

УДК 62–623.1, 62–68, 661.91–404, 665.6/.7

## Эксергетический анализ способов регазификации СПГ

А. Г. ФАЛЬМАН<sup>1</sup>, Д. Э. АГЕЙСКИЙ<sup>2</sup><sup>1</sup>falmalex@mail.ru, <sup>2</sup>ageiskiyd@gmail.com

ООО «Криогазтех»,

199106, Санкт-Петербург, 26 линия В. О., 15, корп. 2 лит. А

Статья посвящена результатам проведенного эксергетического анализа характеристик различных установок регазификации СПГ, как стандартных, так и с когенерацией побочных продуктов. Различным способам утилизации холода регазифицируемых криопродуктов (в частности, СПГ) уделяется все больше внимание, однако данные о характеристиках энергетической эффективности таких установок, как и сравнения этих показателей для различных способов регазификации, в научной литературе крайне ограничены. Рассмотрено применение методов эксергетического анализа к ряду моделей таких установок (в частности, с циклами Ренкина и/или Брайтона или совмещенных с газо/ или воздухоразделением). Результаты анализа позволяют выделить наиболее перспективные по тем или иным показателям (эксергетическому КПД, удельным затратам топлива и др.) способы. Применение цикла Брайтона позволяет поднять эксергетическую эффективность регазификации до 51%, что почти на 4,5% выше, чем для органического цикла Ренкина (с фтороформом). Однако удельные затраты топлива также возрастают, т. к. энергия его сгорания тратится на нагрев рабочего вещества для выработки большего количества энергии. Удельные дополнительные затраты энергии уменьшились, по сравнению с вариантом со змеевиком, почти на 20 кВт·ч/т. Это применимо для малых регазификационных установок. Для крупных объектов регазификации наиболее целесообразными представляются способы совмещения регазификации с фракционированием СПГ (IRP) или с воздухоразделением.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ (СПГ), регазификация, цикл Ренкина, цикл Брайтона, ВРУ, эксергетический анализ, энергоэффективность.

## Exergetic analysis of LNG regasification techniques

A. G. FALMAN<sup>1</sup>, D. E. AGEYSKY<sup>2</sup><sup>1</sup>falmalex@mail.ru, <sup>2</sup>ageiskiyd@gmail.com

LLC «Kriogazteh»

199106, Russia, St. Petersburg, 26th line VO, 15

LNG regasification facilities are abundant in natural gas consuming countries. Energy efficiency enhancement of these facilities is a crucial task. Most of the previously built facilities do not use cold of LNG for by-production, whereas there are several modern techniques allowing energy and some other by-products to be produced along with regasification. The article estimates energy efficiency characteristics of several regasification techniques. Models describing regasification systems using Rankine and/or Brayton cycles, air and gas separation are studied. Regasification systems are compared by such energy efficiency characteristics as exergy efficiency, specific lost work, specific fuel consumption, overall energy efficiency etc. The use of Brayton cycle allows increasing exergetic efficiency of regasification to 51% that is almost by 4.5% more than for organic Rankin cycle (with fluoroform). Specific fuel consumption increases also as its combustion energy goes for working medium heating to produce more energy. Specific additional energy consumption reduces by 20 kW h/t compared with the use of coil. That makes it applicable for small regasification units. However, for big regasification facilities combination of regasification with c LNG fractionation or air separation seems to be the most useful.

**Keywords:** liquid natural gas (LNG), regasification, Rankine cycle, Brayton cycle, air separation, exergy analysis, energy efficiency.

### Перспективы регазификации СПГ

Рынок сжиженного природного газа (СПГ) бурно развивается. По некоторым оценкам [1–4], на данный момент в мире производится около 250 млн. т СПГ в год. С эксергетической точки зрения СПГ содержит значительный потенциал, который можно преобразовать в полезную работу. Так, описываемые в статье методы могут позволить, при регазификации данного количества СПГ, получить в качестве побочных продуктов 58 тыс. ГВт·ч электроэнергии (для сравнения годовое энергопотребление Нью-Йорка с пригородами в 2010 г. — 60

тыс. ГВт·ч [5] или 28 млн. т жидкого азота с 14 млн. т жидкого кислорода).

Целью данной работы явилось сравнение характеристик энергоэффективности различных способов модернизации установок регазификации СПГ. Для сравнения этих характеристик применялись методы эксергетического анализа системы, которым посвящено множество как зарубежных [6], так и отечественных [7] работ. При проведении эксергетического анализа той или иной системы, в большинстве случаев, все потоки (материальные и энергетические) могут быть сведены к рабочим

эквивалентам — величинам, отражающим ту полезную работу, которую может совершить поток вещества или энергии, переходя в равновесие с окружающей средой.

Характеристикой также является  $\Delta W$ , также называемая иногда «потерями полезной работы» — характеристика вклада необратимости в несовершенство процесса. Для полностью обратимых процессов величина дополнительных затрат энергии равна нулю. При модернизации процессов следует стремиться к уменьшению величины дополнительных затрат энергии. В некоторых случаях более показательной является  $\Delta W$ , отнесенная к массе продуктов.

С эксергетической точки зрения, СПГ содержит значительный потенциал, который можно преобразовать в полезную работу. Изменение эксергии в процессе рассчитывается как разница между значениями эксергий компонентов системы для начального и конечного состояний:

$$\Delta Ex^{RG} = (H_{LNG} - T_{oc} S_{LNG}) - (H_{NG} - T_{oc} S_{NG}).$$

Эта величина для регазификации составляет 250 кДж/кг или 0,07 кВт·ч/кг (~70 кВт·ч/т).

Для крупных промышленных установок с их расходами, выгода от такой полезной работы может быть велика. Однако, в случае СПГ, регазификация происходит при низких температурах, поэтому обычные для теплоэнергетики теплоагенты не подходят для отвода теплоты и ее использования при генерации электроэнергии.

### Способы регазификации

Для наиболее высокопроизводительных комплексов регазификации применяются установки, осуществляющие подвод необходимой теплоты к СПГ от окружающей среды [8–10] или от сжигания самого газа [11]. К последним относятся так называемые погружные подогреватели [12], в которых змеевик с СПГ обогревается теплой водой в резервуаре. Резервуар обогревается выхлопными газами, барбатируемыми через слой воды, от горелки, сжигающей часть ПГ. Были предложены различные альтернативы этому способу. Для схемы с погружным змеевиком (далее SCV) может быть предложен вариант, при котором источником горячих выхлопных газов для нагрева воды в ванне используется газотурбинный генератор (далее SCV+GT). Данный генератор позволяет не только обеспечить подвод теплоты к регазифицируемому в змеевике СПГ, но и выработать некоторое количество электроэнергии.

Теплота к СПГ может быть подведена от внешнего источника тепла (например, того же газотурбинного генератора, сжигающего ПГ и вырабатывающего дополнительную энергию), а передана газифицируемому продукту через теплообменники контура промежуточного теплоносителя. В зависимости от того, в каком агрегатном состоянии поддерживается теплоноситель в контуре, система может работать либо по замкнутому органическому циклу Ренкина [13–15] (органическому, т. к. криогенные температуры СПГ требуют применения жидких рабочих веществ с температурой замерзания ниже температуры СПГ, и на эту роль подходят преимущественно углеводороды и их производные) (далее ORC+GT), либо по замкнутому циклу Брайтона [16, 17] (с различными вариантами газообразных рабочих веществ и их смесей) (далее CBC+GT).

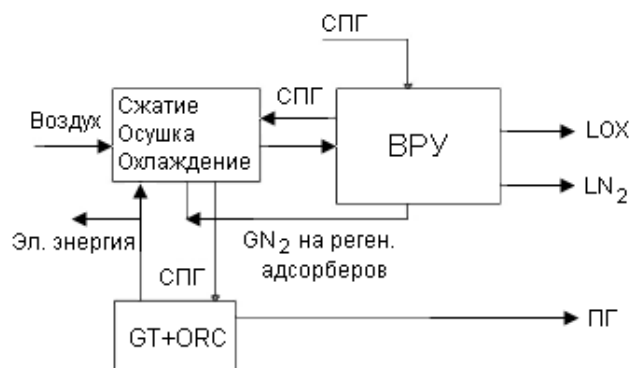


Рис. 1. Материально-тепловой баланс для схемы совмещения регазификации и ВРУ

Наконец есть ряд процессов, требующих холода на криогенном уровне температур для своего осуществления, например, воздухоразделение [18] или фракционирование СПГ. В данной работе рассматриваются два подобных способа. Первый (рис. 1) — использование холода СПГ для получения сжиженных кислорода и азота на ВРУ с многоступенчатым подогревом регазифицируемого СПГ, его работой в открытом цикле Ренкина и выработкой электроэнергии в контуре органического цикла Ренкина с промежуточным теплоносителем (далее ASU+ORC+GT). СПГ в этом способе принимает тепло ВРУ, контура органического цикла Ренкина и системы осушки, очистки и компримирования сырьевого воздуха ВРУ.

Вторым рассматриваемым способом является совмещение регазификации с работой ТЭЦ комбинированного цикла и фракционированием части СПГ с выделением этановой и C3+ фракций (далее IRP — Integrated Regasification Process в колоннах деметанизации и дэтанализации).

### Оценка показателей энергоэффективности моделируемых способов регазификации

Для сравнения этих способов оптимизации процесса регазификации применяются приемы эксергетического анализа. Оценивается эксергетический КПД  $\eta_{ex}$  и дополнительные затраты работы  $\Delta W$  (а чаще — удельную величину, отнесенную к массе продуктов  $\Delta W_m$ ). Однако, для более полной оценки, необходим расчет ряда дополнительных характеристик установок, реализующих способы регазификации. Данная величина может быть применена для оценки как энергетических установок, так и любых других процессов с когенерацией энергии.

Удельный расход топлива (SFC) — отношение суммарной высшей теплотворной способности топлив к суммарной массе продуктов (кВт·ч/т).

Общая энергетическая эффективность (ОЕЕ) — данная величина применяется в газонефтяной промышленности, где зачастую и продукты, и сырье являются энергоносителями, а среди продуктов значатся как энергоносители, так и электроэнергия. ОЕЕ оценивается как отношение суммарного HHV сырья и затрат электроэнергии  $E_{in}$  к сумме HHV продуктов и вырабатываемой электроэнергии  $E_{out}$ .

$$OOE = \frac{\sum \text{HHV}_p + E_{out}}{\sum \text{HHV}_f + E_{in}} \cdot 100\%.$$

Был построен ряд моделей для следующих предложенных способов: погружного подогревателя (SCV), погружного подогревателя с турбиной (SCV+GT), органического цикла Ренкина с турбиной (ORC+GT), замкнутого цикла Брайтона с турбиной (CBC+GT), регазификации с ВРУ и турбиной (ASU+ORC+GT), совмещенной регазификации и фракционирования СПГ (IRP).

Эксергетический КПД  $\eta_{ex}$  рассчитывался как отношение суммы полезных эквивалентных работ к сумме подведенных к системе тем или иным способом. Только у базового варианта со змеевиком он равен нулю, т. к. в данном способе вся подводимая эквивалентная работа не используется для выработки побочных продуктов.

Полезная работа подводится в большинстве случаев двумя процессами:

регазификацией СПГ:

$$\Delta Ex^{RG} = m_{LNG} (H_{LNG} - T_{oc} S_{LNG}) - m_{LNG} (H_{NG} - T_{oc} S_{NG}),$$

и горением ПГ в турбине или печи:

$$\Delta Ex^B = (m_{air} (H_{air} - T_{oc} S_{air}) - m_{fuel} (H_{fuel} - T_{oc} S_{fuel})) - (m_{flue} (H_{flue} - T_{oc} S_{flue}) + m_{H_2O} (H_{H_2O} - T_{oc} S_{H_2O})).$$

Данная формула меняется в зависимости от того, какая доля ПГ сжигается и сжигается ли ПГ, а не, например, этан, как в случае IRP. Эти величины привлекаются и в расчет дополнительных затрат работы:

Для схемы SCV (электроэнергия  $E_{in}$  тратится):

$$\Delta W = \Delta Ex^B + \Delta Ex^{RG} + E_{in}.$$

Для циклов Ренкина и Брайтона (электроэнергия  $E_{out}$  вырабатывается):

$$\Delta W = \Delta Ex^B + \Delta Ex^{RG} - E_{out}.$$

Для ВРУ (полезная работа по выделению продуктов воздуха  $\Delta Ex^{BPY}$  — продукт процесса, как и электроэнергия):

$$\Delta W = \Delta Ex^B + \Delta Ex^{RG} - E_{out} - |\Delta Ex^{BPY}|.$$

Для IRP (энергия вырабатывается, но полезная работа фракционирования  $\Delta Ex^{IRP}$  используется, а не является продуктом процесса):

$$\Delta W = \Delta Ex^{BurnC2} + \Delta Ex^{IRP} - E_{out}.$$

Величина изменения эксергий в процессе воздуходеления определяется разницей эксергий потоков сырья (воздух на ВРУ) и продуктов (LN, LOX, GN):

$$\Delta Ex^{BPY} = m_{air BPY} (H_{air BPY} - T_{oc} S_{air BPY}) - (m_{LN} (H_{LN} - T_{oc} S_{LN}) + m_{LOX} (H_{LOX} - T_{oc} S_{LOX}) + m_{GN} (H_{GN} - T_{oc} S_{GN})).$$

Для совмещенного способа уравнение для полезной работы регазификации с фракционированием принимает вид:

$$\Delta Ex^{IRP} = (H_{LNG} - T S_{LNG}) - (m_{C2} (H_{C2} - T S_{C2}) + m_{C3+} (H_{C3+} - T S_{C3+}) + m_{NG} (H_{NG} - T S_{NG})).$$

Для большинства способов общая энергетическая эффективность рассчитывается по формуле:

$$OEE = \frac{m_{NG} \text{HHV}_{fuel} + E_{out}}{m_{LNG} \text{HHV}_{fuel}}.$$

Для IRP же эта формула, в связи с производством способом не только ПГ, но и других энергоносителей — этановой и C3+ фракций, выглядит следующим образом:

$$OEE = \frac{m_{NG} \text{HHV}_{fuel} + m_{C3+} \text{HHV}_{C3+} + E_{out}}{m_{LNG} \text{HHV}_{fuel}}.$$

Результаты расчетов показывают, что переход от погружного змеевика с газовой турбиной (SCV+GT) к турбине с циклом Ренкина (ORC+GT) позволяет повысить эксергетическую эффективность работы установки регазификации с 21% до 46,5% в случае использования фтороформа. Коэффициент использования энергии топлива также повышается примерно на 20%. Однако, также возрастают удельные затраты топлива, что означает большие потери газа при регазифицировании. Общая энергетическая эффективность несколько снизилась по сравнению с установкой со змеевиком (98,7%), но незначительно, что объясняется тем, что уменьшился выход продуктового ПГ.

Эксергетическая эффективность регазификации может быть еще поднята за счет применения цикла Брайтона до 51%, что почти на 4,5% выше, чем для органического цикла Ренкина (с фтороформом). Однако удельные затраты топлива также возрастают, т. к. энергия его сгорания тратится на нагрев рабочего вещества для выработки большего количества энергии. Удельные дополнительные затраты энергии  $\Delta W_m$  уменьшились, по сравнению с вариантом со змеевиком, почти на 20 кВт·ч/т.

Таким образом, вариант исполнения системы регазификации с замкнутым циклом Брайтона и газотурбинным генератором является наиболее эффективным. Однако эффективность и стоимость его применения сильно зависят от выбранного рабочего вещества.

Результаты расчетов данных характеристик для совмещения с ВРУ отличаются от аналогичных для рассмотренных прежде способов. Эффективность  $\eta_{ex}$  в данном случае несколько ниже, чем в предыдущих способах. Объясняется это тем, что электроэнергия тратится также на производство продуктов. При значительно более низких эксергетических эффективности и коэффициенте использования энергии, в данном случае значительно ниже и удельные потери работы  $\Delta W_m$  и удельные затраты топлива.

Тенденция к снижению потерь работы и увеличению затрат топлива объясняется прежде всего тем, что при повышении эффективности способов увеличивается выход энергии, что требует дополнительных затрат топлива. В том же случае, если помимо электричества производятся также дополнительные продукты, то эксплуатационные параметры несколько улучшаются, т. к. стоимость побочных продуктов частично компенсирует затраты топлива.

Общая энергоэффективность для совмещения с ВРУ несколько повышается, несмотря на снижение выработки электроэнергии, т. к. повышается доля продуктового газа от сырьевого потока. Совмещенный процесс (IRP) значительно сокращает долю неиспользованной полезной работы процесса регазификации (почти до 10% от этой величины для обычной регазификации).



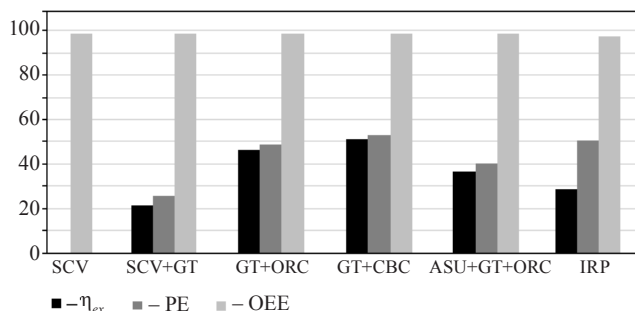


Рис. 2. Эксергетический КПД ( $\eta_{ex}$ ), коэффициент использования энергии (PE) и общая энергетическая эффективность (OEE)

Результаты отражают общую зависимость между выработкой энергии и дополнительных продуктов. Чем большее количество дополнительных продуктов вырабатывается, тем меньше вырабатывается энергии. Исключением является IRP, обладающий наивысшим значением этой величины среди рассмотренных способов. Для него такое значительное отношение выработки энергии к продуктам объясняется тем, что система вырабатывает электроэнергию не только при расширении СПГ, но и при работе ТЭЦ (контура генераторного цикла), снабжающего систему также отбросным теплом. Производительность же по продуктам при этом относительно невелика.

Совмещенный процесс (IRP) обладает наибольшей величиной отношения получаемой энергии к массе получаемых продуктов. Коэффициент использования энергии также высок для данного способа. Высокие значения удельных потерь работы и затрат топлива также наводят на мысль, что по сравнению со змеевиковым способом или совмещением с ВРУ выход продуктов в данном случае не столь значителен. Общая энергоэффективность ниже, чем для других процессов, т. к. больше топлива расходуется на выработку электроэнергии, чем на регазификацию. Эксергетическая эффективность также ниже, чем для других продуктов, что объясняется включением в расчет затрат на сжатие СПГ в насосе до значительных давлений (77 бар (изб.)), которые не учитывались в прочих моделях (однако, даже если исключить этот насос из расчета,  $\eta_{ex}$  увеличится всего на 0,3% (до 29%)). Наибольшее же влияние на снижение эффективности оказывает наличие затрат на рекомпрессию СПГ в турбокомпрессоре перед выдачей потребителю (необходимости в этом в других способах не было).

Показанные на рис.2 диаграммы суммируют данные по тем или иным характеристикам эффективности, позволяя сравнить их для различных способов регазификации.

Наиболее эффективным, с точки зрения использования эксергии, является способ с газотурбинным генератором и замкнутым циклом Брайтона. Для сравнения с ним, данные, по аналогичной системе с органическим циклом Ренкина, приведены в случае использования в качестве рабочего вещества фтороформа, дающего более высокие значения эксергетического КПД по сравнению с пропаном.

Величина коэффициента использования энергии очень важна для оценки способов регазификации с когенерацией. Говорить об эффективности таких методов можно только в том случае, если данная величина приближается

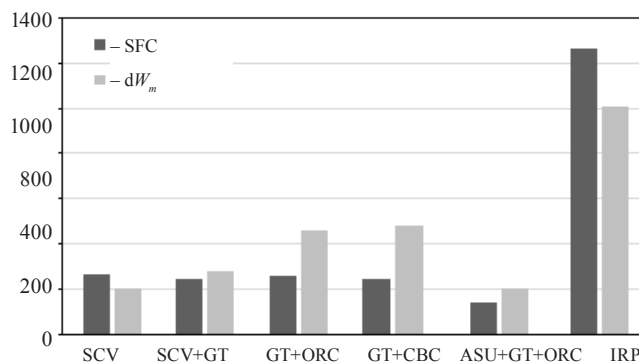


Рис. 3. Удельные дополнительные затраты энергии ( $dW_m$ ) и удельные затраты топлива (SFC)

к аналогичным для современных электростанций с комбинированным циклом. Для современных электростанций эта величина лежит в пределах 50–60%.

Наибольшими значениями общей энергоэффективности обладают базовый способ со змеевиком и способ комбинирования с ВРУ. Для первого способа это объясняется тем, что реализуется простой фазовый переход жидкого криопродукта в газообразный, а энергия к нему подводится в процессе сжигания топлива, тепло которого передается СПГ с минимальными потерями тепловой энергии топлива. В случае способа комбинирования ВРУ с регазификацией, причиной высокого значения является то, что утилизируется значительное количество отбросного тепла (конденсации азота, сжатого воздуха) и при этом открытый цикл Ренкина для СПГ позволяет снизить энергопотребление за счет выработки дополнительной электроэнергии. Сам процесс нагрева и испарения СПГ происходит плавно, в несколько стадий.

Прочие модели имеют более низкие значения величины общей энергоэффективности. Наименьшее значение из них приходится на способ IRP, несмотря на выработку значительного количества энергии на ТЭЦ комбинированного цикла, включенной в схему. Объясняется это тем, что большая часть ПГ уходит на сжигание в ТЭЦ, а СПГ потребляются большие по сравнению с предыдущими случаями объемы.

Величины удельных затрат топлива и удельных дополнительных затрат энергии показаны на рис. 3. По величине затрат топлива, все способы сравниваются с обычным вариантом с затопленным змеевиком, т. к. для него теплота сжигаемого газа тратится только на подогрев регазифицируемого СПГ, а не нее и на сторонние задачи (выработку энергии и т. п.). В большинстве случаев эта величина растет с выработкой энергии, за исключением разве что способа с комбинированием регазификации и ВРУ, где ситуация корректируется тем, что выработка дополнительных продуктов — жидкие азот и кислород — частично покрывают потери газа. Для способа IRP эта величина больше всех остальных из-за того, что значительные количества топлива сжигаются на включенной в схему ТЭЦ комбинированного цикла.

Величина удельных дополнительных затрат энергии принимает наименьшее значение для способа комбинирования регазификации и воздухоразделения. Таким образом, в случае реализации эта схема не только осуществит

ректификацию и регазификацию, но и позволит совершить это с минимальными потерями полезной работы. Наибольшие значения эта величина принимает для IRP. Объясняется это тем, что при анализе регазификация и фракционирование, идущие одновременно в колоннах, рассматриваются как подаваемый в систему потенциал, а не как результат работы комплекса.

Приведенные величины позволяют сравнить между собой рассматриваемые способы. При этом необходимо помнить, что пять из рассматриваемых способов изучаются исключительно по расчетным моделям, так что рассчитанные величины, характеризующие их эффективность, могут сильно отличаться от расчетных в реальности в зависимости от множества факторов. Особенно значительное влияние на параметры способов с циклами Ренкина и Брайтона может оказать выбор промежуточного теплоносителя. Однако наиболее очевидные различия между параметрами (так, например, для змеевика  $\eta_{ex} = 0\%$ , при  $\eta_{ex} = 51\%$  для схемы с циклом Брайтона, или разница по удельным затратам топлива между схемой с ВПУ и способа IRP) не изменятся принципиально, что позволяет сделать необходимые выводы о перспективах применения тех или иных способов.

Таким образом, для крупных объектов регазификации наиболее многообещающими представляются способы совмещения регазификации с фракционированием СПГ (IRP) или с воздухоразделением. Однако последний, в отличие от IRP, не зависит от состава газа (IRP демонстрирует хорошие показатели только в случае содержания в СПГ фракций C2/C3+ в количествах, достаточных для их экономически выгодного извлечения). Прочие показатели для объединения регазификационной установки с ВПУ также позволяют сделать заключение об этом способе, как о наиболее перспективном. Для малых регазификационных установок хорошими показателями энергоэффективности также обладают схемы на цикле Брайтона.

### Список литературы (References)

1. Выгон Г., Белова М. Развитие мирового рынка СПГ: вызовы и возможности для России. // Энергетический центр Московской школы управления Сколково. 2013. [Vygon G., Belova M. Development of the world market of LNG: calls and opportunities for Russia. *Energetic center of Moscow School of Management Skolkovo*. 2013. (in Russian)]
2. IGU World LNG Report — 2013 Edition. *International Gas Union*. 2013
3. BP Energy outlook 2030. URL: <http://ebookbrowse.net/bp-energy-outlook-2030-summary-tables-xls-d69781265>.
4. Фальман А. Г., Агейский Д. Э. Перспективы регазификации СПГ. // Вестник международной академии холода. 2015. № 2. [Falman A. G., Ageysky D. E. LNG regasification prospects. *Vestnik mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2015. No 2. p.? (in Russian)]
5. How many wind turbines would it take to power all of New York City? *School of Engineering*. March 30, 2010. URL: <http://engineering.mit.edu/ask/how-many-wind-turbines-would-it-take-power-all-new-york-city>.
6. Seider W. D., Seader J. D., Lewin D. R. Product and Process design principles. Wiley, 2002.
7. Бродянский В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа. — М., Энергия, 1973. 296 с. [Brodyanskii V. M. Eksergetichesky method of the thermodynamic analysis. Moscow, 1973. 296 p. (in Russian)]
8. Патент № 1520298 СССР, МПК F25B39/02, F17C7 Криогенный испаритель / В. П. Ельчинов, А. И. Смородин, А. Г. Лапшин, Н. И. Глебов, В. В. Попов. № 4337226/23–26; заявл. 01.12.1987; опубл. 07.11.1989. [Patent No 1520298 USSR, MPK F25B39/02, F17C7 Cryogenic evaporator. V. P. El'chinov, A. I. Smorodin, A. G. Lapshin, N. I. Glebov, V. V. Popov. (in Russian)]
9. Патент № 1176137 СССР, МПК F17C9/02 Установка для газификации криогенной жидкости / Г. С. Веницкий, Н. Р. Васильев, В. Г. Веницкий. № 3516767/23–26; заявл. 01.12.1982; опубл. 30.08.1985, Бюл. 32. [Patent No 1176137 USSR, MPK F17C9/02. Installation for gasification of cryogenic liquid. G. S. Vinitskii, N. R. Vasil'ev, V. G. Vinitskii. (in Russian)]
10. Патент № 132521 Российская Федерация, МПК F17C9/02, F17C13 Система регазификации сжиженного природного газа / заявитель и патентообладатель ООО НПФ «Криоген-Холод-Технология». № 2012150625. [Patent No 132521 Russian Federation, MPK F17C9/02, F17C13. System of regasification of the liquefied natural gas. Applicant and patent holder of JSC NPF Kriogen-Holod-Tekhnologiya. (in Russian)]
11. Патент № 119846 Российская Федерация, МПК F17C9/02. Газификационная установка / К. В. Ноговицин, В. А. Ноговицин. № 2012100874. [Patent No 119846 Russian Federation, MPK F17S9/02. Gasification installation. K. V. Nogovitsin, V. A. Nogovitsin. (in Russian)]
12. Tarlowski, J., Sheffield, J. LNG import terminals — Recent Developments. *M. W. Kellogg Ltd*. UK. URL: [http://www.cheresources.com/lng\\_terminals.pdf](http://www.cheresources.com/lng_terminals.pdf)
13. Патент № 1456688 СССР, МПК F17C9/02 Газификационная установка / С. И. Загрий. № 90686/23–26; заявл. 04.02.1989; опубл. 07.02.1989, Бюл. 5. [Patent No 1456688 USSR, MPK F17S9/02 Gasification installation. S. I. Zagriy. (in Russian)]
14. Patent CN101238322 (B) KHP, МПК F01K25/00, F17C9/02, F17C9/04 Configurations and methods for power generation in LNG regasification terminals. Mak J.; Applicant and patent holder of Fluor Tech Corp. CN2006826102 20060717; published 14.11.2012.
15. Patent DE 10201056585 (A1) WIPO, МПК F17C9/02 Liquefied arrangement used as subsystem for increasing temperature of liquefied natural gas (LNG), has inlet for power plant process which is open, and output for LNG is connected to piping system representing flow from plant process. Dr Mosemann Dieter; Applicant and patent holder of Gea Batignolles Technologies Thermique — DE201010056585; published 06.06.2013.
16. Patent JP S5773299A WIPO, МПК F17C9/02 Gasification of liquefied natural gas. Asada Kazuhiko; Jinbou Atsushi; Tanigaki Yasuhiro; заявитель и патентообладатель Kobe Steel Ltd — JP19800149691 19801024.
17. Patent JPS5471422AWIPO, МПК F17C9/04 A method of recovering LNG gasifying power. Nagai Susumu; Asada Chi-yuukei; Applicant and patent holder of Hitachi Shipbuilding Eng Co. JP19770138236 19771116.
18. Tarakad, R. R. 2000. LNG receiving and regasification terminals: an overview of design, operation and project development considerations. Houston TX, Zeus Development Corp.

Статья поступила в редакцию 26.01.2015