

Одной из перспективных областей использования подобной технологии, обеспечивающей высокую энергетическую эффективность с нулевым уровнем выбросов вредных веществ, является хранение и перевозка продуктов питания в автомобильных рефрижераторах. Принцип работы данной системы заключается в следующем:

- азот хранится в криогенном сосуде в жидком состоянии;

- затем азот подается в теплообменник, где он обеспечивает охлаждение рефрижераторной камеры. В этом устройстве поглощается две трети тепла необходимого для хранения продуктов;

- далее азот подается в двигатель, где после теплового взаимодействия с горячим теплоносителем расширяется, производя механическую энергию на вал. Энергия горения расширения преобразуется в электрическую, которая используется для работы вспомогательных систем (питательные насосы, генератор переменного тока

и вентиляторы для циркуляции воздуха), а также для привода компрессора парокомпрессионной холодильной машины (ПКХМ), который обеспечивает дополнительное охлаждение продуктов питания;

- горячий теплоноситель отделяется от смеси и подается в контур охлаждения конденсатора ПКХМ;

- после нагрева теплоноситель повторно используется при работе двигателя. В атмосферу выбрасывается только пары азота. Таким образом, значительно сокращаются выбросы NOx и выбросы сажи автомобильной рефрижераторной установки.

Был произведен расчет потребной холодопроизводительности рефрижераторной установки на базе автомобиля КамАЗ-65117, характеристики которого представлены в табл. 1.

В расчетах учитываются следующие теплопритоки:

- от ограждающих конструкций $Q_{ст}$;
- от продуктов при их холодильной $Q_{пр}$ обработке;
- от тары $Q_{т}$.

Тогда теплопритоки в рефрижераторный контейнер будут определяться по формуле:

$$Q_{п} = Q_{ст} + Q_{пр} + Q_{т}$$

В результате расчета, в соответствии с методикой, описанной в работе [8], и коэффициентом запаса, полученная величина составляет 10 кВт.

Выбор оптимального криогенного двигателя

Для обеспечения заданной холодопроизводительности были рассчитаны криогенные энергетические уста-

Таблица 1
**Технические характеристики рефрижератора
на шасси КамАЗ-65117**

Table 1
**Technical characteristics of KamAZ-65117-chassis
mounted refrigerator**

Объем фургона, м. куб.	49
Габариты фургона, мм (Д×Ш×В)	7900×2540×2500
Грузоподъемность, т	14
Тип двигателя	КамАЗ 740, дизельный с турбонаддувом
Мощность двигателя, л. с.	280
Объем двигателя, л	10,85
Расход топлива, л/100 км	30–37

новки трех типов: с поршневым детандером, турбодетандером с криогенным баллоном, универсальным газовым баллоном [9] и турбодетандером.

Схема установки с поршневым детандером представлена на рис. 2.

Обычно в автомобильных рефрижераторах энергия на привод компрессора холодильной установки отбирается от ДВС. В представленной схеме, криогенная жидкость из баллона 1, при помощи насоса 9, поступает в теплообменник 7. Удельная работа (подогрев однофазного потока, полнота фазового перехода) и расход жидкости, определяют холодопроизводительность предлагаемой энергетической установки. Хладагент в однофазной или двухфазной форме, поступает в поршневой детандер 2, где за счет теплопритоков через стенки цилиндра и поршня, а также впрыска горячего теплоносителя (при температуре окружающей среды) происходит политропный процесс расширения ($1 \leq n \leq k$). Работа, получаемая в детандере, используется для привода компрессора 3 пароконденционной холодильной установки (ПКХУ) (получение дополнительной холодопроизводительности) и электрогенератора 4. В ПКХУ также входит: испаритель 8, конденсатор 5, дроссельный вентиль 10. В данной схеме решается задача снижения выбросов веществ за счет использования криогенной жидкости. В первом приближении принимаем: $P_{\text{бал}} = 1,1$ бар; $T_{\text{бал}} = 80$ К. В цилиндр поступает поток однофазной жидкости. При таких входных параметрах, из-за низкой удельной работы, на участке подогрева жидкости, в теплообменном аппарате 7 нет необходимости, следовательно, требуемую холодопроизводительность получают с помощью на ПКХУ. Рабочий цикл пароконденционной холодильной установки представлен на рис. 3. Участки рабочего цикла, обозначенные на графике:

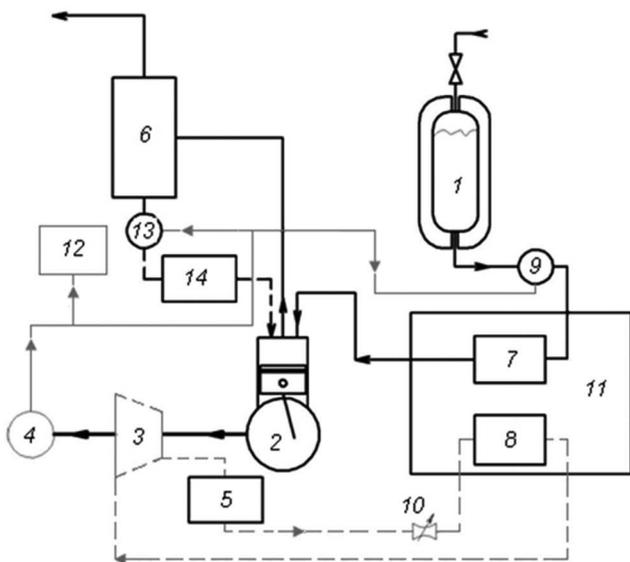


Рис. 2. Схема установки с поршневым детандером: 1 — баллон с криогенной заправкой; 2 — поршневой детандер с впрыском этиленгликоля; 3 — компрессор; 4 — электрогенератор; 5 — конденсатор хладагента; 6 — сепаратор этиленгликоля; 7 — теплообменник криогенного рабочего тела; 8 — испаритель хладагента; 9 — криогенный насос; 10 — дроссель хладагента; 11 — холодильная камера; 12 — блок литий ионных батарей; 13 — насос; 14 — теплообменник

Fig. 2. The scheme of the plant with piston expansion engine: 1 — balloon with cryogenic refueling; 2 — piston expansion engine with ethyleneglycol injection; 3 — compressor; 4 — electric generator; 5 — refrigerant condenser; 6 — separator; 7 — cryogenic fluid heat exchanger; 8 — refrigerant evaporator; 9 — cryogenic pump; 10 — refrigerant throttle; 11 — refrigerating chamber; 12 — lithium-ion battery; 13 — pump; 14 — heat exchanger

плообменник 7. Удельная работа (подогрев однофазного потока, полнота фазового перехода) и расход жидкости, определяют холодопроизводительность предлагаемой энергетической установки. Хладагент в однофазной или двухфазной форме, поступает в поршневой детандер 2, где за счет теплопритоков через стенки цилиндра и поршня, а также впрыска горячего теплоносителя (при температуре окружающей среды) происходит политропный процесс расширения ($1 \leq n \leq k$). Работа, получаемая в детандере, используется для привода компрессора 3 пароконденционной холодильной установки (ПКХУ) (получение дополнительной холодопроизводительности) и электрогенератора 4. В ПКХУ также входит: испаритель 8, конденсатор 5, дроссельный вентиль 10. В данной схеме решается задача снижения выбросов веществ за счет использования криогенной жидкости. В первом приближении принимаем: $P_{\text{бал}} = 1,1$ бар; $T_{\text{бал}} = 80$ К. В цилиндр поступает поток однофазной жидкости. При таких входных параметрах, из-за низкой удельной работы, на участке подогрева жидкости, в теплообменном аппарате 7 нет необходимости, следовательно, требуемую холодопроизводительность получают с помощью на ПКХУ. Рабочий цикл пароконденционной холодильной установки представлен на рис. 3. Участки рабочего цикла, обозначенные на графике:

- 0-1 — перегрев паров хладагента;
- 1-2s — идеальное сжатие паров хладагента в компрессоре;
- 1-2 — реальное сжатие паров хладагента в компрессоре;
- 2-3 — охлаждение паров хладагента до температуры конденсации;
- 3-4 — конденсация паров хладагента;
- 4-5 — охлаждение жидкого хладагента до температуры дросселирования;
- 5-6 — дросселирование;
- 6-0 — кипение жидкого хладагента.

Расчеты проводились по алгоритму, представленному на рис. 4.

Схема энергетической установки с криогенным баллоном и турбодетандером показана на рис. 5. Работает

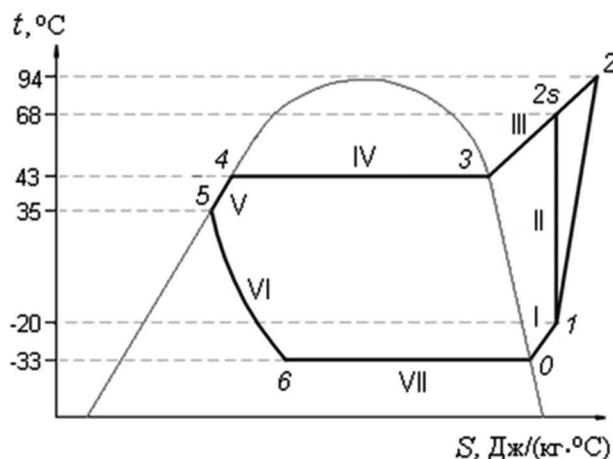


Рис. 3. Рабочий цикл пароконденционной холодильной установки

Fig. 3. Operating flow of vapor-compression refrigeration plant



Рис. 4. Алгоритм расчета криогенного двигателя
 Fig. 4. The algorithm for cryogenic engine calculation

установка следующим образом: криогенная жидкость из баллона 1, при помощи насоса 7, поступает в теплообменник 4, где происходит кипение. Удельная работа (теплота парообразования, подогрев однофазного потока) и расход жидкости, определяют холодопроизводительность предлагаемой энергетической установки. Хладагент в виде пара поступает в турбодетандер 2, полученная работа через привод идет на электрогенератор 3, поток, расширившись в межлопаточном канале, захлаживается, что позволяет повторно использовать пар в теплообменнике 5.

Цикл работы установки № 3 с криогенным баллоном и турбодетандером представлена на рис. 6. Участки рабочего цикла, обозначенные на графике:

- 0-1 — подогрев криогенной жидкости до температуры кипения;
- 1-2 — кипение криогенной жидкости;
- 2-3 — перегрев паров криогенного рабочего тела;
- 3-4s — идеальная работа турбодетандера;
- 3-4 — реальная работа турбодетандера;
- 4-5 — повторный перегрев паров криогенного рабочего тела.

Схема установки с универсальным газовым баллоном и турбодетандером представлена на рис. 7.

Газообразный криоагент из баллона 1, поступает в теплообменник 4. Удельная работа (подогрев однофазного потока) и расход газа, определяют холодопроизводительность предлагаемой энергетической установки. Хладагент в виде пара поступает в турбодетандер 2, полученная работа через привод идет на электрогенератор 3, поток, расширившись в межлопаточном канале захлаживается, что позволяет повторно использовать пар в теплообменнике 5.

Цикл работы установки с криогенным баллоном и турбодетандером показана на рис. 8. Участки рабочего цикла, обозначенные на графике:

- 1-2 — перегрев паров криогенного рабочего тела;

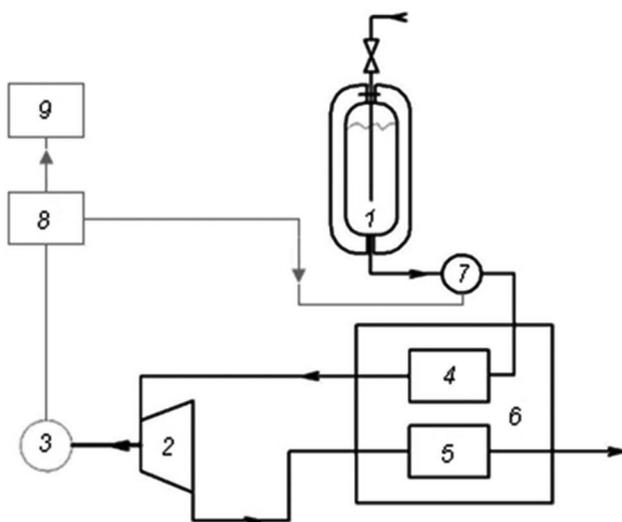


Рис. 5. Схема установки с криогенным баллоном и турбодетандером: 1 — баллон с криогенной заправкой; 2 — турбодетандер; 3 — электрогенератор; 4 — теплообменник криогенного рабочего тела; 5 — теплообменник криогенного рабочего тела; 6 — холодильная камера; 7 — криогенный насос; 8 — преобразователь частоты; 9 — блок литий ионных батарей

Fig. 5. The scheme of the plant with cryogenic balloon and turboexpander: 1 — balloon with cryogenic refueling; 2 — turboexpander; 3 — electric generator; 4 — cryogenic fluid heat exchanger; 5 — cryogenic fluid heat exchange; 6 — refrigerating chamber; 7 — cryogenic pump; 8 — frequency converter; 9 — lithium-ion battery

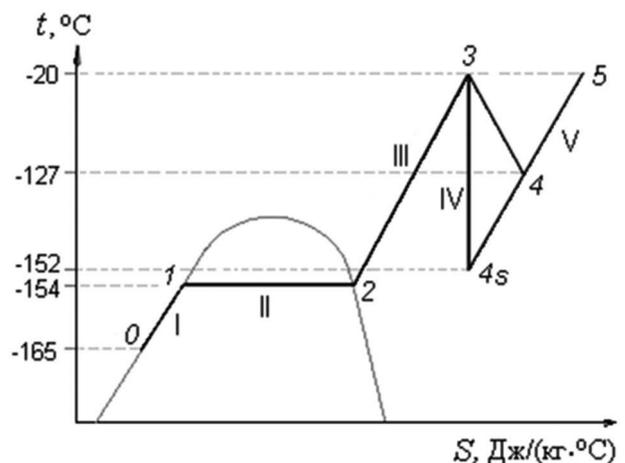


Рис. 6. Рабочий процесс энергетической установки с криогенным баллоном и турбодетандером

Fig. 6. Operating flow of the plant with universal gas-balloon and turboexpander

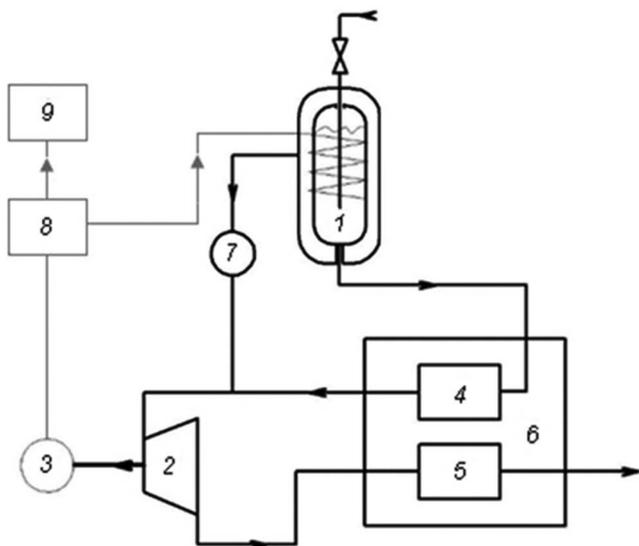


Рис. 7. Схема установки с универсальным газовым баллоном и турбодетандером: 1 — универсальный газовый баллон; 2 — турбодетандер; 3 — электрогенератор; 4 — теплообменник криогенного рабочего тела; 5 — теплообменник криогенного рабочего тела; 6 — термокамера; 7 — газовый редуктор; 8 — преобразователь частоты; 9 — блок литий ионных батарей

Fig. 7. The scheme of the plant with universal gas-balloon and turboexpander: 1 — universal gas-balloon; 2 — turboexpander; 3 — electric generator; 4 — cryogenic fluid heat exchanger; 5 — cryogenic fluid heat exchanger; 6 — thermal chamber; 7 — gas pressure regulator; 8 — frequency converter; 9 — lithium-ion battery

— 2-3s — идеальная работа турбодетандера;

— 2-3 — реальная работа турбодетандера;

— 3-4 — повторный перегрев паров криогенного рабочего тела.

Эффективность работы криогенного двигателя оценивалась при помощи коэффициента возврата энергии k [10].

Коэффициент возврата энергии находится как отношение дополнительной энергии к энергии, ранее затраченной на ожижение криопродукта.

$$k_b = \frac{N}{W_{\text{ож}}},$$

где N — величина дополнительной энергии, которая может быть получена при регазификации криопродукта;

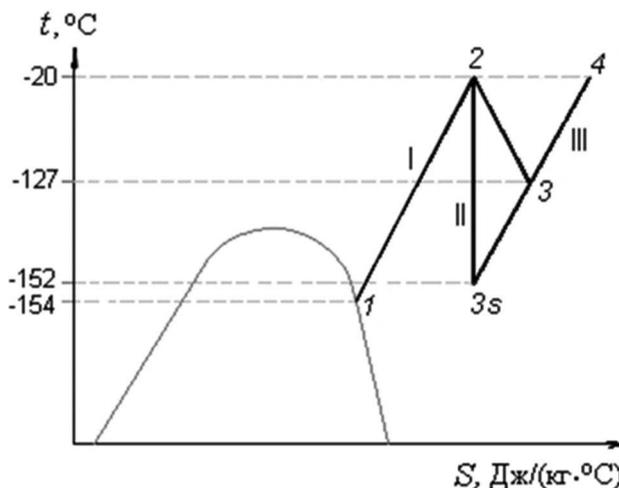


Рис. 8. Рабочий процесс установки с криогенным газовым баллоном и турбодетандером

Fig. 8. Operating flow of the plant with cryogenic-balloon and turboexpander

$W_{\text{ож}}$ — энергия, затраченная ранее на ожижение криопродукта.

Результаты расчета холодильных установок представлены в табл. 2.

Заключение

В статье произведен расчет и сравнительный анализ применения и использования различных технологических систем и устройств, позволяющих использовать хладагенты по прямому назначению для охлаждения, и в качестве рабочего тела в расширительных машинах для получения механической энергии на валу, а также возврату части ранее затраченной энергии на его ожижение. В результате проведенного исследования:

1. Разработаны три схемы автомобильных криогенных двигателей для привода рефрижераторной установки.

2. Проведена оценка энергетической эффективности данных систем.

3. Проведены, сравнения расчетных циклов и рабочих процессов установок, расширительных машин. Наиболее эффективной является установка с криогенным баллоном и турбодетандером, имеющая оптимальные параметры: наименьший расход хладагента 0,024 кг/с, наибольшую удельную холодопроизводительность 444 кДж/кг и коэффициент возврата энергии 3,2%.

Таблица 2

Параметры рассчитываемых установок для холодопроизводительности 10 кВт

Table 2

The parameters of the power plants under investigation for refrigerating capacity of 10 kWt

Вид установки	Расход хладагента, кг/с	Удельная холодопроизводительность, кДж/кг	Дополнительная мощность, кВт	Удельная работа на детандере, кДж/кг	Запас криопродукта на 8 ч, кг	Коэффициент возврата энергии k , %
С поршневым детандером	0,083	142	7,5	97	2400	2,5
С криогенным баллоном	0,024	444	2,8	118	691	3,2
С универсальным газовым баллоном.	0,034	292	4	118	979	3,3

Данная установка является наиболее надежной, так как имеет наименьшее количество элементов по сравнению с другими системами, а также менее затратной в производстве, следовательно, применение данной системы экономически целесообразно на рефрижераторных установках.

В перспективе, данную систему можно рассматривать на терминалах хранения сжиженных хладагентов или сжиженных природных газов при регазификации и дальнейшего использования.

Литература

1. Акулов Л. А., Зайцев А. В. Перспективы утилизации холода сжиженного природного газа при малотоннажной регазификации // Вестник Международной академии холода. 2013, № 2. С. 29–31.
2. Кириченко В. И., Бойченко С. В., Кириченко В. В. Химмотологические аспекты получения экологически безопасных компонентов топлив и смазочных материалов из возобновляемого сырья. // Технологии нефти и газа. 2014. № 5. с. 16–23.
3. Зайцев А. В. Криогеника в начале XXI века // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2014. № 1. с. 1–3.
4. The Dearman Engine. [Электронный ресурс]: <http://dearman.co.uk/dearman-technologies/dearman-engine/>
5. Transport Refrigeration. [Электронный ресурс]: <https://www.hubbard.co.uk/transport-refrigeration/>
6. Двигатель Dearman на жидком азоте. // Холодильная индустрия. [Электронный ресурс]: <https://holodcatalog.ru/entsiklopedii/promyshlennoe-oborudovanie/dvigatel-dearman-na-zhidkom-azote/>
7. Бондаренко С. И., Кудрявцев И. Н., Левин А. Я., Левченко Н. М., Муринец-Маркевич Б. Н., Пятак А. И. Разработка криогенной силовой установки для экологически чистого автомобиля. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. 2004. № 14. С. 152–157.
8. Чумак И. Г., Никольшина Д. Г. Холодильные установки. Конструирование. — Москва: Высшая школа, 1988. 280 с.
9. Blagin E. V., Dovgyallo A. I., Nekrasova S. O. Estimation of the energy efficiency of cryogenic filled tank use in different systems and devices // Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 101. Pp. 537–544.
10. Blagin E. V., Uglanov D. A., Dovgyallo A. I. About LNG Energy Utilization Efficiency Estimation // Procedia Engineering. 2016. Vol. 152. Pp. 209–218.

Сведения об авторах

Шиманов Артем Андреевич

аспирант, старший преподаватель кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева», 443086, г. Самара, Московское ш., 34, tema444st@mail.ru.

Угланов Дмитрий Александрович

к. т. н., доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева», 443086, г. Самара, Московское ш., 34, dmitry.uglanov@mail.ru.

Шиманова Александра Борисовна

аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева», 443086, г. Самара, Московское ш., 34, a_tsapkova@mail.ru.

References

1. Akulov L. A., Zaitsev A. V. Prospects of utilization of the cold of liquefied natural gas in light-duty regasification. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2013. No 2. P. 29–31. (in Russian)
2. Kirichenko V. I., Boichenko S. V., Kirichenko V. V. Chemical aspects of obtaining environmentally friendly components of fuels and lubricants from renewable raw materials. *Tekhnologiya nefiti i gaza*. 2014. No 5. P. 16–23. (in Russian)
3. Zaitsev A. V. Cryogenics at the beginning of XXI century. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya. Kholodilnaia tekhnika i konditsionirovanie*. 2014. No 1. P. 1–3. (in Russian)
4. The Dearman Engine. [Electronic resource]: <http://dearman.co.uk/dearman-technologies/dearman-engine/>
5. Transport Refrigeration. [Electronic resource]: <https://www.hubbard.co.uk/transport-refrigeration/>
6. Dearman engine on liquid nitrogen. *Refrigeration industry*. [Electronic resource]: <https://holodcatalog.ru/entsiklopedii/promyshlennoe-oborudovanie/dvigatel-dearman-na-zhidkom-azote/> (in Russian)
7. Bondarenko S. I., Kudryavtsev I. N., Lewin A. Y., Levchenko N. M., Murinets-Markevich B. N., Pyatak A. I. Development of cryogenic propulsion systems for environmentally friendly car. *Questions of atomic science and technology. Series: Vacuum, pure materials, superconductors*. 2004. No. 14. P. 152–157. (in Russian)
8. Chumak I. G., Nikulshina, D. G. Refrigeration units. Design. Moscow: Higher school, 1988. 280 p. (in Russian)
9. Blagin E. V., Dovgyallo A. I., Nekrasova S. O. Estimation of the energy efficiency of cryogenic filled tank use in different systems and devices. *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 101. Pp. 537–544.
10. Blagin E. V., Uglanov D. A., Dovgyallo A. I. About LNG Energy Utilization Efficiency Estimation. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 152. Pp. 209–218.

Information about authors

Shimanov Artem Andreevich

post-graduate student, senior lecturer of the Department of heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia, tema444st@mail.ru.

Uglanov Dmitry Alexandrovich

Ph. D., associate Professor, of the Department of heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia, dmitry.uglanov@mail.ru.

Shimanova Alexandra Borisovna

post-graduate student, of the Department of heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia, a_tsapkova@mail.ru.

Заика Сергей Вячеславович

аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева», 443086, г. Самара, Московское ш., 34, zaikasv@yandex.ru.

Шатохин Евгений Сергеевич

аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева», 443086, г. Самара, Московское ш., 34, evgeniy_shatohin@mail.ru.

Zaika Sergey Vyacheslavovich

postgraduate student of the Department of heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia, zaikasv@yandex.ru.

Shatokhin Evgeniy Sergeevich

postgraduate student of the Department of heat engineering and thermal engines of the Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia, evgeniy_shatohin@mail.ru.

Требования к рукописям, представляемым в журнал «Вестник МАХ»

- В начале статьи, слева – УДК;
- После названия статьи – авторы с указанием места работы и контактной информации (e-mail);
- Аннотация должна содержать от 150 до 200 слов. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Ключевые слова – 5-7.

- **СТАТЬЯ ДОЛЖНА БЫТЬ СТРУКТУРИРОВАНА:**

Во введении необходимо представить содержательную постановку рассматриваемого вопроса, провести краткий анализ известных из научной литературы решений (со ссылками на источники), дать критику их недостатков, показать научную новизну и преимущество (особенности) предлагаемого подхода.

В основном тексте статьи должна быть представлена строгая постановка решаемой задачи, изложены и обстоятельно разъяснены (доказаны) полученные утверждения и выводы, приведены результаты экспериментальных исследований или математического моделирования, иллюстрирующие сделанные утверждения.

В заключении (Выводы) необходимо кратко сформулировать основные результаты, прокомментировать их и, если возможно, указать направления дальнейших исследований и области применения.

- статьи представляются набранными на компьютере в текстовом редакторе Word 97-2007 на одной стороне листа через 1,5 интервала, размер шрифта 14.
- объем статьи 15–20 страниц (формат А4, вертикальный, 210x297 мм), включая аннотацию, рисунки, литературу; поля: левое – 2 см, правое – 2 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2 см;
- формулы и отдельные символы набираются с использованием редактора формул MathType (Microsoft Equation), **не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab.**
- Список литературных источников должен быть оформлен по ГОСТу и содержать ссылки только на опубликованные работы. Самоцитирование не более 25%, список литературы должен содержать источники не старше 5 лет и включать в себя зарубежные публикации по данной тематике. Номера ссылок в тексте должны идти строго по порядку их цитирования и заключаться в квадратные скобки. Количество пристатейных ссылок не менее 15-20.

Статьи, оформленные с нарушением правил, редакцией не принимаются и возвращаются авторам без рассмотрения по существу. Автор гарантирует отсутствие плагиата и иных форм неправомерного заимствования результатов других произведений.

Данные об аффилировании авторов (author affiliation).

На отдельной странице предоставляются сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), должности основного места работы (учебы); наименование и почтовые адреса учреждений, в которых работают авторы, e-mail.

Статьи принимаются на магнитном носителе и в печатном экземпляре или высылаются на электронный адрес редакции vestnikmax@rambler.ru

Плата за публикации не взимается
Дополнительная информация для авторов на сайте <http://vestnikmax.com>