

*Зарубежные
инновационные
проекты по
производству СПГ*



Сжиженный природный газ в мировой энергетике

Импортом СПГ занимаются около 30 стран, производством и экспортом около 20.

Основные импортеры:

- Япония,
- Республика Корея,
- Китай,
- Индия
- Тайвань.

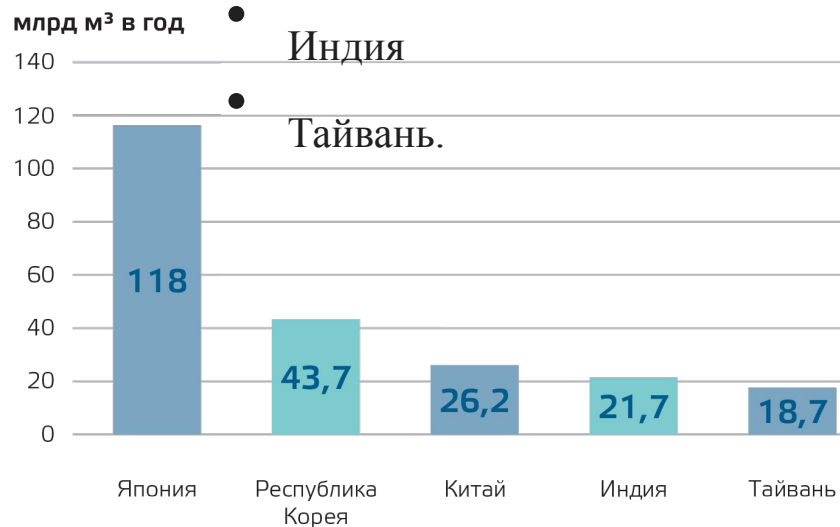


Рисунок 2-Топ 5 импортеров СПГ

Основные экспортеры:

- Катар,
- Австралия,
- Малайзия,
- Нигерия
- Индонезия.

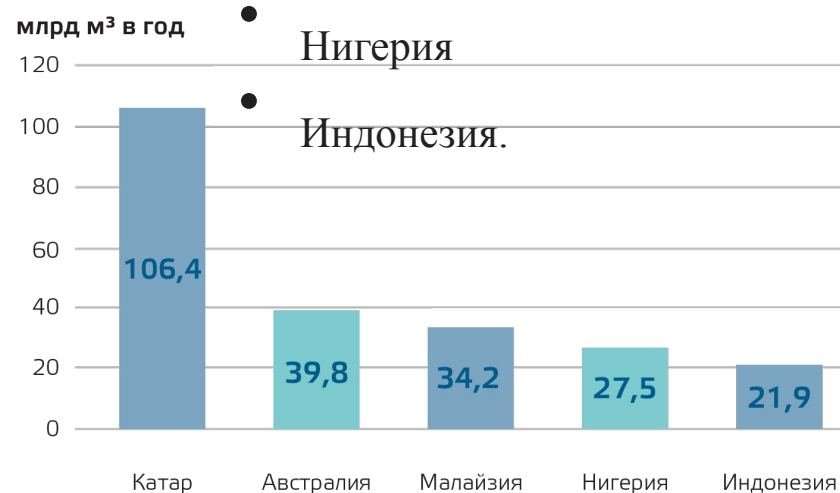


Рисунок 3-Топ 5 экспортеров СПГ

Сжиженный природный газ в мировой энергетике

Региональное распределение мощностей

- ❖ Значительная доля находится на Ближнем Востоке - 33,4 %.
- ❖ Другая треть мощностей расположена в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АТР), где находится также 54 % объектов, находящихся в процессе строительства.
- ❖ Доля Северной Америки в настоящее время составляет лишь 0,5 %.
(К 2021 г. ожидается существенный рост мощностей производства СПГ)
- ❖ 22,6 % мощностей производства СПГ расположено в Африке,
- ❖ Оставшиеся почти 10 % приходятся на Латинскую Америку и страны, расположенные на территории бывшего СССР.
- ❖ Планируемые к вводу новые мощности в мире составляют 890 млн. т в год.

Сжиженный природный газ в мировой энергетике

Мощности по производству сжиженного природного газа в мире за 2009, 2015 и 2021 г., млн.т в год.

Регион (страна)	2009	2015			2021 (Прогноз)		
		Реальные	Прирост 2015 к 2009, %	Доля от общих мощностей, %	Предполагаемые	Прирост 2021 к 2015, %	Доля от общих мощностей, %
Африка	61,2	68,3	12	22,6	62,8	-8	14,5
Азиатско-Тихоокеанский регион	88,8	97,3	10	32,3	157,9	62	36,4
Европа	4,2	4,2	0	1,4	4,2	0	1
Россия	9,6	9,6	0	3,2	26,1	172	6
Центральная и Южная Америка	15,3	19,8	29	6,6	19,8	0	4,6
Северная Америка	1,5	1,5	0	0,5	62,0	413	14,3
Ближний Восток	73,8	100,8	37	33,4	100,8	0	23,3
Общая мощность	254,4	304,5	45,5	100,0	433,5	46	100,0

Завод по производству СПГ





Технология производства СПГ

Полная цепочка производства и потребления СПГ включает следующие этапы:

- ❖ Добыча газа;
- ❖ Транспортировка его до завода по сжижению;
- ❖ Подготовка газа к сжижению;
- ❖ Процедура сжижения газа - перевод его из газообразного состояние в жидкое, закачка в емкости хранения на танкеры и дальнейшая транспортировка;
- ❖ Регазификация на береговых терминалах, то есть превращение СПГ в газообразное состояние;
- ❖ Доставка до потребителя и его использование.

Технология производства СПГ



Подготовка газа

1. **Входная сепарация** – газ очищается от капельных жидкостей
2. **Удаление кислых компонентов** – CO_2 , H_2S и меркаптанов. Выделяют 3 группы процессов:
 - процессы химической абсорбции;
 - процессы физической абсорбции;
 - процессы с физико-химическими и смешанными абсорбентами.
3. **Осушка** осуществляется адсорбцией на молекулярных ситах. В качестве адсорбента используют цеолит марки 4А.
4. **Удаление ртути**. Используют 2 вида адсорбентов:
 - Металлические сульфиды, вступающие в реакцию с ртутью с образованием стабильных ртутных сульфидов.
 - Уголь, пропитанный серой, в котором ртуть удаляется путем адсорбции в сернистой фазе.

Сжижение природного газа

Цикл включает следующие ступени:

- Сжатие газа (например пропана) в компрессоре 1;
- Охлаждение до температуры окружающей среды в теплообменнике 2;
- Расширение в дросселе 3 (при этом температура газа снижается и часть его конденсируется);
- Разделение жидкой и газовой фаз в сепараторе 4;
- Охлаждение жидкостью более теплого вещества (природного газа) в теплообменнике 5. (При этом она нагревается и испаряется, газ снова поступает на сжатие).

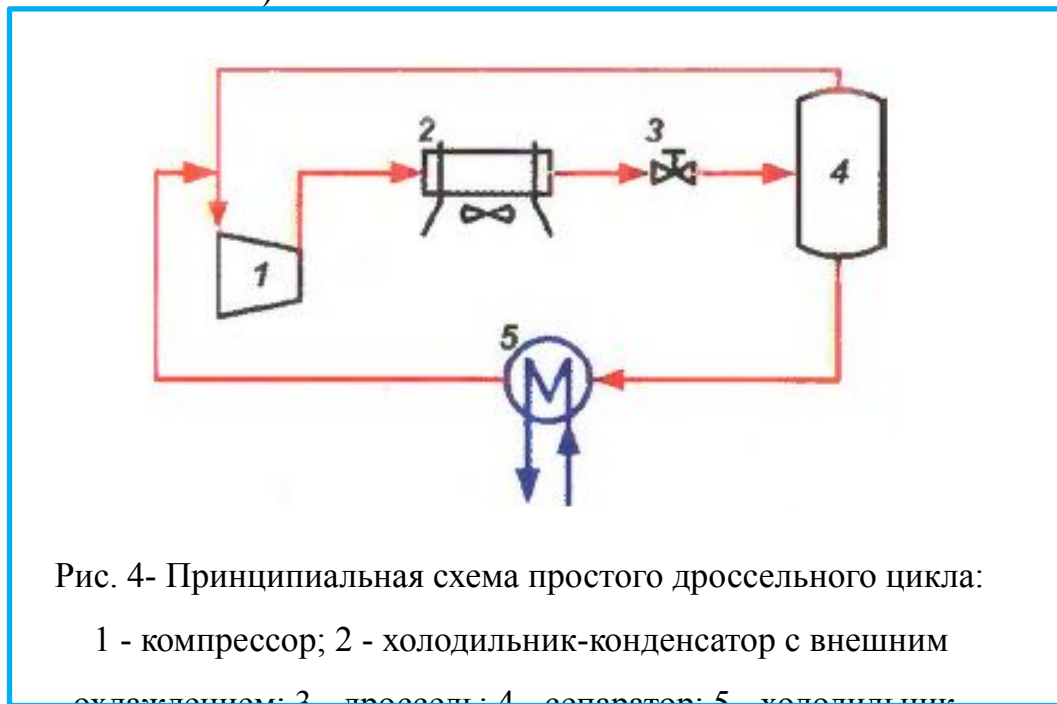


Рис. 4- Принципиальная схема простого дроссельного цикла:

1 - компрессор; 2 - холодильник-конденсатор с внешним охлаждением; 3 - дроссель; 4 - сепаратор; 5 - холодильник

Регазификация СПГ

Регазификация СПГ — процесс преобразования СПГ из жидкого состояния в газообразное, после чего он становится пригодным для обычного использования — подачи по трубопроводам потребителям.

Как происходит регазификация?

- 1) СПГ-танкер разгружается в береговые резервуары через разгрузочные рукава.
- 2) Испаренный газ, образующийся в резервуарах из-за тепла окружающей среды, сжимается до давления в 0,7- 1,0 Мпа в компрессоре и снова сжижается.
- 3) Оба потока СПГ через реконденсатор направляются на регазификацию.
- 4) В испарителе проходит непосредственно процесс регазификации за счет нагрева при высоком давлении
- 5) Дополняет технологическую цепочку факел для аварийного сброса газа

Регазификация СПГ



Рис. 5 - Принципиальная схема регазификационного терминала.

Холодильные агенты

В качестве хладагентов могут выступать как чистые вещества, так и смеси углеводородов.

В состав смешанного холодильного агента (СХА) могут входить азот, пентаны, бутаны, пропан или пропилен, этан или этилен и метан.

Температуры кипения компонентов СХА при атмосферном давлении

<i>Компонент</i>	<i>Температура, °С</i>	<i>Компонент</i>	<i>Температура, °С</i>
<i>Азот</i>	<i>-195,8</i>	<i>Пропан</i>	<i>-42,1</i>
<i>Метан</i>	<i>-161,5</i>	<i>И-бутан</i>	<i>-11,7</i>
<i>Этилен</i>	<i>-103,7</i>	<i>Н-бутан</i>	<i>-0,5</i>
<i>Этан</i>	<i>-88,6</i>	<i>И-пентан</i>	<i>27,9</i>
<i>Пропилен</i>	<i>-47,2</i>	<i>Н-пентан</i>	<i>36,1</i>

Крупнейшие нефтегазовые компании по производству СПГ

Однако, далеко не все представленные корпорации являются крупнейшими в отрасли производства СПГ нефтегазовыми ТНК

Крупнейшие нефтегазовые корпорации, имеющие проекты по сжижению природного газа за 2015 год

<i>Название корпорации</i>	<i>Количество проектов</i>	<i>Общие мощности, млн. тонн в год</i>
<i>Royal Dutch Shell</i>	<i>16</i>	<i>105,8</i>
<i>Exxon Mobil</i>	<i>11</i>	<i>68,3</i>
<i>BP</i>	<i>8</i>	<i>50,5</i>
<i>Total</i>	<i>11</i>	<i>68,2</i>
<i>Chevron</i>	<i>3</i>	<i>21,6</i>
<i>ConcoPhillips</i>	<i>3</i>	<i>11,6</i>

Крупнейшие нефтегазовые компании по производству СПГ

Крупнейшие в мире нефтегазовые корпорации (по версии рейтингового агентства Platts, 2015 год) представлены в таблице 1.

Таблица 1 -10 крупнейших корпораций в нефтегазовом секторе за 2015 год

<i>Ранг</i>	<i>Название</i>	<i>Страна происхождения</i>
<i>1</i>	<i>Exxon Mobil</i>	<i>США</i>
<i>2</i>	<i>Chevron</i>	<i>США</i>
<i>3</i>	<i>Royal Dutch Shell</i>	<i>Нидерланды</i>
<i>5</i>	<i>Petrochina</i>	<i>Китай</i>
<i>10</i>	<i>Роснефть</i>	<i>Россия</i>
<i>11</i>	<i>СРСС</i>	<i>Китай</i>
<i>12</i>	<i>Сургутнефтегаз</i>	<i>Россия</i>
<i>13</i>	<i>Лукойл</i>	<i>Россия</i>
<i>19</i>	<i>Ecopetrol</i>	<i>Колумбия</i>
<i>11</i>	<i>Suncor Energy</i>	<i>Канада</i>

Наиболее распространённые технологии

Крупнотоннажные процессы различаются по числу циклов охлаждения и по типам оборудования, в частности теплообменников, а также по видам используемых хладагентов.

Процесс	Разработчик, страна	Холодильный агент	Число циклов	Проект
C3-MR	Air Products & Chemicals Inc., США	Пропан и смешанный	2	20 действующих заводов
Cascade	Phillips, США	Метан, этилен, пропан	3	Тринидад, Алжир, Camel LNG plants
DMR	Shell, Великобритания	Смешанный (2 цикла)	2	Впервые в Сахалине-II (2006)
MFC	Linde, Германия	Смешанный	3	Впервые в Snohvit (2006)
Teal	Technip Co., Франция	Смешанный	1	Только на Algera's Skikda plant

Процесс APCI C3-MR

Процесс, разработанный компанией *Air Products & Chemicals Inc. (APCI)*, является наиболее распространенным. Производительность отдельных технологических линий 1,3 - 4,4 млн тонн СПГ в год.

Процесс включает два цикла охлаждения:

- Цикл предварительного охлаждения (теплообменник T1), использует пропан в качестве хладагента. Природный газ охлаждается до $(-30)-(-39)^{\circ}\text{C}$
- Основной цикл сжижения (теплообменник T2) использует смешанный холодильный агент (СХА), который состоит из смеси азота, метана, этана и пропана. Природный газ охлаждается до $(-150)-(-162)^{\circ}\text{C}$

Процесс применим для природного газа с различными составами. К преимуществам процесса относятся минимальное число единиц оборудования, эффективность, оперативная гибкость и надежность.

Технологическая схема процесса APCI 3C-MR

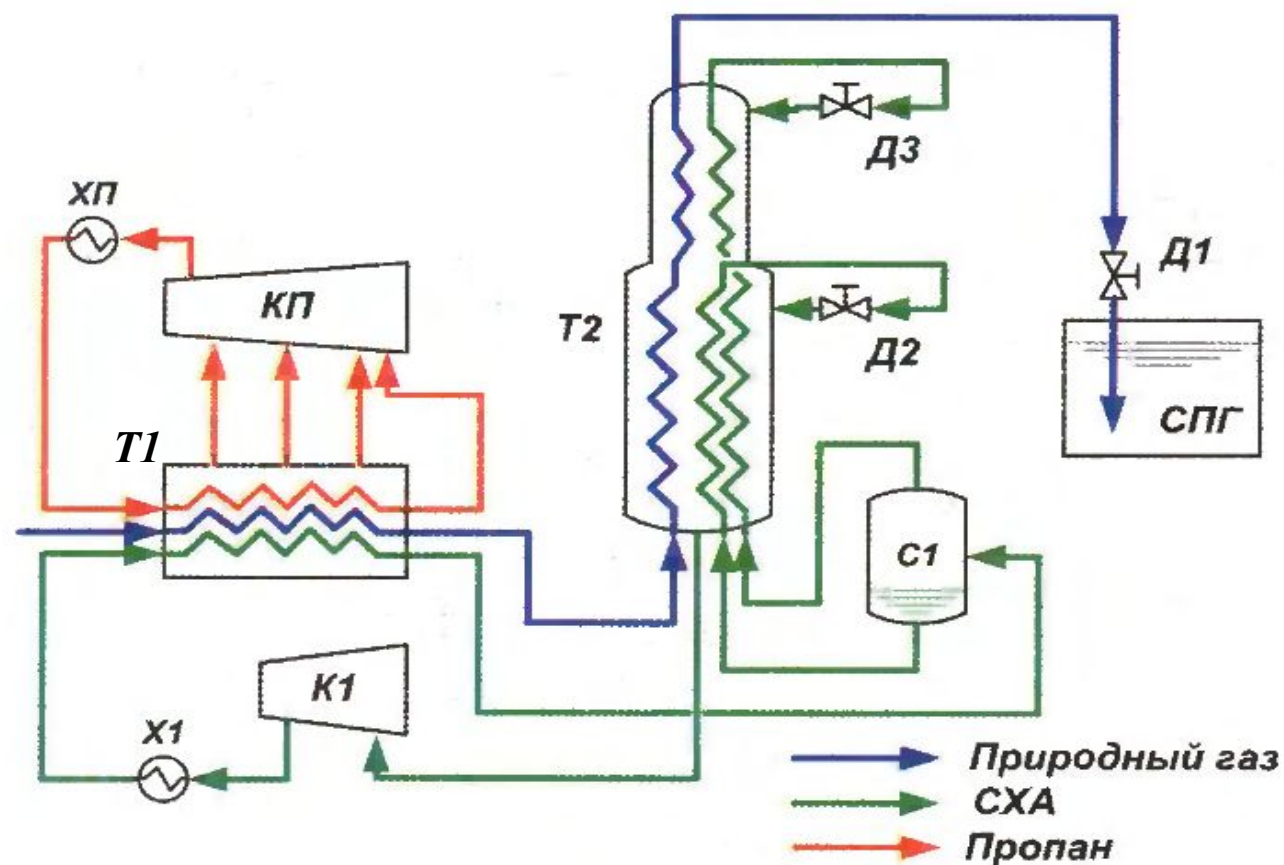


Рис. 6 - Принципиальная схема процесса APCI 3C-MR

Процесс MFC Linde

Процесс MFC® (Mixed Fluid Cascade) был разработан альянсом *Statoil/ Linde* и выбран для норвежского завода СПГ *Snohvit* производительностью 4,3 млн тонн в год.

Процесс включает три отдельных цикла :

- Цикл предварительного охлаждения – теплообменник T1. Природный газ охлаждается до температуры (-40)-(-50) °С.
- Цикл сжижения (теплообменник T2). Температура ПГ на выходе (-70)-(-80) °С.
- Цикл переохлаждения (теплообменник T3). Температура ПГ на выходе (-140)-(-150) °С.

Хладагенты состоят из смесей метана, этана, пропана и азота, но их составы в трех циклах различны. Примерный состав хладагентов:

Цикл	Пропан, %	Этан, %	Метан, %	Азот, %
Предварительного охлаждения	60	28	10	2
Сжижения	3	12	80	5
Переохлаждения	7	10	80	3

Технологическая схема процесса

MFC Linde

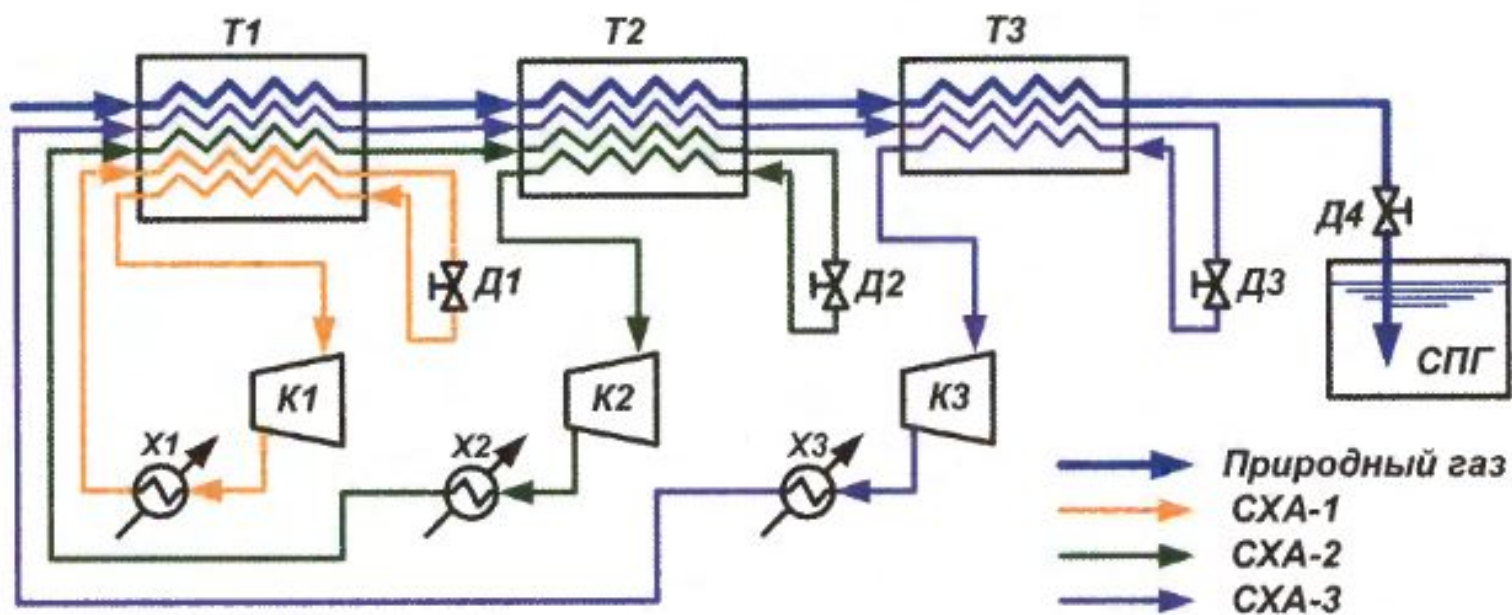


Рис. 7. Процесс Mixed Fluid Cascade

Каскадный процесс Phillips

Модернизированный каскадный процесс Phillips (Conoco Phillips Optimized Cascade® Process) - это улучшенный вариант классического каскадного процесса. Производительность технологических линий от 3 до 5,2 млн тонн СПГ в год.

Процесс использует три отдельных холодильных цикла:

- Цикл предварительного охлаждения (пропановый) – теплообменник Т1.
- Цикл сжижения (этиленовый) - теплообменник Т2.
- Цикл переохлаждения (метановый) - теплообменник Т3.

Отличие от процесса MFC.

Последний цикл не замкнут. Часть паровой фазы сдросселированного после теплообменника Т3 СПГ и испарившегося в процессе хранения метана подается обратно в метановый холодильный цикл.

Технологическая схема каскадного процесса Phillips

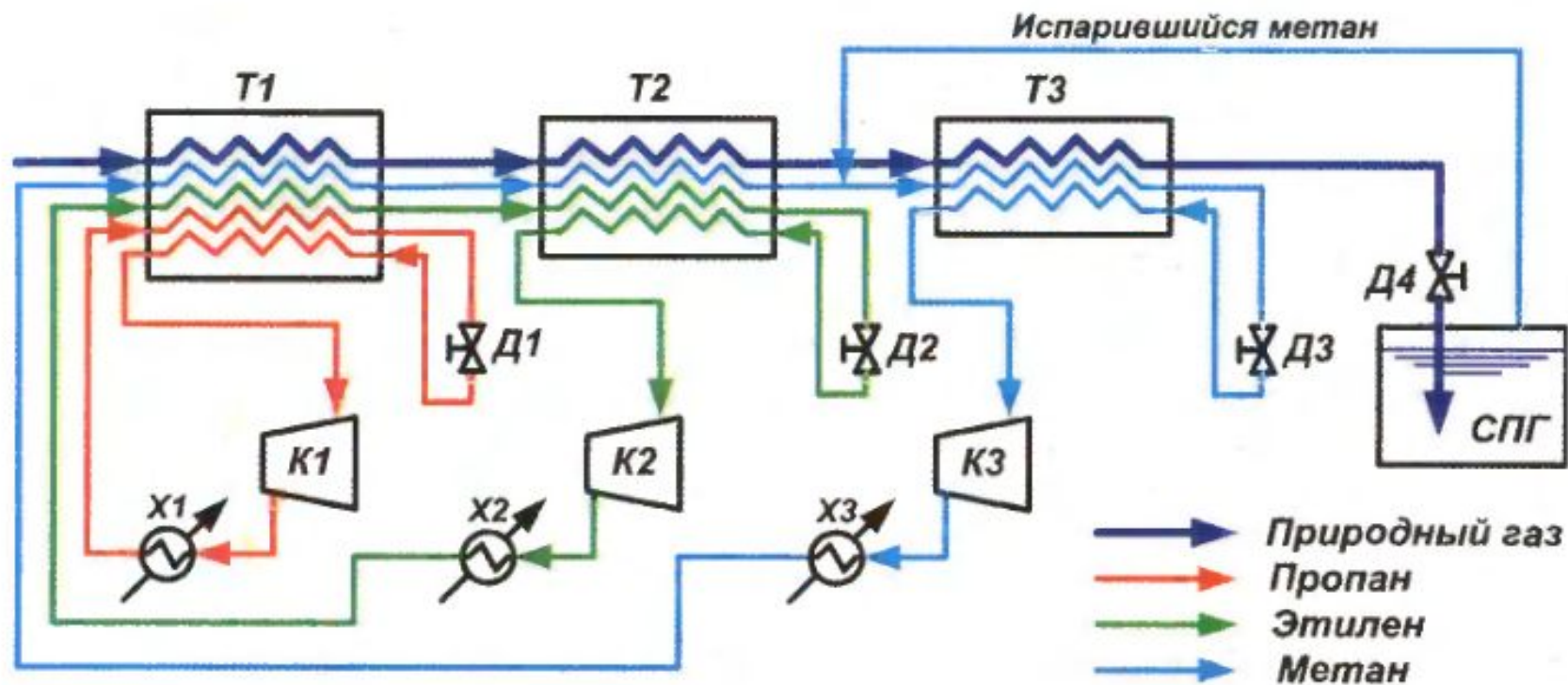


Рис. 8 - Принципиальная схема модернизированного каскадного процесса

Процесс *Shell DMR*

Технологический процесс *Double Mixed Refrigerant - DMR* был разработан компанией *Shell* для средне- и крупнотоннажного производства СПГ с производительностью технологических линий от 2 до 5 млн т в год.

Процесс использует 2 отдельных холодильных цикла:

- *Цикл предварительного охлаждения* (теплообменники *T1* и *T2*).

Хладагент (*СХА-1*) представляет собой смесь этана и пропана с добавлением небольших количеств метана и бутана. ПГ охлаждается в цикле до $(-50)-(-80)^{\circ}\text{C}$.

- *Основной цикл сжижения* (теплообменник *T3*). Хладагент *СХА-2*, состоит преимущественно из метана и этана с добавлением небольших количеств пропана и азота. ПГ охлаждается до -153°C .

Технологическая схема процесса Shell DMR

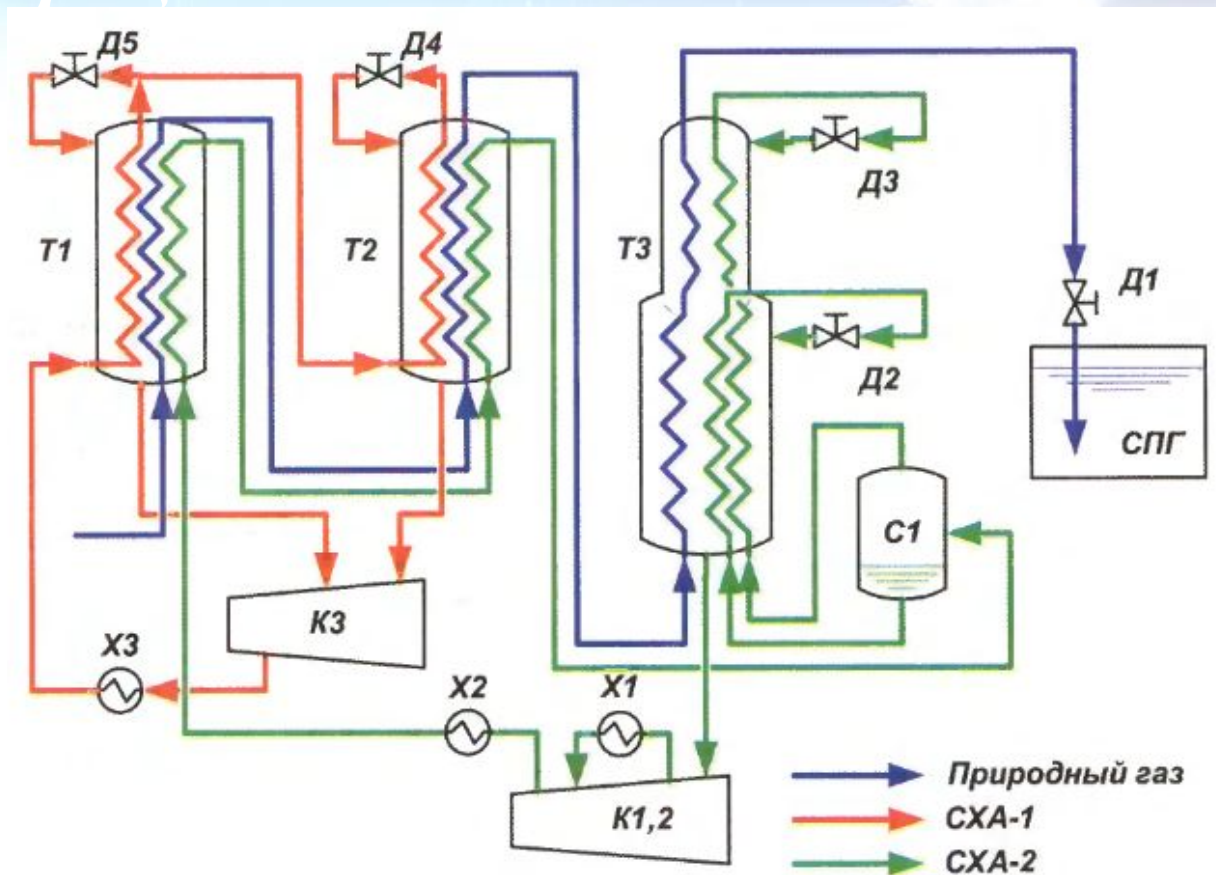


Рис. 9. Процесс Shell DMR

Процесс Technip Teal

Технология «TEALARC» была разработана совместно компаниями Technip, Gazde Franceu L’Air Liquide.

Технологическая схема представляет собой классический однопоточный холодильный цикл. В процессе используется смешанный хладагент, состоящий из смеси этана и пропана.

Цикл состоит из трех теплообменников:

- Теплообменник T1 охлаждает ПГ до -56°C
- Теплообменник T2 охлаждает ПГ до -125°C
- Теплообменник T3 охлаждает ПГ до -153°C

Отличие данной технологии состоит в наличии установки фракционирования. Туда поступает частично сконденсированный ПГ и поток газа отделяется от пропан-бутановой фракции, которая используется для компенсации утечек хладагента.

Технологическая схема процесса Technip Teal

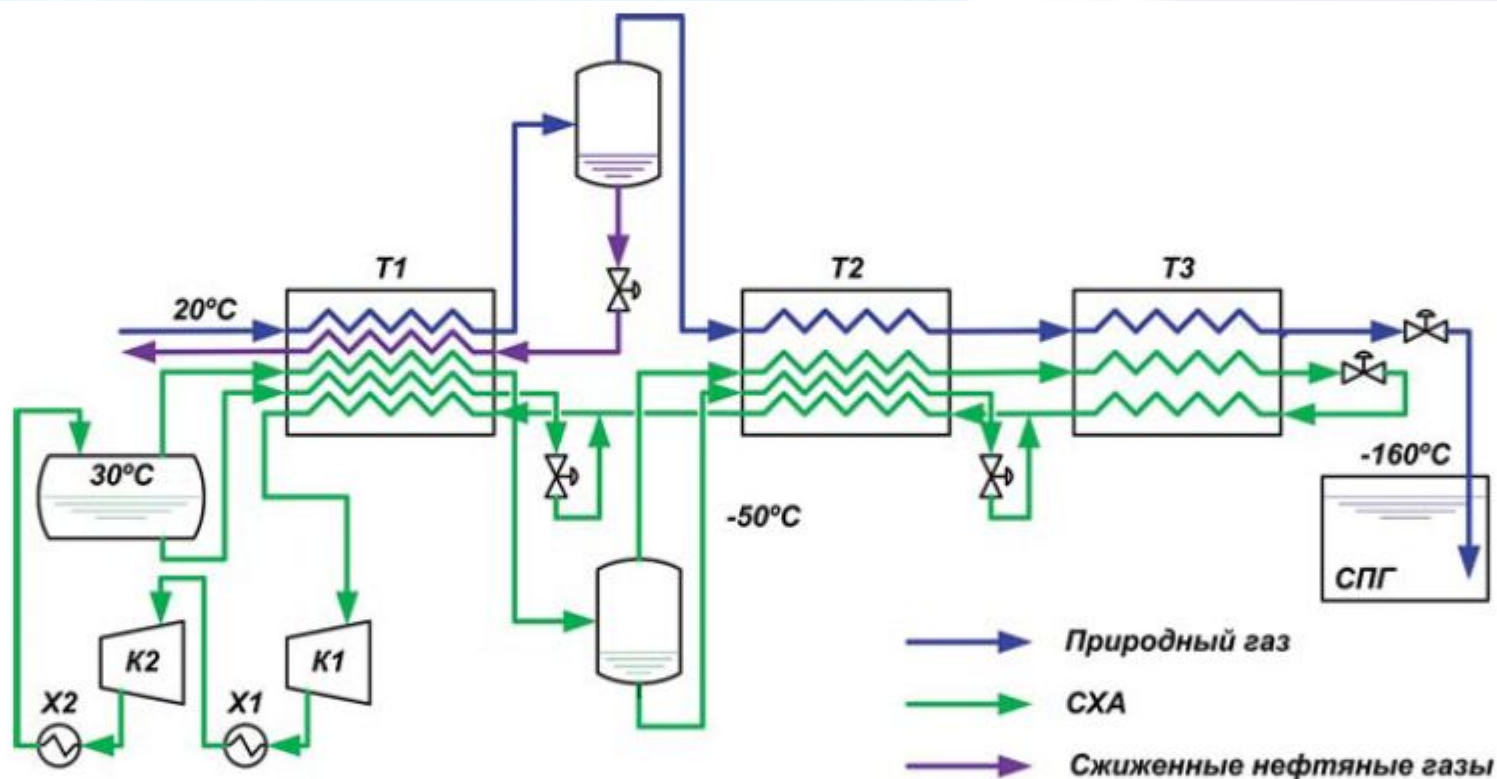


Рис. 10. Процесс TEAL ARC с одним уровнем давления