

УДК 621.59

Перспективы утилизации холода сжиженного природного газа при малотоннажной регазификации

Канд. техн. наук Л. А. АКУЛОВ, канд. техн. наук А. В. ЗАЙЦЕВ
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

In article one of topical issues of the energy saving, connected with recuperation of the cold received at the re-gasification of the liquefied natural gas (LNG) is considered. The current state of this problem is analyzed. The innovative decision on use of cold of LNG in air separating installations is presented.

Keywords: liquefied natural gas (LNG), utilization, air separating installation.

Ключевые слова: сжиженный природный газ (СПГ), утилизация, воздуходелительная установка (ВРУ).

Сжиженный природный газ (СПГ) относится к такому виду криопродуктов, производство которого и потребление во многих странах за рубежом ежегодно возрастает. Это объясняется тем, что диапазон использования СПГ в различных отраслях промышленности и техники чрезвычайно высок. Достаточно отметить, что такая технически высокоразвитая страна, как Япония, потребляет ежегодно около 50% мирового импорта СПГ.

В соответствии с [1] природный газ составляет 23% мирового потребления энергии, при этом темпы повышения его количества оцениваются приблизительно около 10% в год. В 2008 г. доля природного газа, транспортируемого в жидком виде, составляла около 8%, а к 2015 г. она должна повыситься до 13%. Это способствует развитию технологии сжижения природного газа, его хранения, транспортировки и применения в различных отраслях народного хозяйства.

СПГ является криогенной жидкостью. При атмосферном давлении температура кипения СПГ около 112 К (–161 °С). СПГ нетоксичен, химически неактивен, удельная теплота его сгорания (12000 ккал/кг или 48500 кДж/кг) на 12%, а октановое число на 13–15% выше, чем у бензина. Теплота испарения СПГ равна 511 кДж/кг, а подогрев его паров от температуры насыщения до 290 К (17 °С) позволяет отнять количество теплоты, равное 382 кДж/кг. Таким образом, располагаемая холодопроизводительность при испарении 1 кг СПГ при атмосферном давлении и подогреве паров до 290 К составляет 893 кДж.

Такое количество холода может быть утилизировано в различных областях промышленности, где производственные процессы построены на использовании техники низких температур. В некоторых странах работа по утилизации холода регазифицируемого СПГ проводится в достаточно большом объеме. Первенство принадлежит Японии.

Россия в вопросах производства и потребления СПГ значительно отстает от промышленно развитых стран, которые являются экспортёрами СПГ и его потребителями. Однако в последние годы это положение стало несколько исправляться.

Был введен в эксплуатацию крупный ожижительный комплекс «Сахалин-2», который производит СПГ, экспортируемый, в основном, в Японию. Был создан ряд регио-

нальных ожижительных установок производительностью от 300 до 1500 кг/ч СПГ. Производимый на данных установках СПГ предназначался для снабжения расположенных вдали от магистральных трубопроводов населенных пунктов с последующей регазификацией СПГ и подачи газа в коммунальные сети. Работа по созданию в нашей стране таких установок продолжается, и четыре из них успешно эксплуатируются в Ленинградской области.

Основные потребители СПГ рассмотрены в работе [2], где приведена оценка перспективности применения СПГ в различных отраслях науки и техники. При этом показана возможность и перспективы использования холода СПГ при его регазификации.

Подавляющее большинство отраслей, где утилизируется холод СПГ при его регазификации, не связаны с криогенными технологиями. В определенной степени связь с криогеникой прослеживается лишь в технике разделения воздуха. За рубежом постоянно наблюдается устойчивый рост использования СПГ в коммунальном хозяйстве, в частности при комплексной газификации малых теплоэнергетических объектов.

В Ленинградской области несколько лет тому назад была осуществлена эксплуатация первой в России, относительно малой по установленной тепловой мощности, котельной на 16,7 ГДж/ч (4 Гкал/ч) ОАО «Петербургтранснефтепродукт» [5]. За период более чем 23-месячной работы на эту котельную было поставлено около 500 т СПГ, в среднем при расходе около 20 т ежемесячно. Газификация СПГ осуществлялась с помощью панели двух атмосферных испарителей, при этом холод СПГ полезно не использовался.

Опытная эксплуатация такой котельной с использованием в качестве топлива регазифицируемого СПГ показала, что СПГ может рассматриваться в качестве конкурентоспособного и альтернативного вида топлива.

Среди различных направлений использования холода регазифицируемого СПГ достаточно успешным является применение его при низкотемпературном разделении воздуха. В работах [3, 4] достаточно подробно рассматривается утилизация холода регазифицируемого СПГ в крупных воздуходелительных установках. Однако в настоящее время появляется и начинает эксплуатироваться ряд

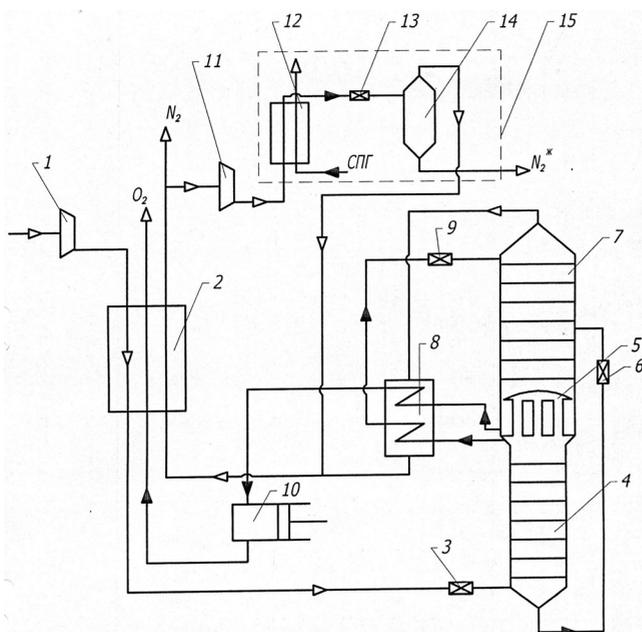


Рис. 1. Схема ВРУ с использованием холода регазифицируемого СПГ:

1 — компрессор; 2 — теплообменник; 3, 6, 9, 13 — дроссельные вентили; 4 — нижняя ректификационная колонна; 5 — конденсатор-испаритель; 7 — верхняя ректификационная колонна; 8 — переходчик жидкого кислорода и азотной флегмы; 10 — кислородный насос; 11 — азотный компрессор; 12 — испарительный подогреватель сжиженного природного газа; 14 — отделитель жидкого азота; 15 — криогенный блок регазификации СПГ.

небольших региональных установок, предназначенных для получения СПГ с целью дальнейшего снабжения природным газом небольших котельных малых предприятий или небольших населенных пунктов.

В России достаточно перспективной может стать задача создания воздухоразделительных установок малой и средней производительности, использующих холод регазифицируемого СПГ. Это характерно для тех объемов СПГ, которые будут использоваться в небольших котельных на ряде предприятий и в коммунальном хозяйстве.

В настоящее время в нашей стране таких установок нет, а в зарубежных странах установки, утилизирующие холод СПГ, являются воздухоразделительными установками большой производительности.

При создании и разработке ВРУ малой и средней производительности, утилизирующих холод СПГ, необходимо решить следующие задачи:

— разработать схемы ВРУ, основанные на использовании наиболее простых криогенных циклов;

— ВРУ должны быть предназначены для получения различных криопродуктов как в жидком, так и газообразном виде;

— в разработанных ВРУ должно быть минимальное количество тепло- и тепломассообменных аппаратов, отличающихся высокой эффективностью;

— узел регазификации СПГ должен быть отделен от криогенного блока ВРУ, и в нем допускается использование только потока азота, что должно существенно повысить безопасность установки разделения воздуха, использующей регазификацию СПГ;

— ВРУ, утилизирующая холод СПГ, должна иметь короткий пусковой период, обеспечивающий выход ВРУ на рабочий режим;

— удельные затраты электроэнергии должны быть ниже, чем в ВРУ малой и средней производительности, выпускаемых в настоящее время в России и за рубежом;

— новизна разработанных схем ВРУ должна быть подтверждена их патентоспособностью;

— параметры регазифицированного СПГ, подаваемого в котельную, должны соответствовать требованиям, обеспечивающим нормальную эксплуатацию котельных установок.

Выполнение вышеперечисленных задач при разработке схем ВРУ малой и средней производительности, утилизирующих холод СПГ, определяет инновационный характер научно-исследовательских работ, посвященных данной проблеме.

Принципиальная схема одного из запатентованных вариантов ВРУ малой производительности, использующей холод регазифицируемого СПГ и в значительной степени удовлетворяющей вышеперечисленным требованиям, приведена в [6] и показана на рис. 1.

Расчетный анализ схемы данной установки показывает, что при подаче СПГ в испарительный подогреватель 12 в количестве 0,5 т и при давлении воздуха на входе в теплообменник 2 равном 0,65 МПа в объеме около 6300 $\text{нм}^3/\text{ч}$, можно получить примерно 700 кг жидкого N_2 в час с одновременным получением 1200 $\text{нм}^3/\text{ч}$ газообразного технического O_2 , подаваемого на наполнительную рампу под давлением до 15 МПа.

Расчетные значения удельных затрат электроэнергии составляют около 0,4 кВт·ч/ м^3 O_2 и 0,5 кВт·ч/кг жидкого N_2 . Эти значения удельных энергетических затрат более чем в два раза ниже удельных энергетических затрат на получение данных продуктов разделения воздуха в обычных ВРУ малой и средней производительности.

Следует отметить, что существуют и другие инновационные решения по использованию холода СПГ в ВРУ.

Одним из возможных вариантов утилизации холода регазифицируемого СПГ может являться получение талой воды на небольших установках. Талая вода — это среда, которая последовательно претерпевала фазовые превращения: жидкость—твердое тело (лед)—жидкость. Согласно ТУ 0131-001-35482840-10, талая вода рекомендована к использованию в качестве фоновой питьевой режима в лечебно-оздоровительной практике (терапия больных ревматоидным артритом). Факторами, определяющими биологическую ценность талой воды, являются повышенная ее щелочность и содержание в жидкости микродоз пероксида водорода. При этом рядом исследователей было установлено, что максимальный уровень биологической активности талой воды проявляется при ее получении изо льда, формирующегося при скоростях намораживания, соответствующих криогенным температурам. В работе [8] показано, что такая технология может быть реализована при способе получения талой воды за счет утилизации холода регазифицируемого СПГ.

Использование холода регазифицируемого СПГ в данном способе получения талой воды позволит решить те же задачи, которые были сформулированы выше

по отношению к установкам малой производительности для производства продуктов разделения воздуха.

Оценим возможную экономию электроэнергии при получении талой воды с использованием холода, получаемого за счет утилизации холода СПГ.

Количество холода, требуемого для получения водяного льда, являющегося сырьем для получения талой воды, определяется затратами холода $q_{\text{охл}}$ на охлаждение воды от температуры окружающей среды до температуры замерзания, теплотой кристаллизации q_3 и теплотой $q_л$ охлаждения льда до конечной температуры:

$$q = q_{\text{охл}} + q_3 + q_л = [(T_в - T_0)c_в + r_3 + (T_0 - T_л)c_л] = \\ = [(293 - 273)4,186 + 335 + (273 - 223)2,1] = 523,72 \text{ кДж/кг},$$

где $T_0 = 273 \text{ К}$;

$T_в$ — температура воды на входе в вымораживатель, К;

$T_л$ — температура льда (средняя температура в конце процесса замораживания) $T_л = 223 \text{ К}$;

$c_в$ и $c_л$ — теплоемкости воды и льда, кДж/(кг · К);

r_3 — теплота плавления льда, кДж/кг.

Количество холода, получаемого при регазификации 1 кг СПГ при $p = 0,13 \text{ МПа}$

$$q_{\text{CH}_4} = r_{\text{CH}_4} + (i_в - i'') = 505,1 + \\ + (1090,91 - 800,2) = 795,81 \text{ кДж/кг},$$

где r_{CH_4} — скрытая теплота парообразования CH_4 при $p = 0,13 \text{ МПа}$;

i'' — энтальпия СПГ в состоянии сухого насыщенного пара при $p = 0,13 \text{ МПа}$;

$i_в$ — энтальпия газообразного CH_4 при $p = 0,12 \text{ МПа}$ и $T_в = 250 \text{ К}$.

Эта температура принята равной температуре CH_4 на выходе из испарителя.

Тогда расход СПГ на получение 1 кг (1 л) водяного льда, вычисляемый из баланса, равен

$$q = G_{\text{CH}_4} q_{\text{CH}_4}.$$

Откуда $G_{\text{CH}_4} = 0,658 \text{ кг СПГ/кг H}_2\text{O}$.

Экономия затрат электроэнергии при получении 1000 кг (л) водяного льда составит

$$l = G_{\text{CH}_4} q = 10^3 \cdot 523,72 \cdot 10^3 \cdot 0,658 \cdot 2,78 \cdot 10^{-7} = 95,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Вышеприведенные данные свидетельствуют о достаточно высокой эффективности утилизации холода регазифицируемого СПГ в ВРУ малой производительности и небольших установках для получения талой воды.

Список литературы

1. Вацлав Хрз, Чарт Ферокс. Виртуальные трубопроводы — эффективный способ транспортирования природного газа. // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. №6. 2008.
2. Чириков К. Ю., Мельник В. П. Использование СПГ в народном хозяйстве. — М.: ЦИНТИ Химнефтемаш, 1991.
3. Акулов Л. А. Установки и систем низкотемпературной техники. Ожижение природного газа и утилизация сжиженного природного газа при его регазификации. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2006.
4. Акулов Л. А. Использование холода сжиженного природного газа в установках разделения воздуха. — М.: ЦИНТИ Химнефтемаш, 1984.
5. Опыт эксплуатации первой в России котельной на сжиженном природном газе./С. Г. Сердюков, Ю. М. Стрельцов, И. Л. Хозорнов и др. Сжиженный природный газ в России. — СПб.-М.: Химиздат, 2004.
6. Патент РФ №2460952. Способ разделения воздуха.
7. Патент РФ №2315902. Способ утилизации холода регазификации сжиженного природного газа.
8. Данилов К. Л., Фокин Г. А. Энергосберегающая криогенно-газовая технология производства талой воды. // Вестник Международной академии холода. 2011. № 1.



РосБиоТех-2013

7-й международный биотехнологический форум-выставка

22-24 октября 2013

www.rosbiotech.com

Москва, ЦВК «Экспоцентр»

Тел./факс: +7 (495) 961-20-12,
+7 (499) 760-33-04

Тематика выставки:

- медицинская биотехнология; промышленная биотехнология;
- биоэнергетика; биотопливо; экологическая безопасность;
- сельскохозяйственная и пищевая биотехнология;
- морская биотехнология; лесная биотехнология;
- природо-охранная (экологическая) биотехнология;
- зеленая экономика – качество жизни и активное долголетие.