

БИОГАЗ НА СПГ

Мещерин Игорь Викторович,
президент Национальной палаты
инженеров,
доцент,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
к.т.н.

Разоренова Елизавета Павловна,
магистр кафедры Газохимии
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

ПРОИЗВОДСТВО СПГ – ОДНО ИЗ НАИБОЛЕЕ АКТИВНО РАЗВИВАЮЩИХСЯ НАПРАВЛЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ПОМИМО ЭКОЛОГИЧНОСТИ, К ДОСТОИНСТВАМ СПГ ОТНОСИТСЯ ЕГО БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ХРАНЕНИИ ПО СРАВНЕНИЮ СО СЖАТЫМ ГАЗОМ. АВТОРЫ СТАТЬИ ПРОИЗВЕЛИ РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТА ДЛЯ ДВУХ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ: МЕСТНОГО РЫНКА И ЭКСПОРТНЫХ ПОСТАВОК

LNG PRODUCTION IS ONE OF THE MOST ACTIVELY DEVELOPING AREAS IN THE ENERGY SECTOR. THE ADVANTAGES OF LNG, IN ADDITION TO ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS, INCLUDE ITS SAFETY DURING TRANSPORTATION AND STORAGE COMPARED TO COMPRESSED GAS. THE AUTHORS OF THE ARTICLE CALCULATED THE TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THE PROJECT FOR TWO IMPLEMENTATION OPTIONS: THE LOCAL MARKET AND EXPORT SUPPLIES

Ключевые слова: биогаз, сжиженный природный газ, экспорт газа, транспортировка и хранение газа, малотоннажные СПГ-заводы.

Малотоннажные предприятия, производительностью до 100 тыс. т/год, с каждым годом играют все более значимую роль в структуре газовой промышленности. Это связано с растущей потребностью транспорта в СПГ, как моторном топливе, а также с тем, что капитальные вложения, сроки строительства и окупаемости у малотоннажного завода при правильной конфигурации проекта существенно меньше, чем у крупнотоннажного производства.

Развитию рынка малотоннажного СПГ способствует ужесточение экологического регулирования на морском транспорте. Сейчас содержание серы в судовом топливе в Балтийском и Северном морях не должно превышать 0,1%. Подобные ужесточения ждут и другие акватории мира. Это заставит морских перевозчиков искать замену мазуту, одной из альтернатив которому является сжиженный газ.

Россия, которая построила первую малотоннажную установку в 1992 году, сегодня отстает от мировых лидеров малотоннажного СПГ. В настоящее время реализовано около двадцати проектов, тогда как в Китае эксплуатируются уже порядка 500 мини-заводов, работает около 200 тысяч автомобилей на СПГ, построено 20 бункеровочных понтонов для заправки судов и около 2 тысяч других инфраструктурных объектов. К 2025 году планируется удвоить эти показатели [1]. Малотоннажные заводы зачастую используют криогенное оборудование, спроектированное российскими производителями и пользующееся спросом за рубежом. По данным российской компании «Криогенмаш», значительная часть заводов по сжижению газа в Китае работает именно на российском оборудовании.

Считается, что на российском рынке строительство мини-заводов по сжижению природного газа позволит решить сразу три задачи: провести газификацию удаленных районов, в которые прокладка трубопроводов затруднена по экономическим или политическим причинам; использовать ресурсы небольших газовых месторождений; перевести часть транспорта на газ, что будет способствовать расширению внутреннего рынка природного газа. Кроме того, малотоннажное производство СПГ используется при создании проектов плавучих заводов и может внести свой вклад в рациональное использование нетрадиционных энергоресурсов: попутного

ФАКТЫ

0,1 %

максимально разрешенное содержание серы в судовом топливе в Балтийском и Северном морях

нефтяного газа, метана угольных пластов, сланцевого газа, а также такого возобновляемого ресурса как биогаз.

Использование биогаза

Биогаз – горючая газовая смесь, которая образуется при метаногенезе, микробиологическом анаэробном процессе метанового брожения. Налаживание данного процесса позволит сократить выбросы метана в атмосферу, тем самым снизив парниковый эффект. Кроме биогаза в ходе процесса образуется еще один ценный продукт – органические удобрения, которые в отличие от синтетических аналогов не загрязняют окружающую среду и грунтовые воды.

Сырьем для производства биогаза могут служить любые органические вещества: отходы животноводства, растениеводства, пищевой промышленности, сточные воды, органическая часть бытовых отходов. От используемого сырья будет зависеть состав биогаза, в среднем он может содержать 65% CH₄, 30% CO₂, 1% H₂S, а также небольшие количества азота, аммиака и кислорода.

Экономическое развитие любой страны связано с увеличением потребления энергоресурсов, но в последние годы вместе с ростом цен на ископаемые энергоресурсы произошло ужесточение экологической политики, кроме того, традиционные источники энергии являются не возобновляемыми, поэтому существует необходимость в их экономии. Решением этих проблем является использование возобновляемых источников энергии, одним из которых и является биогаз.

Одной из причин развития производства биогаза в Европе стало принятие Директивы ЕС «20/20/20». Данная программа направлена на снижение выбросов углекислого газа на 20%, внедрение 20% производства энергии из возобновляемых источников и достижение 20% эффективности до 2020 года. Лидером по производству биогаза в Европе является Германия, в которой эксплуатируется около 8000 биогазовых установок. Это было достигнуто путем принятия фиксированных тарифов на электроэнергию и газ, в том числе биогаз, очищенный до биометана, который пригоден для впрыска в сеть, а также упрощением процедуры подключения к газовым сетям. Минусом данных мер стимулирования является увеличение капитальных затрат.

В России существует огромная проблема утилизации отходов, в том числе отходов агропромышленного комплекса, количество которых достигает 600 млн т/год. При этом большая часть этих отходов не утилизируется, а лишь вывозится и складировается, что влечет за собой множество экологических проблем: окисление почв и отчуждение сельскохозяйственных земель. В связи с этим существует большой потенциал для производства биогаза. По данным Российского энергетического агентства (РЭА), используя существующий потенциал отходов сельского хозяйства страны, можно вырабатывать 60–70 млрд м³ биогаза. Этого объема достаточно, чтобы удовлетворить потребности в биогазе как внутри страны, так и в странах Западной Европы. Развитию производства биогаза способствуют и другие факторы, такие как рост цен на газ и штрафов за загрязнение окружающей среды, удаленность многих пунктов от газораспределительных сетей и сложность подключения к ним. Помимо того, что многие хозяйства начинают использовать производство биогаза для собственных нужд, уже реализованы и крупные объекты по производству биогаза в России, самым ярким примером является переработка органических отходов на Курьяновской и Люберецкой станциях азрации [2].

Несмотря на это производство биогаза развивается слабо, в основном, это связано с конкуренцией со стороны традиционных энергоносителей, консервативностью владельцев объектов, на базе которых можно было бы осуществить производство биогаза, а также с отсутствием государственной поддержки и нормативно-правовой базы. Отсутствие законодательного регулирования проявляется в том, что производство биогаза может квалифицироваться только как добыча полезных ископаемых, для чего требуется лицензирование. Существует ряд законопроектов, которые направлены на поддержку российского агропромышленного комплекса и производства на его базе биогаза, но в нормативно-правовой базе отсутствует само понятие биогаза, отсутствуют документы, которые регламентировали бы строительство, эксплуатацию биогазовых установок, а также требования к качеству биометана и его транспортировке.

ФАКТЫ

500

мини-заводов СПГ, около 200 тысяч автомобилей на СПГ, 20 бункеровочных понтонов для заправки судов СПГ и около 2 тысяч других инфраструктурных объектов эксплуатируются в Китае

20/20/20

директива ЕС, направленная на снижение выбросов углекислого газа на 20%, внедрение 20% производства энергии из возобновляемых источников и достижение 20% эффективности до 2020 года

Что касается мировой практики – в 2018 году в Норвегии состоялась официальное открытие крупнейшего в мире завода по сжижению биогаза. Терминал был построен рядом с целлюлозно-бумажным комбинатом, промышленные отходы фабрики станут сырьем для производства биометана, который затем будет сжиматься. Проектная мощность предприятия позволяет ему обрабатывать до 3 тыс. м³/ч биогаза. Полученный СПГ будет использоваться для заправки транспортных средств общего пользования, двигатели которых работают на сжиженном газе. Этот завод стал крупнейшим в мире, подобных предприятий пока насчитываются единицы. Однако в ближайшем будущем ситуация может измениться. В Голландии готовы начать промышленное производство сжиженного биогаза для автомобильных двигателей. Будут построены два завода по производству биометана и четыре линии по сжижению газа в Нидерландах и Бельгии [3].

Описание проекта

Недавно сотрудниками кафедры газохимии РГУ НГ (НИУ) имени И.М. Губкина было подготовлено предложение по реализации производства СПГ из биогаза, получаемого на базе птицефабрики, расположенной в Северо-западном регионе России. Были рассмотрены основные технологии, применимые для малотоннажного производства СПГ, которые были смоделированы при помощи программного пакета Aspen Hysys V10 для выбора оптимальной. Проведен расчет стоимости реализации и расчет технико-экономических показателей проекта для двух вариантов реализации продукции: продажа на экспорт и поставки на местный рынок.

Расчеты и результаты

Параметры биогаза, поступающего на установку сжижения после очистки и осушки представлены в таблице 1. Стандартным требованием к сырьевому природному газу является его очистка от CO₂ до концентрации не более 50 ppm,

ТАБЛИЦА 1. Исходные данные

Состав газа	97% CH ₄ 3% N ₂
Температура газа на входе	40°С
Давление газа на входе	36 бар
Давление СПГ	4 бар
Температура после АВО	40°С
КПД компрессоров	0,65 для компрессоров объемного действия 0,75 для центробежных
Величина недорекуперации для теплообменников	5 К и 3 К

от воды – до концентрации не более 5 ppm. Подобные концентрации примесей не влияют на параметры процесса сжижения и в расчете в программном пакете не учитываются.

Для малотоннажного производства СПГ из биометана возможно использование двух вариантов технологии: открытого и закрытого циклов.

В технологии открытого цикла в качестве хладагента используется часть потока сырьевого газа. Коэффициент ожигения у таких циклов ниже, поэтому установки данного типа целесообразно использовать на объектах, куда газ поступает под повышенным давлением, необходимым для сжижения, и где есть возможность использования отходящего потока холодного газа, не достигшего точки сжижения. Такова технология АО «Криогенмаш»: дроссельно-эжекторный цикл (0,3–1,5 тонны СПГ в час на одной линии).

Данная установка, описанная в [4], включает в себя цикл высокого давления с предварительным фреоновым охлаждением (рисунок 1). В качестве расширительных устройств используются последовательно установленные дроссель-эжектор и дроссель, полезно использующие энергию давления газа для организации циркуляционного холодильного контура при повышенном давлении в обратном потоке. Благодаря более высокому

давлению обратного потока, удается снизить потери в теплообменнике, а также уменьшить расход энергии на сжижение. Все оборудование для процесса изготавливает АО «Криогенмаш».

Компримированный и осушенный газ проходит последовательно теплообменники ТО1-3, затем расширяется в эжекторе. После этого поток поступает в сепаратор, откуда жидкая фаза направляется на дросселирование, а паровая фаза направляется обратным потоком через теплообменники ТО3 и ТО1, компримируется до давления сырьевого потока и вместе с ним снова поступает на сжижение. Отпарной газ из емкости хранения направляется на дожатие в дроссель-эжектор.

Достоинствами данного процесса являются простота и надежность конструкции. Однако из-за низкого коэффициента ожигения требуется рециркуляция значительной части потока газа, что увеличивает нагрузку на компрессор. Кроме того, недостатком процесса является то, что в рециркуляционном потоке остается большая часть азота, содержащаяся в сырьевом газе. Таким образом, азот накапливается в установке, что значительно снижает ее эффективность. Наиболее оптимально использование такого типа установок либо на АГНКС, где есть компрессор высокого давления, либо на объектах, где есть возможность использования неконденсированной части потока. Еще одним недостатком процесса является

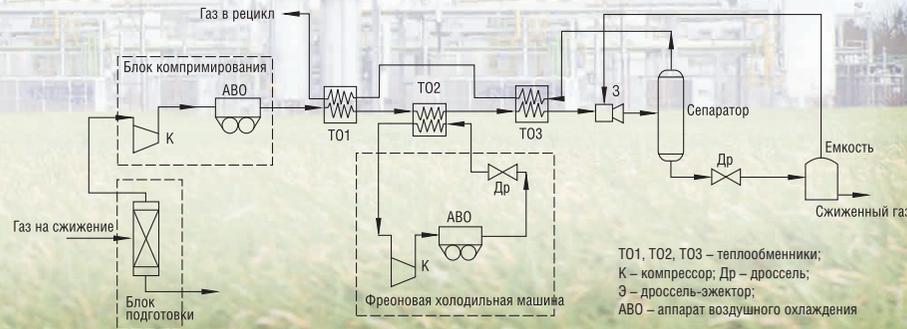
ФАКТЫ

Около

8000

биогазовых установок эксплуатируются в Германии

РИС. 1. Дроссельно-эжекторный цикл [4]



ТО1, ТО2, ТО3 – теплообменники;
К – компрессор; Др – дроссель;
Э – дроссель-эжектор;
АВО – аппарат воздушного охлаждения

РИС. 2. Модель ожигения биогаза в цикле высокого давления с эжектором

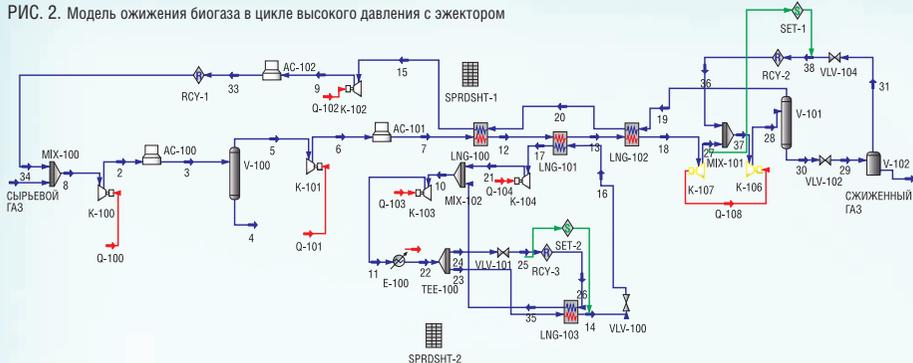
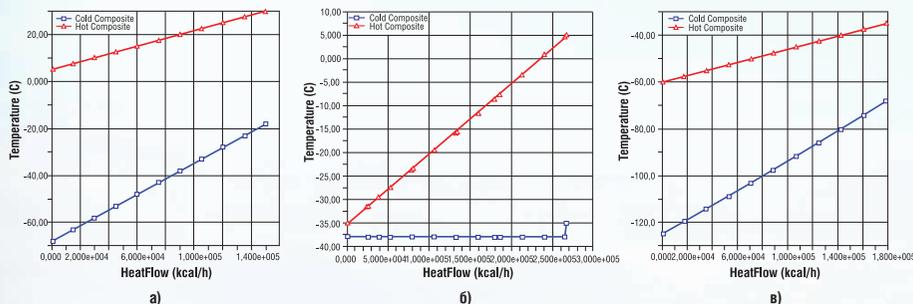


РИС. 3. Q-T диаграммы теплообменников



а) LNG-100, б) LNG-101, в) LNG-102

ограничение масштабируемости одной линии, по причине сложности обеспечения прочности для теплообменников при увеличении производительности.

Смоделируем общую обвязку установки в соответствии со схемой цикла на рисунке 2.

Параметры потоков задаем таким образом, чтобы на Q-T диаграмме (рисунок 3) отсутствовали температурные засечки в теплообменниках. В цикле предварительного охлаждения в качестве хладагента используем фреон R22 (дифтормонохлорметан CHF₂Cl). КПД компрессора холодильной машины принимаем равным 0,65, так как для цикла предохлаждения целесообразно применять поршневые или винтовые компрессоры с меньшим КПД, чем у центробежных. В модели используется компрессор с промежуточным впрыском, который показан при помощи двух компрессоров. Эжектор смоделирован при помощи детандер-компрессорного агрегата. В циркулирующем потоке накапливается азот. В рассчитанной модели количество азота в точке 32 составляет 14,62%. На практике это может стать серьезным недостатком схемы, поскольку будет возникать необходимость в частых остановках, чтобы сократить количество азота,

ФАКТЫ

2018 г.

в Норвегии открылся крупнейший в мире завод по сжижению биогаза

или в установке дополнительной ректификационной колонны. Перечисленные варианты в рамках данной модели не рассматриваются. Все параметры для каждой точки сведены в таблицу 2.

Процессы с использованием хладагентов можно разделить на две группы. В первой в качестве хладагента используется азот, во второй – смешанный хладагент. Получение биогаза относится к малотоннажным производствам, поэтому рационально использовать относительно простые процессы, содержащие не более двух холодильных контуров.

Азотный холодильный цикл с детандерами описан в [4]. Аппаратурное оформление включает в себя турбодетандеры, компрессоры и пластинчато-ребристые теплообменники. Технологическая схема процесса показана на рисунке 4.

ТАБЛИЦА 2. Параметры точек цикла высокого давления с эжектором

№	Сырьевой газ	2	3	4	5	6	7	8	9
T, K	40,00	195,31	30,00	30,00	30,00	81,22	30,00	39,98	105,28
p, бар	36,00	130,00	129,30	129,30	129,30	210,00	209,20	36,00	36,00
№	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T, K	58,37	144,68	5,00	-35,00	-3,61	-17,80	-38,00	-35,00	-60,00
p, бар	3,75	11,95	208,20	207,20	11,95	11,36	1,18	0,68	206,20
№	19	20	21	22	23	24	25	26	27
T, K	-124,87	-68,19	74,15	30,00	30,00	30,00	-8,61	-8,61	-146,32
p, бар	12,36	11,86	3,75	11,95	11,95	11,95	3,75	3,75	4,00
№	28	29	30	31	33	34	35	36	37
T, K	-124,87	-144,54	-124,87	-144,54	40,00	40,00	-8,61	-144,53	-146,18
p, бар	12,36	4,00	12,36	4,00	36,00	36,00	3,75	4,00	4,00
№	38	Сжиженный газ							
T, K	-144,54	-144,54							
p, бар	4,00	4,00							

РИС. 4. Принципиальная схема азотного цикла с двумя детандерами

ТО1, ТО2 – теплообменники; К – компрессор; Др – дроссель; АВО – аппарат воздушного охлаждения

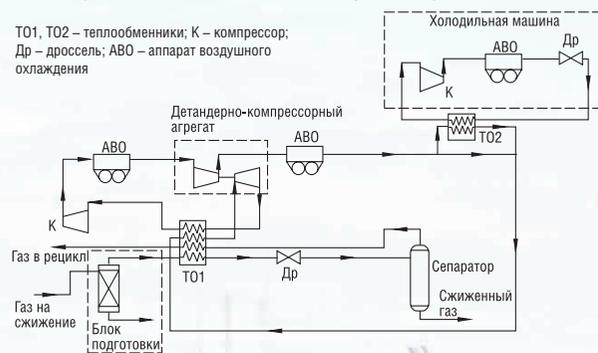
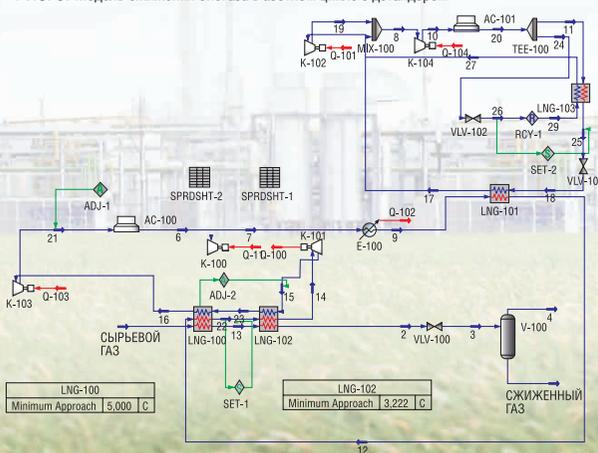


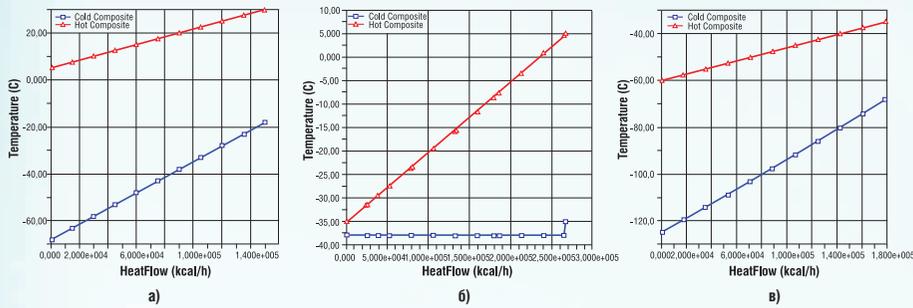
РИС. 5. Модель ожигения биогаза в азотном цикле с детандером



Компримированный и очищенный газ проходит через теплообменник ТО1, затем дросселируется и поступает в сепаратор для отделения жидкой фазы. Хладагент после ТО1 ступенчато сжимается, тепло компримирования отводится при помощи воздушного (или опционально – водяного) охлаждения. Затем азот направляется в ТО2, где охлаждается за счет использования фреоновой холодильной машины.

Стоит отметить, что во всем контуре охлаждения азот не меняет своего агрегатного состояния и циркулирует в газовой фазе. Так как теплоемкость потока газообразного азота ниже, чем теплоемкость конденсирующегося потока природного газа, для работы такого цикла расход азота должен быть значительно выше расхода ожигаемого газа. Из-за большого объемного расхода азота для его циркуляции, как правило, применяют центробежные компрессоры и детандеры. Кроме того, использование азотного цикла для сжижения природного газа не позволяет добиться равенства водяных эквивалентов потоков в теплообменных аппаратах и, как следствие, минимальной недорекупации в них, что в свою очередь приводит к потерям и увеличению энергозатрат на сжижение. Часть энергии, затраченной на компримирование азота,

РИС. 6. Q-T диаграммы теплообменников

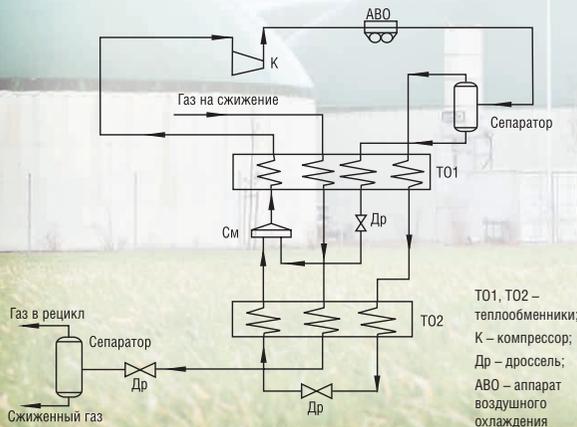


а) LNG-100, б) LNG-101, в) LNG-102

ТАБЛИЦА 3. Параметры точек цикла высокого давления с эжектором

№	Сырьевой газ	2	3	4	6	7	8	9	10
T, K	40,00	-143,82	-146,49	-146,49	40,00	81,72	41,10	40,00	122,60
p, бар	36,00	36,00	4,00	4,00	6,08	8,50	5,06	8,50	15,38
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19
T, K	40,00	-20,00	-50,00	-100,10	-147,04	-16,38	-20,00	-30,00	52,40
p, бар	15,38	8,50	36,00	8,50	2,00	2,00	1,66	1,66	5,06
№	20	21	22	23	24	25	26	27	29
T, K	40,00	110,92	-50,00	-60,20	40,00	5,34	0,34	0,34	0,34
p, бар	15,38	6,08	8,50	2,00	15,38	15,38	5,06	5,06	5,06
№	Сжиженный газ								
T, K	-146,49								
p, бар	4,00								

РИС. 7. Принципиальная схема однопоточного цикла сжижения на смешанном холодильном агенте



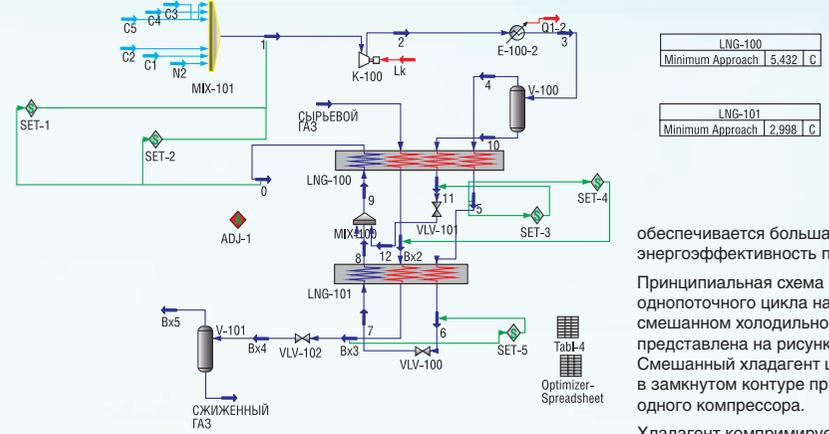
возвращается в процесс за счет использования детандеров.

К достоинствам процесса относится доступность азота в качестве хладагента, а также безопасность его эксплуатации.

Смоделируем общую обвязку установки в соответствии со схемой цикла на рисунке 5.

Параметры потоков и расход азота во внешнем контуре подбираем таким образом, чтобы минимальная величина недорекуперации для каждого теплообменника соответствовала заданной, а на Q-T диаграмме теплообменников (рисунок 6) отсутствовали температурные засечки. Холодильная машина предохлаждения азота задана аналогично фреоновой холодильной машине в цикле высокого давления с эжектором. Все параметры для каждой точки сведены в таблицу 3.

РИС. 8. Модель охижения биогаза в цикле со смешанным хладагентом



LNG-100
Minimum Approach 5,432 C
LNG-101
Minimum Approach 2,998 C

обеспечивается большая энергоэффективность процесса.

Принципиальная схема однопоточного цикла на смешанном холодильном агенте представлена на рисунке 7. Смешанный хладагент циркулирует в замкнутом контуре при помощи одного компрессора.

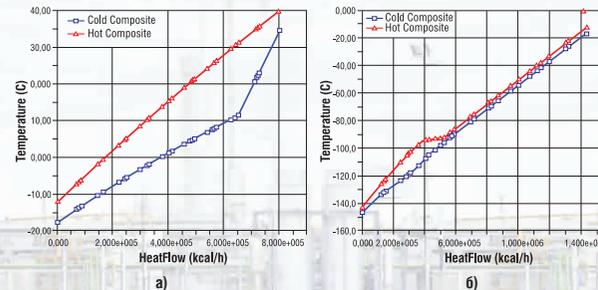
Хладагент компримируется до оптимального давления, величина которого зависит от его состава. Тепло компримирования снимается при помощи водяного или воздушного охлаждения. Газообразный поток разделяется в сепараторе, обе фазы, паровая и жидкая, направляются в теплообменник. Жидкая фаза выводится после первой ступени охлаждения, дросселируется и возвращается в теплообменник обратным потоком. В процессе теплообмена компоненты второго потока хладагента частично конденсируются и выводятся для сепарации после первой ступени. Далее снова получаем два потока, которые направляются на вторую ступень охлаждения. Количество последующих ступеней охлаждения и сепарирования хладагента определяется составом хладагента и степенью совершенства термодинамического цикла. Для биогаза, в котором отсутствуют тяжелые углеводороды, при хорошем подборе состава холодильного агента представляется возможным ограничиться даже одной или двумя ступенями разделения холодильного агента.

Смоделируем общую обвязку установки в соответствии со схемой цикла на рисунке 8. Задаем минимальную недорекуперацию в теплообменнике LNG-100 5 К, в теплообменнике LNG-101 3 К. При помощи оптимизатора подбираем такие значения и соотношения

ТАБЛИЦА 4. Состав оптимизированного смесового хладагента

Компонент	Мольная концентрация
Метан	0,3634
Азот	0,0558
Этан	0,2931
Пропан	0,0011
Изобутан	0,2179
Изопентан	0,0687

РИС. 9. Q-T диаграммы теплообменников



а - LNG-100, б - LNG-101

Цикл на смесовом хладагенте, разработанный НИПИ «СПГ» на базе факультета «Энергомашиностроение» МГТУ им Баумана. Смешанный хладагент состоит из азота и низкомолекулярных углеводородов от метана до изопентана. Из-за многокомпонентного состава хладагент кипит не при одной температуре, как однокомпонентный хладагент, а в широком интервале температур. Благодаря этому

ТАБЛИЦА 5. Параметры точек цикла на смешанном хладагенте

№	Сырьевой газ	вх2	вх3	вх4	вх5	Сжиженный газ	0
T, К	40,00	-12,19	-143,82	-146,49	-146,49	-146,49	34,57
p, бар	36,00	36,00	36,00	4,00	4,00	4,00	4,74
№	1	2	3	4	5	6	7
T, К	34,57	148,89	40,00	40,00	-12,19	-143,82	-146,82
p, бар	4,74	26,56	26,56	26,56	26,56	26,56	4,74
№	8	9	10	11	12		
T, К	-16,78	-17,90	40,00	-12,19	-21,56		
p, бар	4,74	4,74	26,56	26,56	4,74		

ТАБЛИЦА 6. Параметры точек цикла на смешанном хладагенте

Цикл	Доля ожидаемого потока	Суммарный расход хладагента, кг/ч	Суммарная работа сжатия в компрессоре, кВт	Удельные энергетические затраты на получение 1 кг сжиженного газа, кВт·ч/кг
Цикл высокого давления с эжектором	0,22	5698	1639	0,82
Внешний азотный детандерный цикл	0,97	32800	1538	0,77
Смесовой цикл внешнего охлаждения	0,97	14673,35	860,7	0,43

расходов компонентов хладагента, в состав которого входят азот и углеводороды от метана до изопентана, чтобы минимальная величина недорекуперации для каждого теплообменника соответствовала заданной, а на Q-T диаграмме теплообменников (рисунок 9) отсутствовали температурные засечки.

Состав подобранного хладагента представлен в таблице 4.

Как видно из Q-T диаграмм теплообменников для рассмотренных процессов, у варианта на смешанном хладагенте по сравнению с другими циклами кривые нагревания и охлаждения потоков находятся максимально близко друг к другу. Это говорит об энергоэффективности процесса и о низких тепловых потерях в цикле.

Все параметры для каждой точки сведены в таблицу 5.

Сравним основные рассчитанные показатели для трех циклов. Данные для сравнения приведены в таблице 6.

Можно сделать вывод, что из трех рассматриваемых циклов сжижения биогаза наиболее эффективным является смешанный цикл внешнего охлаждения за счет наименьших энергозатрат на производство 1 кг сжиженного газа.

Проведен расчет технико-экономических показателей проекта для двух вариантов реализации – местного рынка или экспортных поставок. В экспортном варианте реализация продукции рассматривается путем продажи СПГ в Финляндию по цене €424 за тонну. Вариант

ФАКТЫ

До **3** тыс. м³/ч биогаза составляет мощность завода в Норвегии

местных поставок рассмотрен на примере коттеджного поселка в Ленинградской области, для отопления которого используется котельная установка, работающая на СПГ. Оба проекта окупятся к началу третьего года работы установки, но чистая прибыль при экспортных поставках превысит прибыль от реализации продукции на местном рынке. ●

Литература

1. Владимир Смирнов «И газ, и два, и три» // URL: <http://www.aem-group.ru/mediacenter/publishing/intervyu/intervyu-2018/vladimir-smirnov-i-gaz-i-dva-i-tri.html> (Дата обращения 08.08.2019).
2. Карасевич В.А., Албул А.В., Аколова Г.С. Биогаз как комплексное решение экономических и экологических задач // Научный журнал Российского газового общества, № 2, 2014, с. 148–152.
3. В Норвегии появился крупнейший в мире завод по сжижению биогаза // URL: <http://gasworld.ru/news/world/y-norvegii-poyavilsya-kрупнейshiy-v-mire-zavod-po-sgigeniyu-biogaza/> (дата обращения: 08.08.2019).
4. Кондратенко А.Д., Карлов А.Б., Козлов А.М., Мещерин И.В. Российские малотоннажные производства по сжижению природного газа // Нефтегазохимия, 2016, № 4, с. 31–36.

KEYWORDS: *biogas, liquefied natural gas, gas export, gas transportation and storage, low-tonnage LNG plants.*

А ИЗ НАШЕГО ОКНА...



Фото из окна клубного дома Art View House

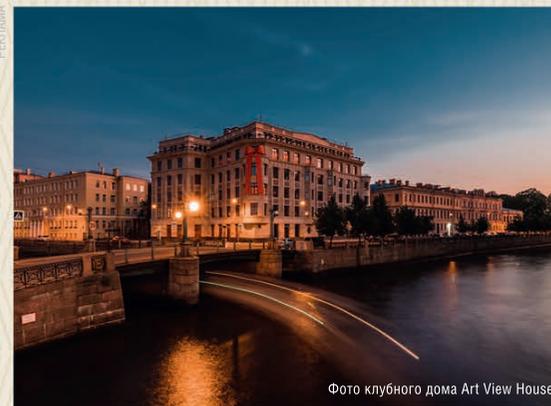


Фото клубного дома Art View House

Лучший элитный дом Санкт-Петербурга*

№ 1 в рейтинге видовых квартир**

Всего 24 квартиры в доме

* Победитель федеральной премии Urban Awards-2019 в номинации «Лучший жилой комплекс элит-класса Санкт-Петербурга».

** По версии газеты «Деловой Петербург».

+7(812) 605-99-99 artviewhouse.com

Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 102