

*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.

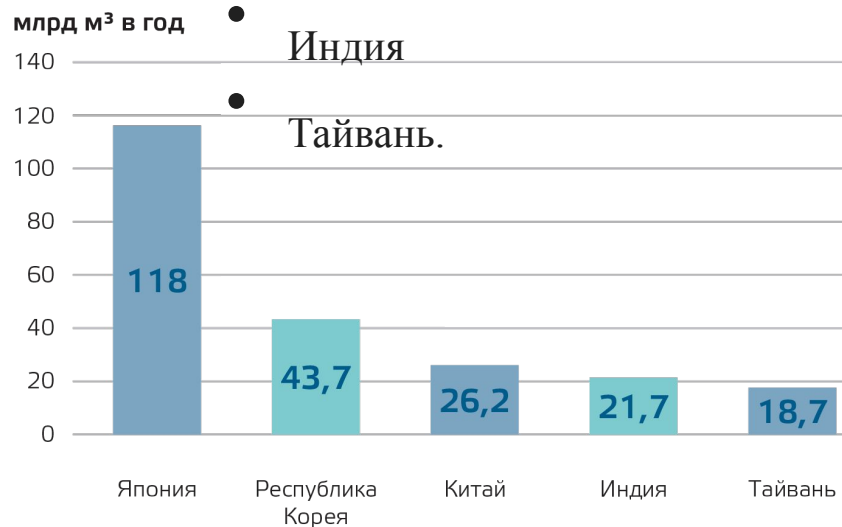


Рисунок 2-Топ 5 импортеров СПГ

## Основные экспортеры:

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

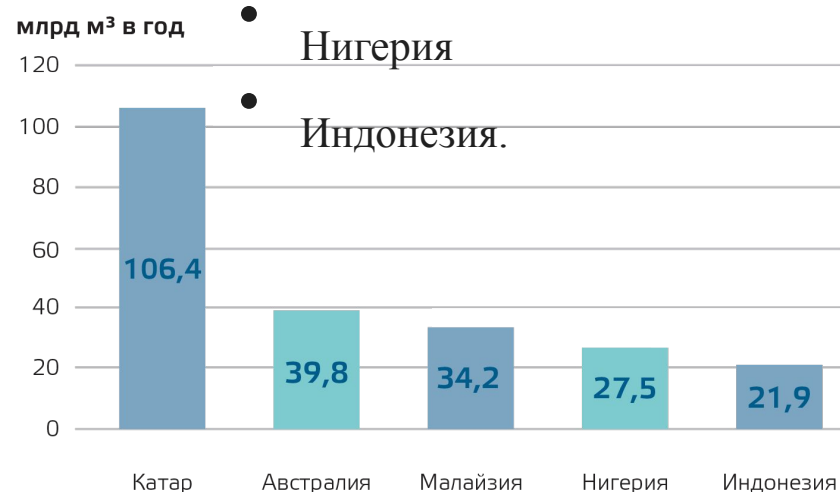


Рисунок 3-Топ 5 экспортеров СПГ

# 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).

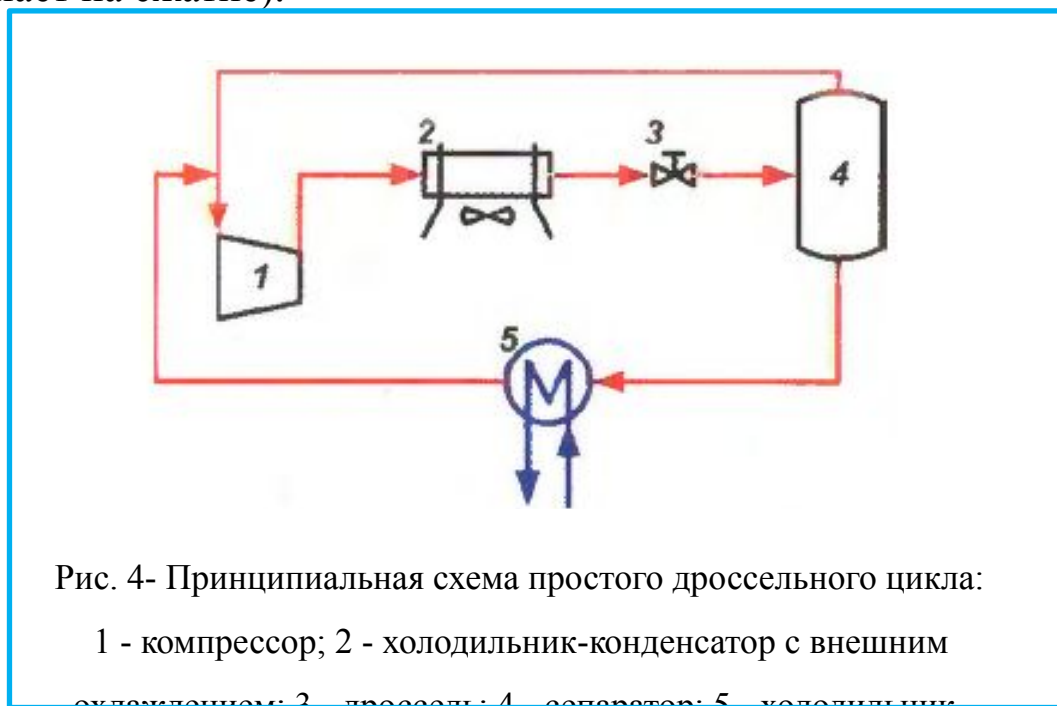


Рис. 4- Принципиальная схема простого дроссельного цикла:

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>ConocoPhillips</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>Esopetrol</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
<i>C3-MR</i>	<i>Air Products &amp; Chemicals Inc., США</i>	<i>Пропан и смешанный</i>	<i>2</i>	<i>20 действующих заводов</i>
<i>Cascade</i>	<i>Phillips, США</i>	<i>Метан, этилен, пропан</i>	<i>3</i>	<i>Тринидад, Алжир, Camel LNG plants</i>
<i>DMR</i>	<i>Shell, Великобритания</i>	<i>Смешанный (2 цикла)</i>	<i>2</i>	<i>Впервые в Сахалине-II (2006)</i>
<i>MFC</i>	<i>Linde, Германия</i>	<i>Смешанный</i>	<i>3</i>	<i>Впервые в Snohvit (2006)</i>
<i>Teal</i>	<i>Technip Co., Франция</i>	<i>Смешанный</i>	<i>1</i>	<i>Только на Algera`s Skikda plant</i>

# 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:***

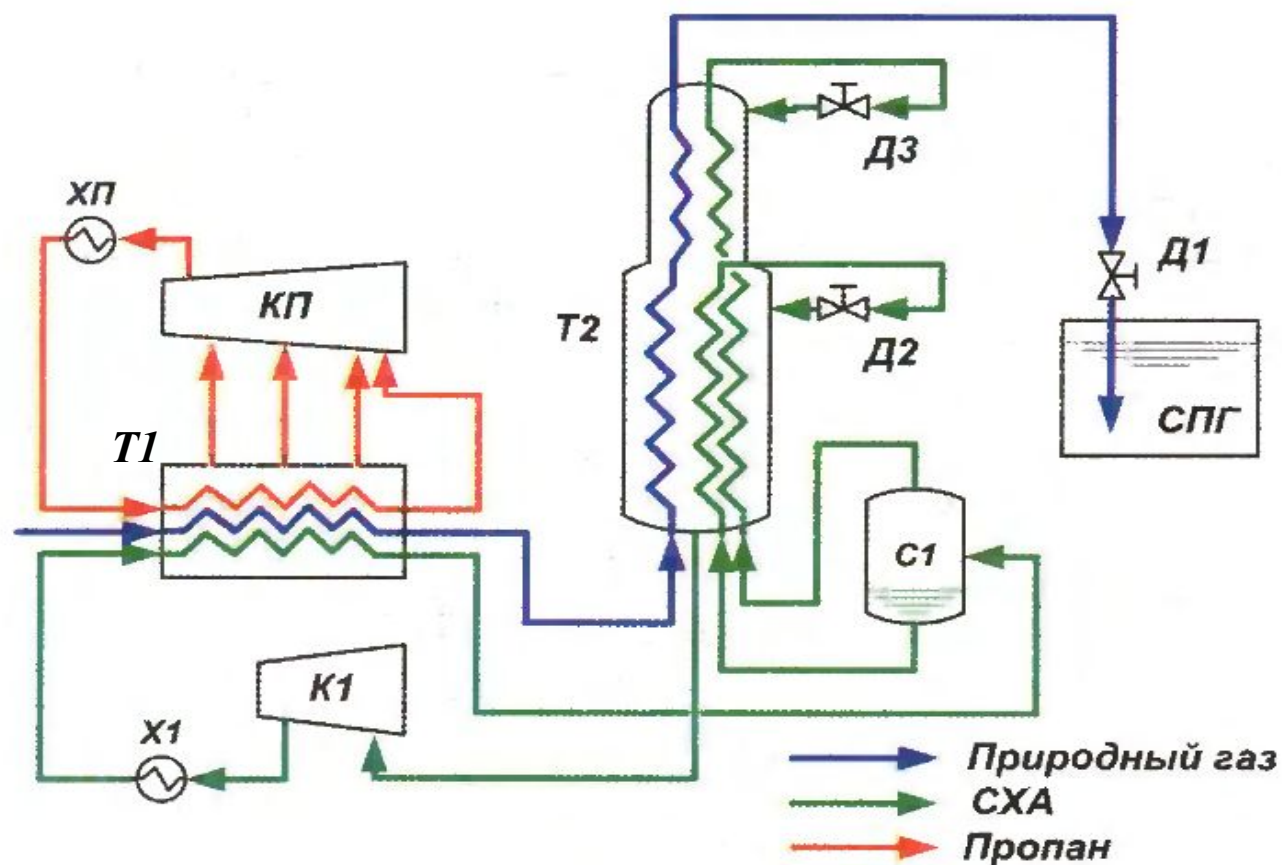
- **Цикл предварительного охлаждения** (теплообменник T1), использует пропан в качестве хладагента. Природный газ охлаждается до  $(-30)$ - $(-39)^{\circ}\text{C}$
- **Основной цикл сжижения** (теплообменник T2) использует смешанный холодильный агент (СХА), который состоит из смеси азота, метана, этана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



- Д-дрессель
- Т-теплообменник
- К-компрессор
- Х-холодильник
- С-сепаратор

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

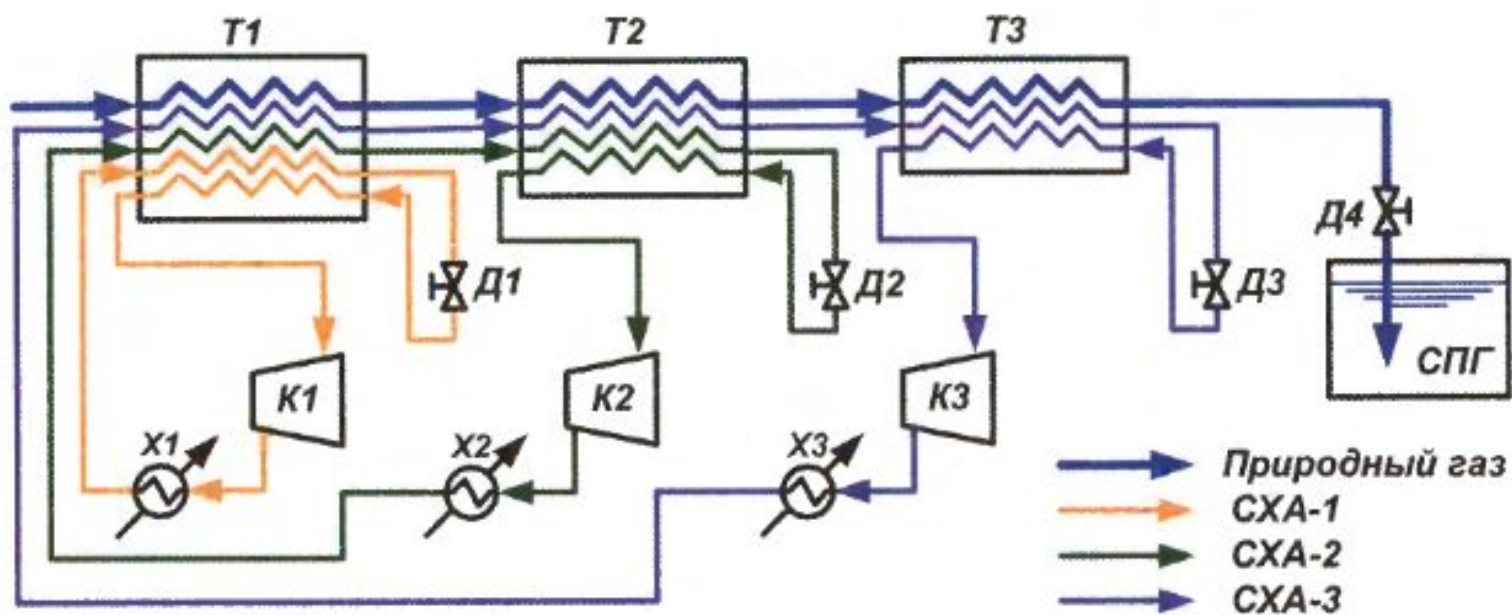


Рис. 7. Процесс Mixed Fluid Cascade

# *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

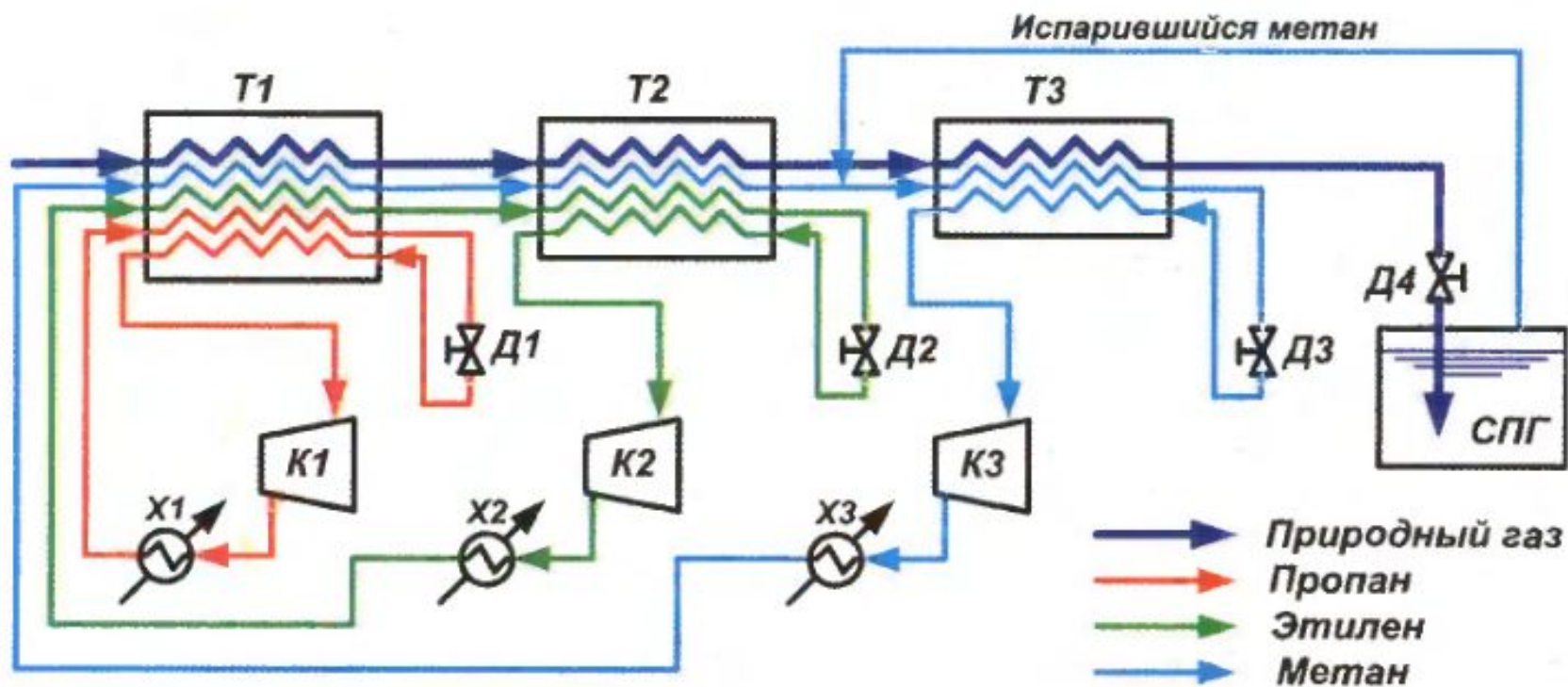


Рис. 8 - Принципиальная схема модернизированного каскадного процесса

# 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)°С.

- 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 °С.

# Технологическая схема

## процесса Shell DMR

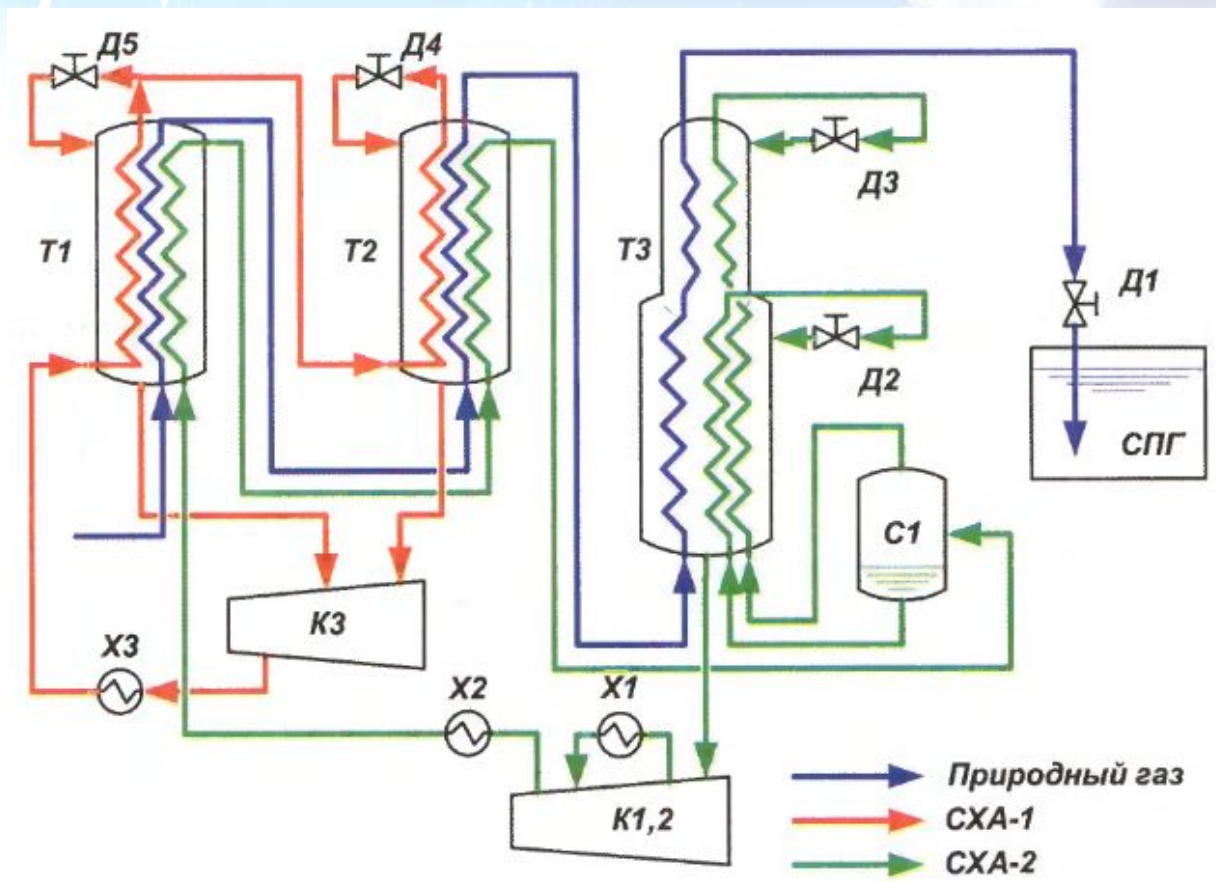


Рис. 9. Процесс Shell DMR

# *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  $-56^{\circ}\text{C}$
- *Теплообменник T2* охлаждает ПГ до  $-125^{\circ}\text{C}$
- *Теплообменник T3* охлаждает ПГ до  $-153^{\circ}\text{C}$

***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

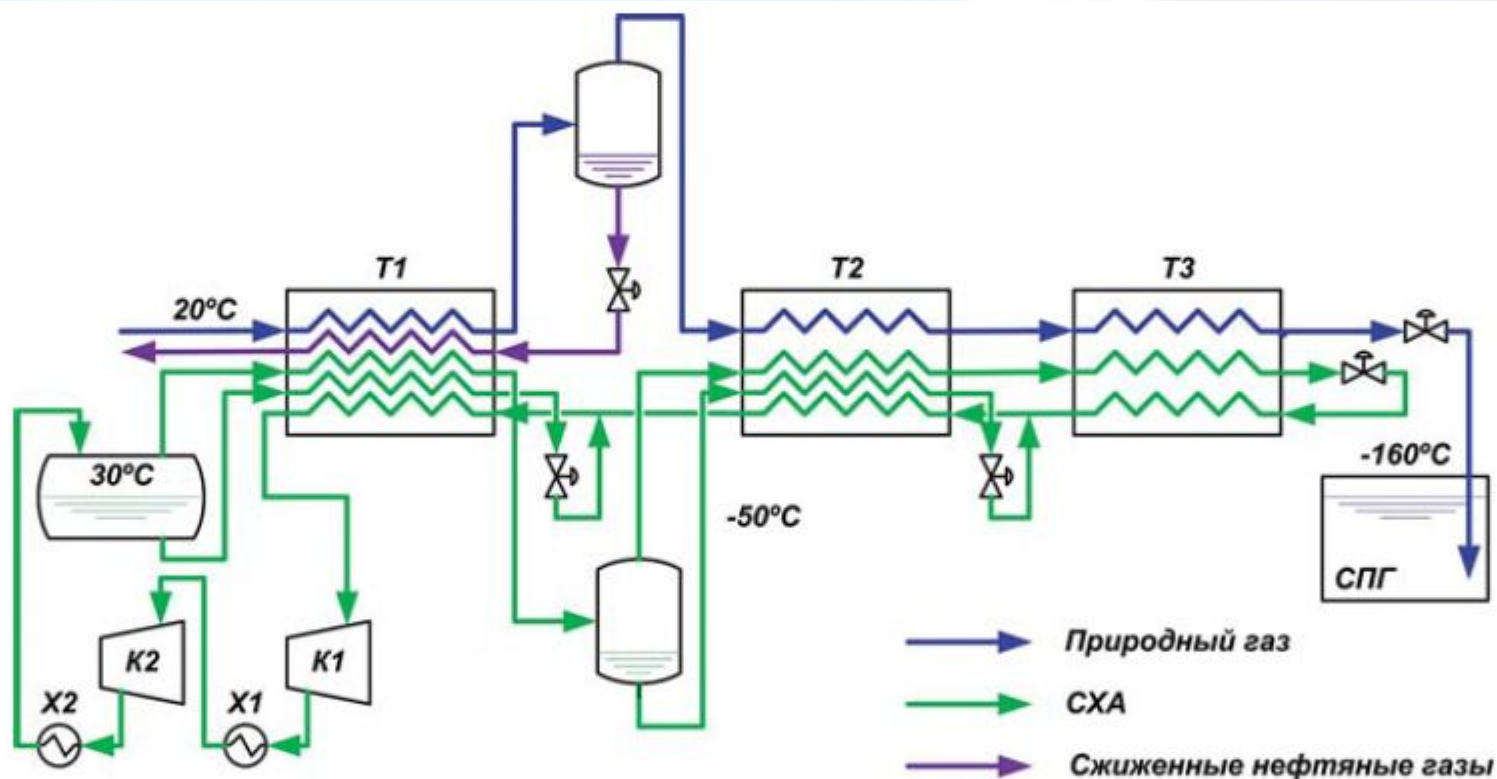


Рис. 10. Процесс TEAL ARC с одним уровнем давления