

Казанский Федеральный Университет
Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов¹
Kazan Federal University,
Department of high-viscosity oils and natural bitumen
Российское газовое общество²
Russian Gas Society

Технологический процесс APCI C3MR

APCI C3MR Process Technology

Тухбиев Рамиль Фанисович, Tukhbiev Ramil Fanisovich ^c

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich ^b

Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich ^a,

Master's degree of the department of high-viscosity oils and natural bitumen^{1,c}

Doctor of technical sciences, professor of the department of high-viscosity oils and natural bitumen ^{1,a},

Candidate of technical sciences,

Associate professor of the department of high-viscosity oils and natural bitumen ^{1,2,b}

Member of the RGS Expert Council, Acting Head of the Hydrogen and Alternative Energy Group^{2,b}

Kazan, Russia

E-mail: kemalov@mail.ru

Аннотация: C3MR (Air Product and Chemical Inc.) - процесс с предварительным трехуровневым предварительным охлаждением пропаном и основным дроссельным циклом на CX с одним значением давления расширения и двумя температурными уровнями расширяемого хладагента. В 2011 он применялся на 73 технологических линиях и обеспечивал 53% мирового производства СПГ.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, процесс APCI C3MR, хладагент, дроссель

Abstract: C3MR (Air Product and Chemical Inc.) is a process with a preliminary three-level propane pre-cooling and a main throttle cycle on CX with one expansion pressure value and two temperature levels of the expandable refrigerant. In 2011, it was used on 73 production lines and provided 53% of global LNG production.

Keywords: liquefied natural gas, APCI C3MR process, refrigerant, choke

Введение (Introduction)

Ежегодно потребляет свыше 3 трлн м³ газа, и спрос на него может вырасти до 4,5 трлн м³ к 2035 году. При этом ключевым регионом добычи природного газа в ближайшей перспективе станет Восточная Европа - Евразия (включая Россию и район Каспия). Добыча газа только в России за четверть века вырастет на 220 млрд м³ за счет запасов полуострова Ямал, Штокмановского месторождения и месторождений Восточной Сибири. Однако, локализация месторождений газа часто не совпадает с ведущими рынками его потребления [1,2,3,4,5,6].

Сжиженный природный газ (СПГ) представляет собой жидкую многокомпонентную смесь легких углеводородов, основу которой составляет метан. Для получения СПГ природный газ вначале очищают от углекислого газа и сероводорода, затем осушают - удаляют влагу и очищают от ртути, затем отделяют фракцию C₃ и более тяжелые углеводороды. Оставшийся газообразный метан, в зависимости от требований к продукции по калорийности, может в качестве примесей иметь 3-4 % этана, 2-3 % пропана, до 2 % бутанов и до 1,5 % азота. Если эту смесь метана с другими газами охладить примерно до температуры -160 °С при давлении чуть больше атмосферного (температура кипения чистого метана при атмосферном давлении -161,5 °С), то он превращается в жидкость.

C3MR (Air Products and Chemicals Inc.) - процесс с предварительным трехуровневым предварительным охлаждением пропаном и основным дроссельным циклом на СХ с одним значением давления расширения и двумя температурными уровнями расширяемого хладагента.

Анализ информации по процессам сжижения газа показал, что большинство действующих заводов СПГ использует технологию смешанного хладагента с предварительным пропановым охлаждением. Разработчиком процесса является компания Air Products & Chemical Inc (APCI).

Основная часть

Структура мирового опыта применения технологий сжижения природного газа, показанного на рисунке 1 показывает, что каждая второй завод по сжижению природного газа использует технологию C3MR (APCI), еще четверть приходится на ее модификации (C3MR Split MR, C3MR AP-X).

В настоящее время, после истечения срока действия ряда патентов APCI, лицензии на данную технологию, а также на ряд ее видоизменений, таких как параллельная система смешанного хладагента (PMR), предоставляет также компания Shell.

Кроме того, компания APCI предлагает ряд видоизменений технологии смешанного хладагента с предварительным пропановым охлаждением - технологию Split MR™, и недавно разработанную технологию производства СПГ - AP-X™, позволяющую строить технологические линии производительностью свыше 5 млн т/год.

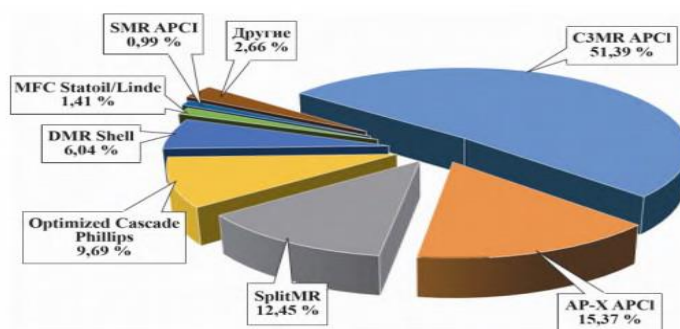


Рисунок 1- Промышленное использование технологии сжижения природного газа в мире

Процесс APCI C3MR включает 2 цикла охлаждения, показанного на рисунке 2. Цикл предварительного охлаждения, включающий серии теплообменников, использует пропан для охлаждения природного газа и смешанного хладагента, используемого в основном цикле сжижения. Три или четыре ступени пропанового цикла испаряют пропан при различных давлениях, чтобы предварительное охлаждение природного газа и смешанного хладагента происходило постепенно.

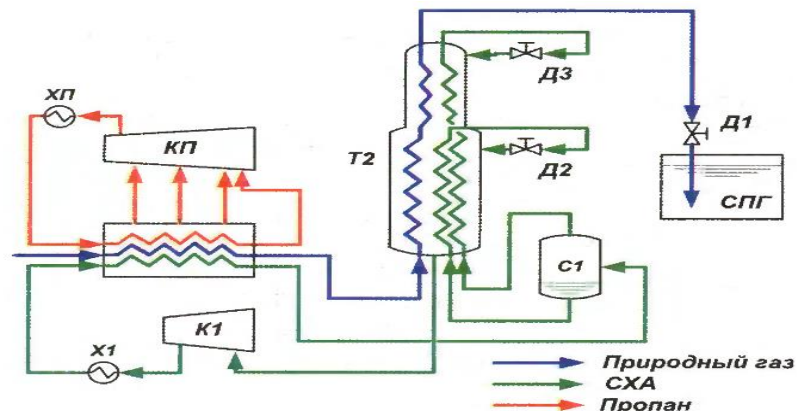


Рисунок 2- Принципиальная схема процесса APCI C3MR

В технологии C3MR в качестве предварительного охлаждения используется чистый хладагент - пропан, в отличие от двух других технологий, где охлаждение осуществляется смешанными хладагентами.

Многокомпонентный холодильный агент состоит из смеси азота, метана, этана и пропана. После сжатия в компрессоре K1 хладагент охлаждается в пропановом цикле до температуры (-30)-(-39) C и подается в сепаратор для разделения на газовую и жидкую фазы. Процесс охлаждения природного газа в основном криогенном теплообменнике T2 происходит так же, как в процессе APCI C3MR.

Природный газ после очистки и осушки, находясь под давлением 6,7 МПа, охлаждается в пропановом цикле до (-30)-(-39) C, затем подается в трубный пучок основного криогенного теплообменника, где конденсируется и переохлаждается смешанным хладагентом, проходящим в межтрубном пространстве, до (-150)-(-162) C. Сжиженный газ выходит из верхней части криогенного теплообменника под давлением и направляется в расширительное устройство (дрессель или детандер) для сброса давления и финального охлаждения. Затем СПГ подается либо в сепаратор для разделения на газовую или жидкие фазы, либо на установку хранения.

В зависимости от состава природного газа, после цикла предварительного охлаждения часть тяжелых компонентов газа может выпасть в виде жидкости, которую необходимо удалить из основного потока газа. Эту жидкость направляют на установку фракционирования для дальнейшего разделения и

производства компонентов холодильной смеси [1].

В различных вариантах процесса APCI C3MR используется паровые или газовые турбины для привода компрессоров, воздушное или водяное внешнее охлаждение. Процесс применим для природного газа с различными составами. К преимуществам процесса относятся минимальное число единиц оборудования, эффективность, оперативная гибкость и надежность.

Такая схема охлаждения позволяет получать сжиженный природный газ производительностью 5 млн т/год, причем выработка продукта равномерная на всем протяжении года.

Чаще всего, в качестве привода используется газотурбинный агрегат, который в условиях арктического климата выглядит более предпочтительным, нежели электрический, в качестве привода для компрессорного оборудования. Объясняется это доступностью газа в качестве топлива для газотурбинной установки, в то время как для электропривода требуется строительство собственной электростанции (где также необходимо использование газотурбинных агрегатов) и линий электроснабжения, что увеличивает капитальные затраты на строительство завода СПГ. Для технологии сжижения природного газа методом C3MR характерно неравномерное распределение мощности компрессорной линии в течение года [2].

Производительность завода СПГ и мощность цикла сжижения по технологии C3MR, представлена на рисунке 3.

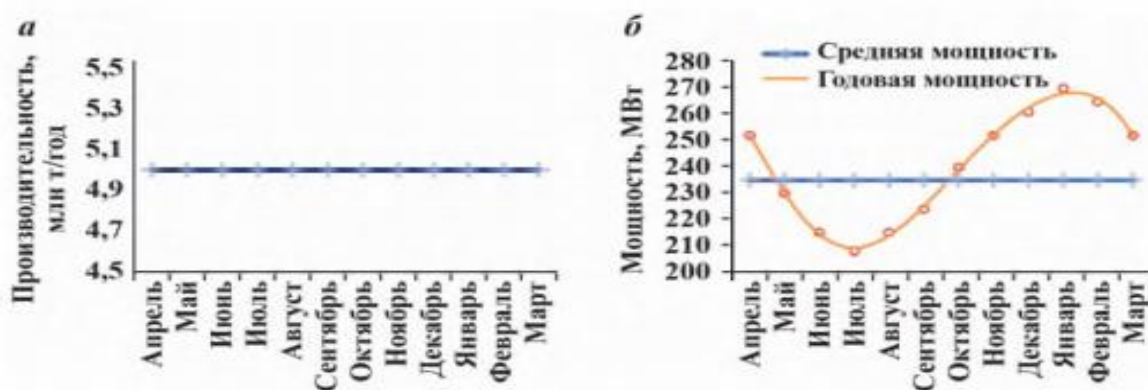


Рисунок 3 – Производительность завода СПГ и мощность цикла сжижения по технологии C3MR

В таблице 1 и 2 представлены исходные данные для моделирования процесса СЗМР и параметры оптимизации и их границы.

Таблица 1 – Исходные данные для моделирования процесса СЗМР

Параметры сырья	Значение
Температура, С	32
Давление, атм	50
Состав, %	
-метан	91,33
-этан	5,36
-пропан	2,14
-и-бутан	0,46
-н-бутан	0,47
-и-пентан	0,01
-н-пентан	0,01
-азот	0,22
Максимальная температура отходящей воды, С	40

Таблица 2 – Параметры оптимизации и их границы для процесса СЗМР

Переменная	Нижний уровень	Верхний уровень
Цикл смешанного хладагента	0,0	0,3
Массовый расход азота, кг/ч	0,3	0,8
Массовый расход метана, кг/ч	0,5	1,3
Массовый расход этана, кг/ч	0,2	0,8
Массовый расход пропана, кг/ч	8	13

Давление на выходе из компрессора, атм	50	55
Цикл пропана		
Первая ступень охлаждения, С	15	30
Вторая ступень охлаждения, С	0	10
Третья ступень охлаждения, С	-20	-5

Программное обеспечение GIBBS может быть с успехом использовано для моделирования процессов сжижения природного газа и производства СПГ.

Программное обеспечение GIBBS (начиная с версии 3.9.0.1) может быть успешно использовано для моделирования технологического процесса установки производства СПГ. В промышленных установках по производству СПГ часто используется процесс C3-MR, разработанный APCI.

Этот процесс предусматривает предварительное охлаждение природного газа жидким пропаном и дальнейшее охлаждение смесевым холодильным циклом. Покажем, как этот процесс может быть смоделирован в GIBBS.

Схема процесса, созданная в среде GIBBS, показана на рисунке 4.

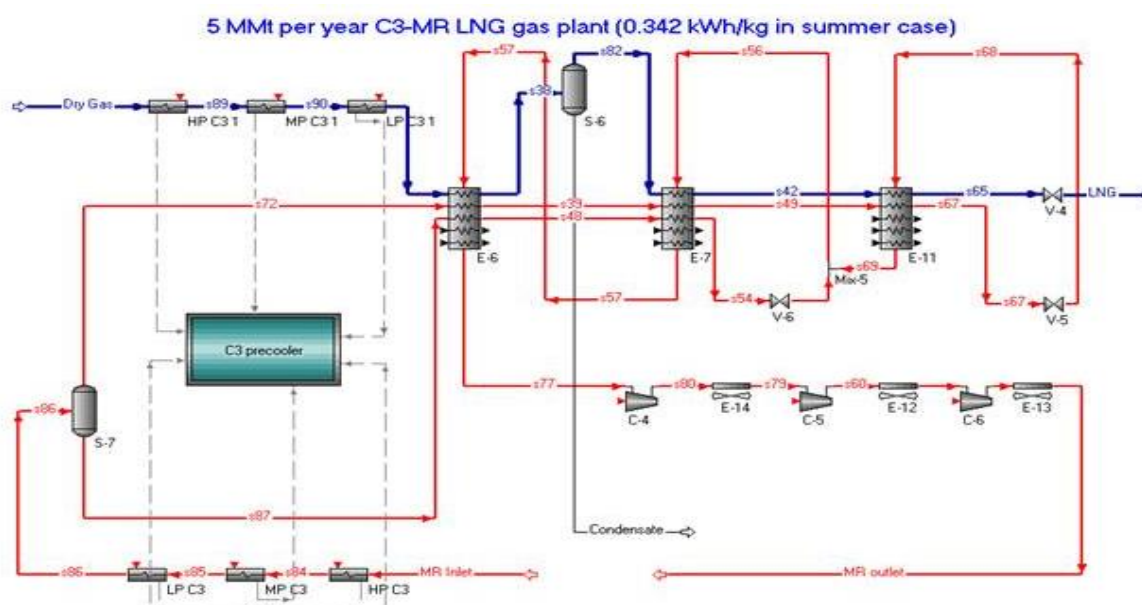


Рисунок 4 - Схема процесса GIBBS

Заключение

Проведя литературный обзор и анализ производственных данных технологии APCI C3MR можно сделать вывод о том, что данная технология является передовой из всех возможных технологий (52%).

В различных вариантах процесса APCI C3MR используется различное оборудование, в том числе газовые и паровые турбины, компрессоры.

Эта схема охлаждения позволяет получать сжиженный природный газ производительностью 5 млн т/год, причем выработка продукта равномерная на всем протяжении года.

Список литературы

1. Федорова, Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. -М.: РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина.2011. -159с.
2. Голубева, И.А. Особенности технологии сжижения природных газов в условиях арктического климата/ И.А. Голубева, В.М. Юпов // Газовая промышленность. -2016. -№1. –С.73-78.
3. Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф., Тухбиев Р.Ф. Хранение сжиженного природного газа (Storage of liquefied natural gas) // Природные энергоносители и углеродные материалы & Natural energy sources and carbon materials. – 2021. – № 3(09); URL: energy-sources.esrae.ru/3-34 (дата обращения: 31.10.2021).
4. Кемалов Р.А. О явлении ролловера при хранении сжиженного природного газа в резервуарах (About the rollover phenomenon during storage of liquefied natural gas in tanks) // Природные энергоносители и углеродные материалы & Natural energy sources and carbon materials. – 2021. – № 2(08); URL: energy-sources.esrae.ru/2-28 (дата обращения: 31.10.2021).
5. Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф. Производство синтетического жидкого топлива на основе природного, попутного газа и биогаза (Production of synthetic liquid fuels based on natural, associated gas and biogas) // Природные энергоносители и углеродные материалы & Natural energy sources and carbon materials. – 2021. – № 2(08); URL: energy-sources.esrae.ru/2-27 (дата обращения: 31.10.2021).

6. Кемалов Р.А., Джамалов З.З. Биотопливо и его влияние на углеродный след (Biofuels and their impact on the carbon footprint) // Природные энергоносители и углеродные материалы & Natural energy sources and carbon materials. – 2021. – № 1(07); URL: energy-sources.esrae.ru/1-11 (дата обращения: 31.10.2021).