

УДК 621.593

А.И. Пятничко, Л.Р. Онопа

Институт газа НАН Украины, ул. Дегтяревская, 39, г. Киев, Украина, 03113

e-mail: alexig@ukrpost.net

Г.К. Лавренченко

Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-СИГМА», а/я 271, г. Одесса, Украина, 65026

e-mail: uasigma@paco.net

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТЫ ПРИ РЕГАЗИФИКАЦИИ СПГ

Большие количества сжиженного природного газа (СПГ) в настоящее время доставляются метановозами на приёмные терминалы этого криогенного энергоносителя в странах-импортёрах. Процессы регазификации СПГ можно осуществлять одновременно с производством работы. Построена термодинамическая модель обратимых процессов, в которых эксергия холода преобразуется в работу. Показано, что максимальная работа, получаемая в обратимых процессах регазификации, определяется как разность эксергий в конце и начале процесса. Рассмотрена схема установки, в которой эксергию холода СПГ используют для получения работы. В силовом контуре установки применялись различные смеси на основе метана, этана, пропана и бутана. Лучшие результаты получены при применении бинарных смесей пропана с бутаном. Эксергетический КПД установки составляет 21,4 %.

Ключевые слова: Холод. Эксергия. Работа. Обратимый процесс. Регазификация СПГ. Смесь углеводородов. Метан. Этан. Пропан. Бутан. Турбодетандер. Q-T-диаграмма. Эксергетический КПД.

A.I. Piatnichko, L.P. Onopa, G.K. Lavrenchenko

EFFICIENCY ANALYSIS OF WORK PRODUCTION IN LNG REGASIFICATION

At present much liquefied natural gas is being supplied by methane carriers to the receiving terminals of this cryogenic power sources in countries-importers. The processes of LNG regasification can be carried out simultaneously with the work production. A thermodynamic model of reversible processes in which cold exergy transforms into work is built. It is shown that the peak work got in the reversible processes of regasification, is determined as a difference of exergies at the end and beginning of the process. The unit scheme in which the exergy of LNG cold is used for getting work has been examined. Different mixtures on the base of methane, ethane, propane and butane were applied in a force loop. The best mixtures were got in the application of binary mixtures of propane with butane. Exergic efficiency coefficient of the unit is 21,4 %.

Keywords: Cold. Exergy. Work. Reversible processes. LNG regasification. A mixture of hydrocarbons. Methane. Ethane. Propane. Butane. Turboexpander. Q-T-diagram. Exergic efficiency coefficient.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы высокими темпами растут объёмы производимого для международной торговли сжиженного природного газа СПГ [1,2]. Доставляемый на приёмные морские терминалы СПГ подвергается регазификации. Чаще всего конечное давление газа равняется либо давлению магистрального газопровода (4...7 МПа), либо давлению обеспечиваемых газом технологических процессов, например, синтеза аммиака, когда необходим газ с давлением 4 МПа.

Известно [3], что СПГ, обладающий высокой эксергетической ценностью, может рассматриваться в

качестве эффективного и, в ряде случаев, доступного источника энергии. Покажем, как, не сжигая СПГ, а только осуществляя совокупность процессов его обратимого перевода в газ необходимых параметров, получать в прямом цикле на 1 Дж холода несколько Дж механической работы. При таком преобразовании энергии верхним тепловым источником в прямом термодинамическом цикле является окружающая среда.

Следует отметить, что указанную эффективность не в состоянии обеспечить любое топливо и даже природный газ, если их тепловую энергию использовать в паротурбинном силовом цикле, когда окружающая среда служит нижним тепловым источником.

Ещё более высокие значения характерны для превращений эксергии холода с азотными температурами (~80 К): одна единица холода жидкого азота обеспечивает получение почти трёх единиц работы.

2. АНАЛИЗ ОБРАТИМЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТЫ ПРИ РЕГАЗИФИКАЦИИ СПГ

Для оценки предельных показателей регазификации СПГ в виде насыщенной жидкости с одновременным получением механической работы рассмотрим варианты её производства в обратимых процессах. Примем, что СПГ имеет температуру $T_x < T_k$, где T_k — критическая температура метана. Температура окружающей среды $T_0 > T_k$.

Будем полагать, что система обратимой регазификации выдаёт газ со сверхкритическим давлением (p_k метана — 4,63 МПа), например, 7 МПа, что соответствует максимальному давлению в магистральных газопроводах Украины. Из всего многообразия путей перехода из состояния 1 в состояние 3 сжатого природного газа при температуре окружающей среды T_0 выберем следующих три: 1-4-0-3; 1-2-3 и 1-1'-3 (см. рис. 1). При реализации этих процессов будем считать, что их цель состоит не только в достижении состояния 3, но одновременно с этим ещё и в производстве предельно возможного количества работы.

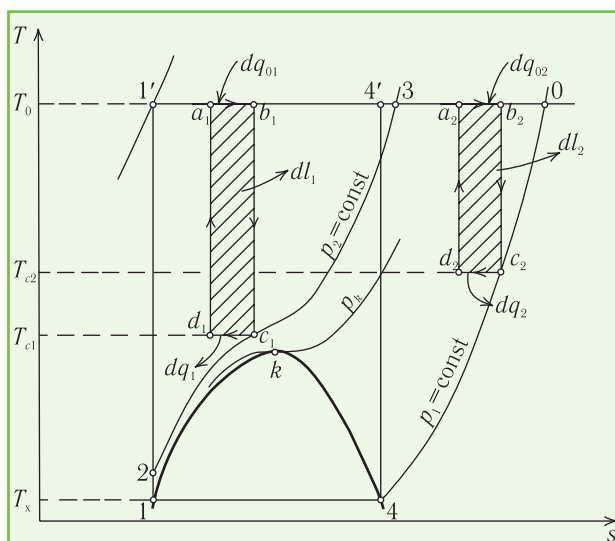


Рис. 1. Процессы регазификации СПГ для подачи газа с производством работы

Обратимся к наиболее простому процессу 1-1'-3. В нём при $s = \text{const}$ вначале производится сжатие СПГ до состояния 1' с давлением $p_{1'}$ и температурой T_0 . Затрачиваемая в процессе 1-1' работа $l_{1-1'} = i_{1'} - i_1$. После этого газ изотермически при $T_0 = \text{const}$ расширяется до состояния 3 с подводом теплоты $T_0(s_3 - s_{1'})$ из окружающей среды. Получаемая в этом процессе работа $l_{1'-3} = T_0(s_3 - s_{1'}) - (i_3 - i_{1'})$. Суммарная работа, произведённая таким образом при переходе 1-1'-3 из точки 1 в точку 3 с учётом, что $s_1 = s_{1'}$,

$$l_{1-1'-3} = l_{1'-3} - l_{1-1'} = T_0(s_3 - s_{1'}) - (i_3 - i_{1'}) - (i_{1'} - i_1) = T_0(s_3 - s_1) - (i_3 - i_1). \quad (1)$$

Несколько по-другому осуществляются обратимые переходы из состояния 1 в ту же точку 3 в процессах 1-2-3 и 1-4-0-3.

Определим работу, которую можно получить при обратимом переходе из 1 в 3 реализацией процессов 1-2-3. Общую производимую работу при таком переходе представим как

$$l_{1-2-3} = l_{2-3} - l_{1-2}. \quad (2)$$

Найдём каждую из работ, указанных в (2). Затрачиваемая в криогенном насосе работа

$$l_{1-2} = i_2 - i_1. \quad (3)$$

Производимая в процессе 2-3 работа за счёт эксергии холода может быть определена как сумма работ в бесконечном числе элементарных прямых циклов Карно $a_1 b_1 c_1 d_1$. В них окружающая среда с T_0 — верхний источник, от которого к рабочему телу циклов подводятся количества теплоты dq_{01} . Температура же нижнего источника, как видно из рис. 1, является переменной. Её значения соответствуют характеру изменения температуры на изобаре p_2 , к которой от рабочего тела циклов Карно подводятся бесконечно малые количества теплоты dq_1 . Работа в процессе 2-3

$$l_{2-3} = \int_{T_2}^{T_0} \frac{T_0 - T_{c1}}{T_0} dq_1 = T_0(s_3 - s_2) - (i_3 - i_2). \quad (4)$$

С учётом (2)-(4) получим общую производимую работу при переводе СПГ из точки 1 в состояние 3 путём 1-2-3

$$l_{1-2-3} = T_0(s_3 - s_1) - (i_3 - i_1). \quad (5)$$

Теперь найдём значение работы при регазификации в процессе 1-4-0-3. Общая производимая работа представляется как алгебраическая сумма:

$$l_{1-4-0-3} = l_{1-4} + l_{4-0} - l_{0-3}. \quad (6)$$

Работа, получаемая в процессе 1-4, будет равна работе прямого цикла Карно 1'4'41 с верхним и нижним тепловыми источниками, с температурами, соответственно, T_0 и T_x :

$$l_{1-4} = \eta_t q_0, \quad (7)$$

где q_0 — теплота, подводимая в цикле при T_0 ; $\eta_t = 1 - T_x/T_0$ — термический КПД прямого цикла Карно. С другой стороны, работа в этом цикле

$$l_{1-4} = q_0 - r = T_0(s_4 - s_1) - (i_4 - i_1), \quad (8)$$

где r — теплота кипения СПГ при температуре T_x .

Работа при обратимом подогреве газа в изобарическом процессе 4-0 при $p_1 = \text{const}$ представляет собой сумму работ элементарных прямых циклов Карно $a_2 b_2 c_2 d_2$

$$l_{4-0} = \int_{T_x}^{T_0} \frac{T_0 - T}{T_0} dq_2 = T_0(s_0 - s_4) - (i_0 - i_4). \quad (9)$$

Работа, расходуемая на изотермическое сжатие газа при T_0 от p_0 до p_3 ,

$$l_{0-3} = T_0(s_0 - s_3) - (i_0 - i_3). \quad (10)$$

Используя (8)-(10), найдём согласно выражению (6) общую работу

$$l_{1-4-0-3} = T_0(s_4 - s_1) - (i_4 - i_1) + T_0(s_0 - s_4) - (i_0 - i_4) - T_0(s_0 - s_3) + (i_0 - i_3) = T_0(s_3 - s_1) - (i_3 - i_1). \quad (11)$$

Из выражений для работ (1), (5) и (11) видно, что

$$l_{1-1'-3} = l_{1-2-3} = l_{1-4-0-3} \equiv l_{\text{обр, пр}}, \quad (12)$$

где $l_{\text{обр, пр}}$ — механическая работа, производимая в обратимых процессах регазификации.

Остановимся на некоторых особенностях полученных результатов.

Прежде всего отметим, что

$$l_{\text{обр, пр}} = e_1 - e_3 = \Delta e_{\text{пр}}, \quad (13)$$

где $e_i = i_i - T_0 s_i$ — удельная эксергия потока вещества в i -ом состоянии; $i = 1; 3$. Следовательно, производимая работа в различных процессах обратимого перехода из состояния 1 в состояние 3 определяется лишь начальными и конечными значениями эксергий вещества. При этом из (13) можно заключить, что получаемая при обратимой регазификации СПГ работа равна уменьшению эксергии метана.

Вывод справедлив и в тех случаях, когда при обратимой регазификации достигается другое состояние на изотерме T_0 с каким-либо давлением p , удовлетворяющим условию $p_0 \leq p \leq p_1$. Например, при обратимом переходе из состояния 1 в состояние 0

$$l_{1-4-0} = T_0(s_0 - s_1) - (i_0 - i_1). \quad (14)$$

Данное выражение (14) выбрано для того, чтобы определить ряд численных значений преобразования эксергии СПГ в механическую работу. При $T_0 = 300$ К, $T_x = 111,6$ К производимая максимальная работа при регазификации 1 т СПГ $l_{1-4-0} = 302$ кВт·ч. Теперь ответим на вопрос, сколько единиц работы можно получить из единицы холода. Для этого найдём термический КПД цикла Карно $1'4'41$, в котором для производства работы используется большая часть эксергии холода:

$$\eta_t = \frac{l_k}{q_0} = \frac{q_0 - q_x}{q_0} = \left(1 - \frac{T_x}{T_0}\right), \quad (15)$$

где l_k, q_0 — работа в цикле Карно и теплота, подводимая из окружающей среды при T_0 ; $q_x = r$ — количество холода, компенсирующее отводимое тепло цикла при температуре кипения СПГ T_x .

Из (15) можно получить выражение

$$\frac{l_k}{q_x} = \frac{\eta_t}{1 - \eta_t}, \quad (16)$$

которое позволяет найти отношение полученной работы l_k к расходуемому холоду q_x . Так как при $T_0 = 300$ К и $T_x = 111,6$ К термический КПД $\eta_t = 0,628$, то из (16) следует, что 1 Дж холода с потенциалом T_x обратимо произведёт 1,68 Дж работы.

В этом примере учитывалась только часть наиболее низкотемпературного холода с температурой 111,6 К, а поэтому имеющего самую высокую эксергетическую ценность. Работа цикла Карно, отнесённая также к 1 т СПГ, $l_k = 239$ кВт·ч. Остальная часть работы $(302 - 239 = 63)$ кВт·ч, производимой в процессе 1-4-0, не принималась во внимание, так как она вырабатывается при изменяющейся на изобаре p_1 температуре от T_x до T_0 .

Проведённый анализ показывает, что процессы регазификации можно совместить с процессами преобразования эксергии холода в работу. В подавляющем большинстве случаев этой возможностью пренебрегают, необратимо испаряя СПГ и нагревая получившийся холодный газ воздухом окружающей среды, морской водой или просто какими-либо тепловым источником.

Полученное соотношение 1 Дж холода к 1,68 Дж механической работы может быть реализовано в обратимых процессах и определяться лишь начальными и конечными значениями эксергии. В действительных процессах из-за наличия собственных и технических потерь эффективность регазификации СПГ с одновременным производством работы зависит не только от начальных и конечных параметров, но и от характера протекаемых процессов.

Рассмотрим одну из схем регазификации, в которой производится также и механическая работа. Установим, насколько она уступает по эффективности исследованным процессам обратимого преобразования эксергии холода в работу.

3. ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ РЕГАЗИФИКАЦИИ СПГ С ПРОИЗВОДСТВОМ РАБОТЫ

Выполним анализ показателей наиболее простой установки регазификации СПГ с производством работы. В ней имеется контур, в котором циркулирует рабочее тело прямого термодинамического цикла. В общем случае рабочее тело формировалось из трёх компонентов, к которым относились метан, этан, пропан и бутан. На рис. 2 приведена её схема.

Испарение СПГ в установке происходит за счёт его теплообмена в теплообменнике ТО2 с рабочим

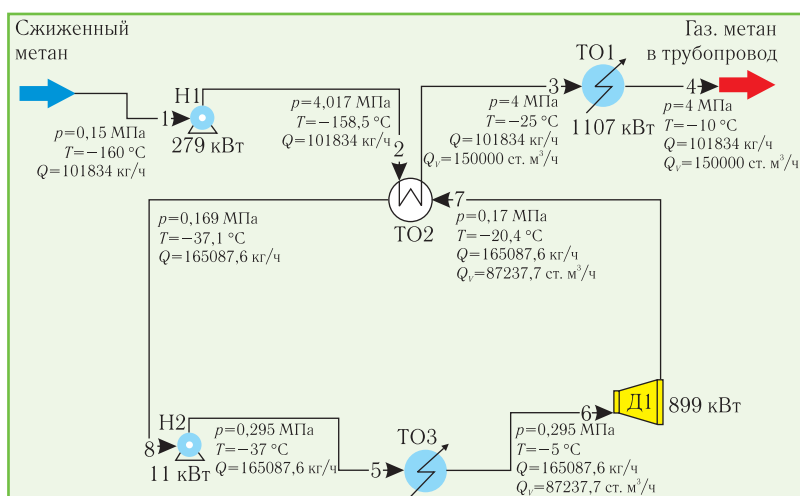


Рис. 2. Схема установки регазификации СПГ с производством работы при использовании в качестве рабочего тела смеси пропан (90 %) — бутан (10 %): Д1 — турбодетандер; ТО1-ТО3 — теплообменники; Н1, Н2 — низкотемпературные насосы; Q и Q_v — массовый и объёмный расходы

телом, циркулирующим в замкнутом контуре и производящем полезную работу в турбодетандере Д1. Поступающий в установку СПГ в количестве, которое обеспечивает расход газообразного метана 150 тыс. ст. м³/ч сжимается насосом Н1 до давления 4 МПа (рабочее давление в магистральном трубопроводе) и подаётся в трубное пространство теплообменника ТО2. Рабочее тело в цикле два раза претерпевает фазовые превращения: в теплообменнике ТО2 оно, охлаждаясь, конденсируется, а затем в теплообменнике ТО3 в результате теплообмена с окружающей средой (морской водой) нагревается и испаряется. Насос Н2 повышает давление рабочего тела для производства работы при расширении его в турбодетандере Д1.

В данной работе ставилась задача найти оптимальный с точки зрения максимума производимой мощности состав рабочего тела и условия теплообмена (в частности, температуру рабочего тела на входе в теплообменник ТО2).

В качестве рабочего тела использовались смеси углеводородов (метан, этан, пропан, бутан) различного состава. Расход и давление рабочего тела на входе в теплообменник ТО2 подбирались таким образом, чтобы в нём происходила практически только конден-

сация рабочего тела (с целью интенсификации процесса теплообмена).

В табл. 1 приведены составы рабочего тела и результаты расчётов схемы установки, выполненные при следующих условиях:

- температура рабочего тела на входе в теплообменник ТО2 (после турбодетандера) –20,4 °С;
- температура метана на выходе из ТО2 –25 °С;
- тепловая нагрузка теплообменника ТО2 составляет 21281 кВт;
- регазифицированный метан после теплообменника ТО2 нагревается дополнительно в теплообменнике ТО1 до температуры –10 °С (тепловая нагрузка 1107 кВт) для удовлетворения требованиям его подачи в магистральный трубопровод;
- температура рабочего тела после теплообменника ТО3 на входе в турбодетандер Д1 –5 °С (самая низкая годовая температура, определяемая температурой окружающей среды, при которой создаются наиболее невыгодные с точки зрения получения полезной мощности условия).

Из табл. 1 следует, что более высокой полезной мощностью обладают схемы с более тяжёлыми углеводородами, т.е. с пропан-бутановыми смесями (см. рис. 3). При переходе на эти смеси растёт тепловая нагрузка теплообменника ТО3. В случае применения смеси метан-этан давление в цикле (определяющее фазовые переходы) достигает 5 МПа. В то же время использование бутана в качестве компонента рабочего тела ограничивается его низким давлением конденсации (при –5 °С меньше 0,1 МПа). Для смесей с относительно высоким содержанием (до 30 %) бутана необходимо очень точно выдерживать условия проведения процессов в теплообменнике ТО3 и турбодетандере (температуры, давления), поскольку в таких смесях в очень узком диапазоне осуществляются фазовые превращения.

В двухпоточном рекуперативном теплообменнике ТО2 происходит теплообмен между СПГ и рабочим телом силового контура. Проверим, удовлетворяет ли

Таблица 1. Характеристики установки регазификации при различных составах рабочего тела

Состав смеси метан-этан-пропан-бутан, % об.	Расход смеси, кг/ч	Температура смеси на выходе из ТО2, °С	Тепловая нагрузка ТО3, кВт	Мощность насоса Н2, кВт	Мощность турбодетандера Д1, кВт	Полезная мощность*, кВт
50-50-0-0	160000	–76	20759	105	558	174
10-90-0-0	165000	–50	20877	64	649	306
0-70-30-0	160000	–43	20985	30	752	443
0-10-90-0	168000	–34	21171	17	881	585
0-10-80-10	160000	–43	21144	11	867	577
0-0-90-10	165000	–37	21181	11	899	609
0-0-70-30	160000	–43	21163	7	896	610

Примечание: *) Полезная мощность определяется в результате вычитания из мощности турбодетандера Д1 мощностей, затрачиваемых на привод насосов Н1 и Н2.

теплообмен требованиям II-го начала термодинамики.

На рис. 4 приведена Q-T-диаграмма теплообменника ТО2 для условий, когда используются рабочие тела различного состава.

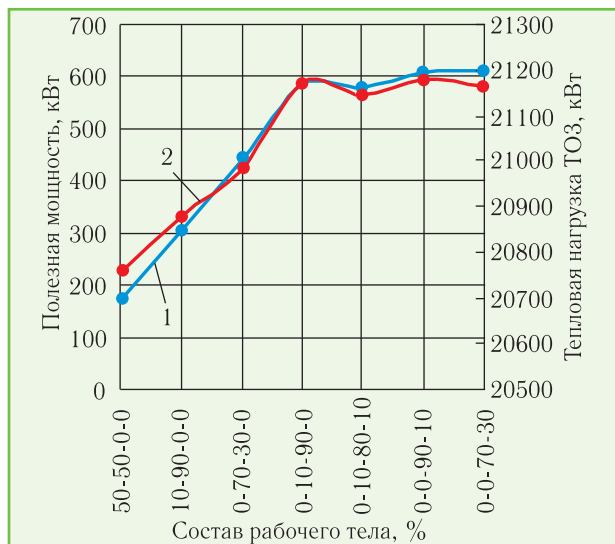


Рис. 3. Зависимость полезной мощности (1), производимой в схеме установки, и тепловой нагрузки теплообменника ТО3 (2) от состава рабочего тела, используемого в силовом контуре

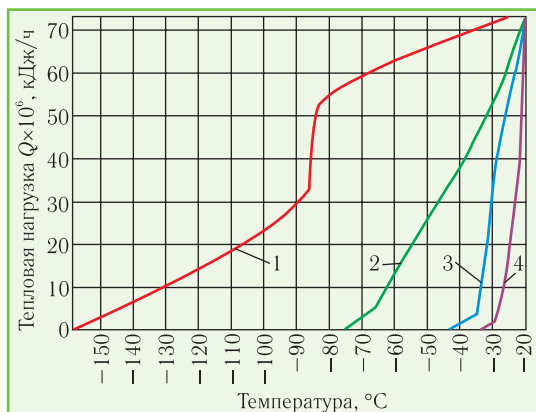


Рис. 4. Q-T-диаграмма рекуперативного теплообменника ТО2 при использовании рабочих тел различных составов: 1 — поток испаряемого СПГ; 2 — метан (50 %) - этан (50 %); 3 — пропан (70 %) - бутан (30 %); 4 — этан (10 %) - пропан (90 %)

С целью изучения влияния температуры рабочего тела на входе в теплообменник ТО2, определяемой перепадом давления в турбодетандере, на величину полезной мощности в цикле были проведены расчёты схемы установки при температурах рабочего тела на входе в теплообменник ТО2 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом выходная температура метана $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Из табл. 2 следует, что при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ мощность турбодетандера перекрывает насосную нагрузку схемы, только начиная с пропановых смесей. При $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ смесь пропан (70 %) — бутан (30 %) оказывается не работоспособной вследствие низкого давления кон-

денсации (ниже атмосферного).

Необходимо также отметить, что мощность, производимая турбодетандером Д1, возрастает пропорционально изменению температуры окружающей среды. В тёплое время года температура рабочего тела после теплообменника ТО3 может превышать $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2. Полезная мощность при различных температурах рабочего тела на входе в теплообменник ТО2 (после турбодетандера Д1)

Состав смеси метан-этан-пропан-бутан, % об.	Полезная мощность при различных температурах смеси на входе в ТО2, кВт		
	$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-30\text{ }^{\circ}\text{C}$
50-50-0-0	-133	174	555
10-90-0-0	-95	306	797
0-70-30-0	-36	443	883
0-10-90-0	10	585	1035
0-10-80-10	14	577	1062
0-0-90-10	28	609	1122
0-0-70-30	23	610	—

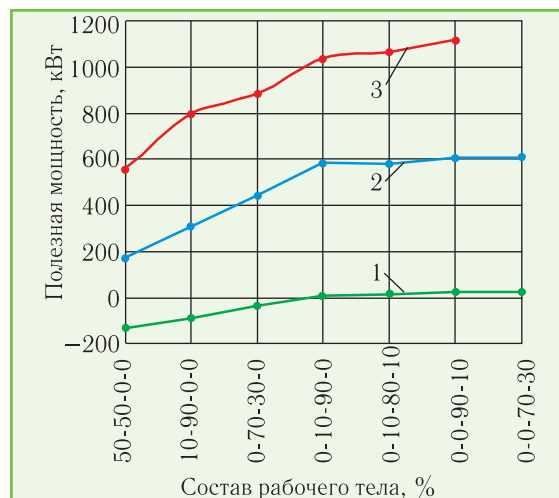


Рис. 5. Зависимость полезной мощности, производимой в установке, от температуры рабочего тела на входе в теплообменник ТО2: 1 — $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 — $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 — $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

В табл. 3 приведены результаты расчётов схемы установки при различных составах рабочего тела в летних условиях:

- температура рабочего тела после теплообменника ТО3 на входе в турбодетандер Д1 $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура рабочего тела после турбодетандера Д1 на входе в теплообменник ТО2 $-30,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Видно, что для смеси пропан (90 %) - бутан (10 %) повышение температуры окружающей среды на $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ даёт увеличение полезной мощности на 882 кВт (ср. с табл. 2).

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее выгодными с энергетической точки зрения и приемлемыми для использования в качестве рабочего тела в цикле являются смеси на основе пропана с добавлением небольшого количества бутана.

Таблица 3. Характеристики схемы регазификации при температуре рабочего тела на входе в турбодетандер +10 °С

Состав смеси метан-этан-пропан-бутан, % об.	Расход смеси, кг/ч	Температура смеси на выходе из ТО2, °С	Тепловая нагрузка ТОЗ, кВт	Мощность насоса Н2, кВт	Мощность детандера Д1, кВт	Полезная мощность, кВт
10-90-0-0	150000	-59,5	20920	138	1559	1142
0-70-30-0	150000	-52	21385	72	1959	1608
0-10-90-0	160000	-51,5	21630	45	2190	1866
0-0-90-10	160000	-42	21791	32	2315	2004

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При наблюдающемся росте потребления СПГ, доставляемого метановозами на специально оборудованные терминалы, одним из важных вопросов, подлежащих решению, является рациональное использование холода СПГ.

Результаты проведённых расчётных исследований показали, что одновременно с регазификацией СПГ возможно производство значительного количества работы. В обратимых процессах в результате полного использования эксергии холода удастся произвести максимальную работу. Величина этой работы определяется только значениями энтропии и энтальпии СПГ и газообразного метана в точках схемы 1 и 4 (см. рис. 2). С учётом этого

$$l_{\text{обр.пр}} = T_4(s_4 - s_1) - (i_4 - i_1) = 92 \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг.}$$

При расходе СПГ 101834 кг/ч мощность обратимого преобразования эксергии холода в работу составит 9356 кВт. Используя это значение, найдём эксергетический КПД исследованной расчётной схемы установки (см. табл. 3) как $\eta_e = 2004/9356 = 21,4 \%$.

Следовательно, при реализации действительных процессов регазификации можно производить, даже с помощью простой схемы, ощутимое количество работы.

Более детальный анализ эксергетических потерь в установке с совмещёнными процессами регазификации и производства работы позволит определить резервы повышения её эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инфраструктура использования сжиженного природного газа: проблемы и перспективы/ Ю.А. Похил, В.Т. Архипов, Г.Д. Гамуля, А.Я. Левин// Технические газы. — 2006. — № 4. — С. 45-54.
2. Гречко А.Г., Новиков А.И. Мировой рынок сжиженного природного газа и технологии его крупномасштабного производства// Холодильная техника. — 2009. — № 9. — С. 52-55; № 10. — С. 45-48.
3. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. — М.: Энергия, 1979. — 288 с.
4. Бродянский В.М., Семёнов А.М. Термодинамические основы криогенной техники. — М.: Энергия, 1980. — 448 с.



ВНИМАНИЮ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ, ВЫПУСКНИКОВ ТЕХНИКУМОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ КОЛЛЕДЖЕЙ!



- получение высшего образования без отрыва от производства за 4 года;
- зачисление без экзаменов сразу на 3-ий курс Одесской государственной академии холода по направлению Украинской ассоциации производителей технических газов «УА-СИГМА»;
- специальность — 7.090507 «Криогенная техника и технология»;
- форма обучения — заочная контрактная;
- завершение учебы — защитой дипломного проекта;
- диплом Министерства образования и науки Украины признается в странах СНГ.

Условия приёма по контактному тел./факсу: +38 (048) 777-00-87