



# Сжиженный природный газ

технологический и образовательный аспекты

Liquefied natural gas  
technological and educational aspects

# Литература

Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2011. – 159 с.

Бармин И.В., Кунис И.Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / под ред. А.М. Архарова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.

Saeid Mokhatab Handbook of Liquefied Natural Gas. Elsevier – 2014. – 589.

**Сжиженный природный газ (СПГ)** — природный газ, переведенный в жидкое состояние при температурах меньше критической. СПГ — криогенная жидкость, получаемая из природного газа охлаждением до температуры конденсации  $-161,5^{\circ}\text{C}$ . Температура кристаллизации  $-182,5^{\circ}\text{C}$ , плотность  $0,42\text{ кг/л}$ .

**Основные показатели СПГ по ТУ 51-03-03-05 «Газ горючий, природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания»**

Объемная доля, %:

метана .....	$92\pm 6$
этана .....	$4\pm 3$
пропана и более тяжелых углеводородов .....	$2,5\pm 2,5$
азота .....	$1,5\pm 1,5$

Низшая теплота сгорания, мДж/м<sup>3</sup> (при  $0^{\circ}\text{C}$  и  $101,325\text{ кПа}$ ) .....

35,2

Массовая доля сероводорода и меркаптановой

серы, % .....

не более 0,005

Теплота испарения, кДж/кг .....

509,54

Низшая теплота сгорания (при  $0^{\circ}\text{C}$  и  $101,325\text{ кПа}$ ) ... 35,2 МДж/м<sup>3</sup>  
(или 11500 ккал/кг)

Пределы взрываемости, % об .....

4,5 – 16

ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup> .....

300

Класс опасности .....

4



**Природный газ** является преобладающим энергоносителем в топливно-энергетическом комплексе, при его сгорании выделяется меньше вредных выбросов таких как серосодержащие, а также углекислого газа (до **25%**).

Имея наивысшую теплотворную способность среди природных углеводородов, метан позволяет снизить удельный расход топлива примерно на **13%**.

В настоящее время природный газ является активно развивающейся альтернативой нефтяному виду топлива в транспортном секторе и в первую очередь в сфере грузовых транспортных перевозок и крупнотоннажном морском транспорте.

В случае введения стандартов **ЕВРО VI** для грузового транспорта, **СПГ** может стать долгосрочной альтернативой дизельному топливу.

Экономический эффект от перехода на **СПГ** в сегменте грузовых перевозок оценивается от **15% до 25%**.

С 1 января 2020 года, вступят в силу новые мировые нормы, которые предусматривают снижение предельного содержания серы в морском топливе с 3,5% до 0,5 % что делает невозможным применение мазута как традиционного топлива и актуальным перевод двигателей на **СПГ**.



# Страны поставщики и потребители СПГ на мировом рынке



## Лидеры по поставкам СПГ:

[Катар](#) (49,4 млрд м<sup>3</sup>); - 32% мирового экспорта

[Малайзия](#) (29,5 млрд м<sup>3</sup>);

[Индонезия](#) (26,0 млрд м<sup>3</sup>);

[Австралия](#) (24,2 млрд м<sup>3</sup>);

[Алжир](#) (20,9 млрд м<sup>3</sup>);

[Тринидад и Тобаго](#) (19,7 млрд м<sup>3</sup>).



# Зачем сжижать природный газ ?



При переводе природного газа в жидкую фазу его объем уменьшается в **600 раз**, при этом СПГ находится под атмосферным давлением.

При подготовке газа к сжижению производится его очистка от двуокиси углерода, что снижает вредные выбросы при его использовании.

Создается возможность крупнотоннажной транспортировки газа в сжиженном состоянии на большие расстояния морским, автомобильным, железнодорожным транспортом, а также создания резервных запасов в резервуарах - хранилищах для покрытия пиковых нагрузок и неравномерностей потребления.

СПГ есть альтернатива сжиженному природному газу, который в настоящее время преобладает и транспортируется по магистральным трубопроводам под давлением 50 – 74 атм.

На сегодняшний день практически все крупнейшие нефтегазовые компании ([Exxon Mobil](#), [Shell](#), [Total](#), [BP](#), [Gazprom](#), [GDF Suez](#), [Statoil](#) и др.) имеют подразделения, занимающиеся производством и экспортом СПГ.



В основе установок по сжижению природного газа лежат криогенные циклы. Хранение СПГ осуществляется в теплоизолированных цистернах – танках, имеющих специальную теплоизоляцию по атмосферным давлением.

## **Заводы СПГ делятся на :**

1. Крупнотоннажное производство СПГ, в количествах ... ориентированное на экспорт морским транспортом – танкерами.
2. Малотоннажное производство СПГ, для собственного использования внутри страны в ТЭК для покрытия пиковых нагрузок, в рамках создаваемой инфраструктуры грузового транспорта и др.

## **Завод по сжижению природного газа включает:**

- установки предварительной очистки и подготовки газа;
- технологических линий производства СПГ;
- резервуаров для хранения;
- оборудования для загрузки на танкеры (терминалы);
- дополнительных служб для обеспечения завода электроэнергией и водой для охлаждения.



# Циклы, применяемые при производстве СПГ:



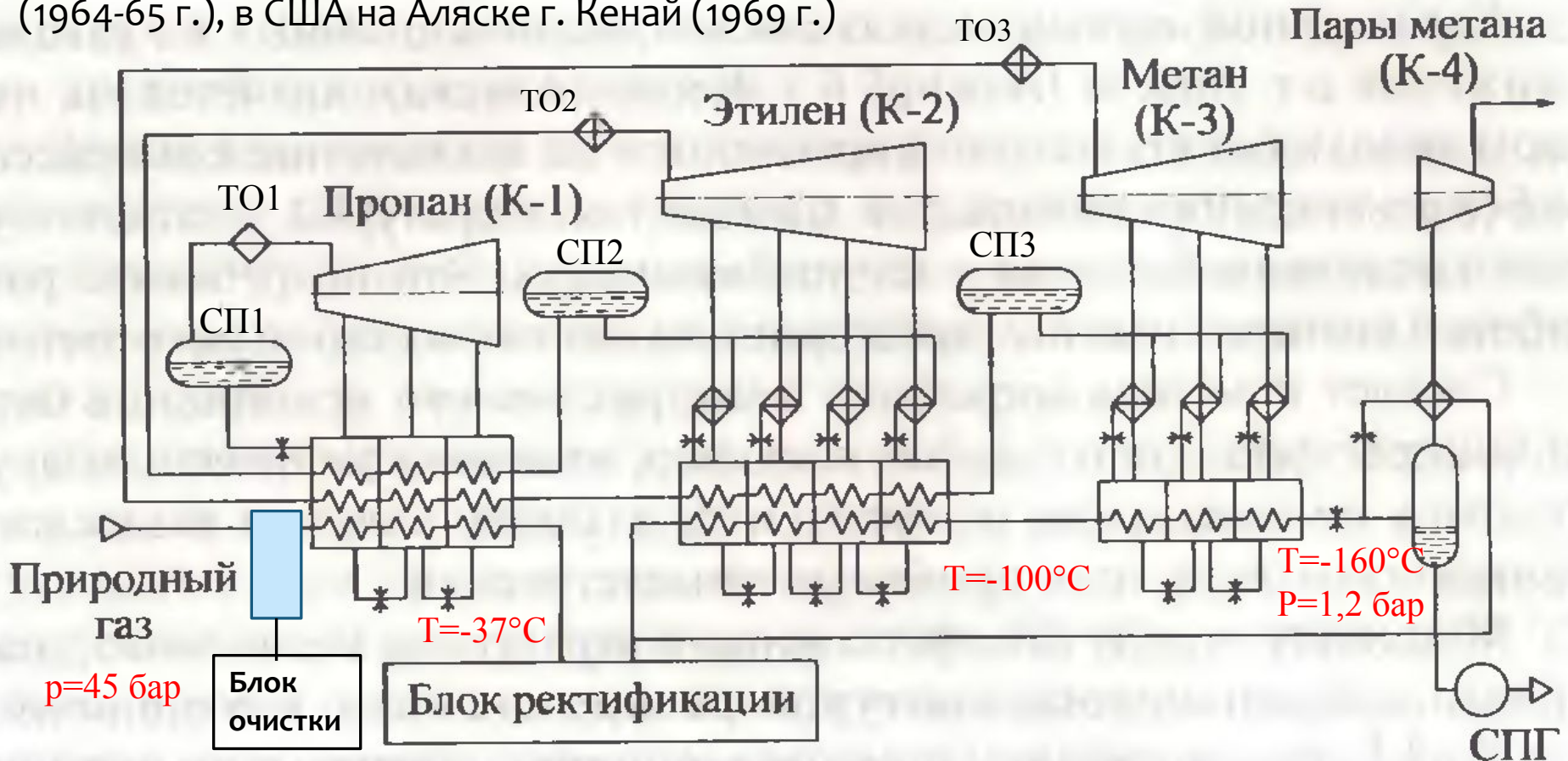
1. Классический каскадный цикл на 3-х рабочих веществах.
2. Однопоточный цикл на многокомпонентном хладагенте с одним и двумя контурами (цикл А.П. Клименко).
3. Детандерный цикл с использованием перепада давления на газоредуцирующих станциях (ГРС).
4. Дроссельный цикл с использованием перепада давления на ГРС.
5. Цикл с использованием жидкого азота из ВРУ.

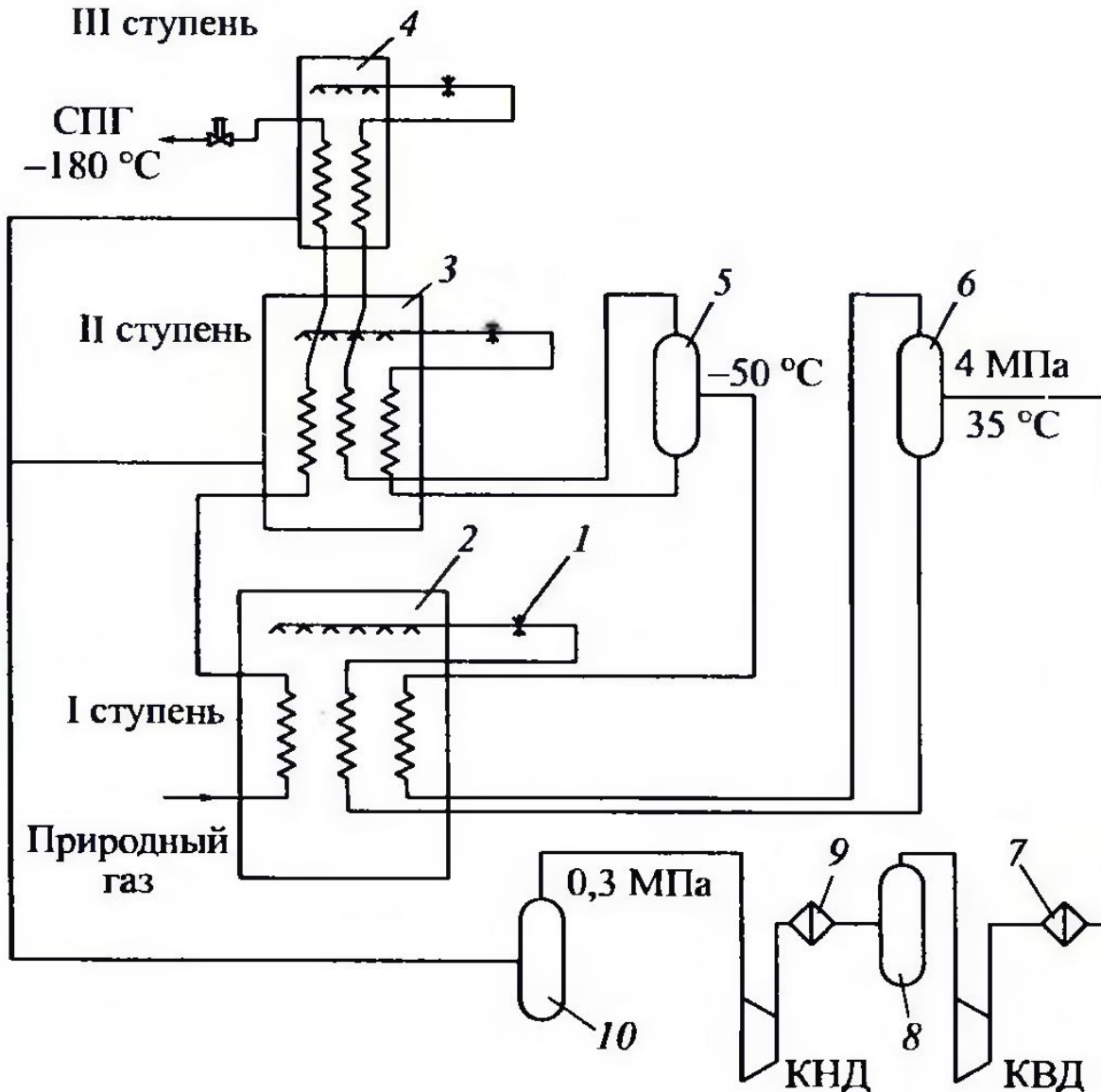


Преимущества: простота, хорошая изученность, высокая эффективность

Недостатки: громоздкая схема, большая протяженность трубопроводов, необходимость в многопоточных теплообменных аппаратах, потребность в этилене

По данному циклу спроектированы первые крупные заводы СПГ в Алжире, г. Арзев (1964-65 г.), в США на Аляске г. Кенай (1969 г.)





## Особенности:

Хладагент – смесь метан, этан, пропан, бутан, азот.

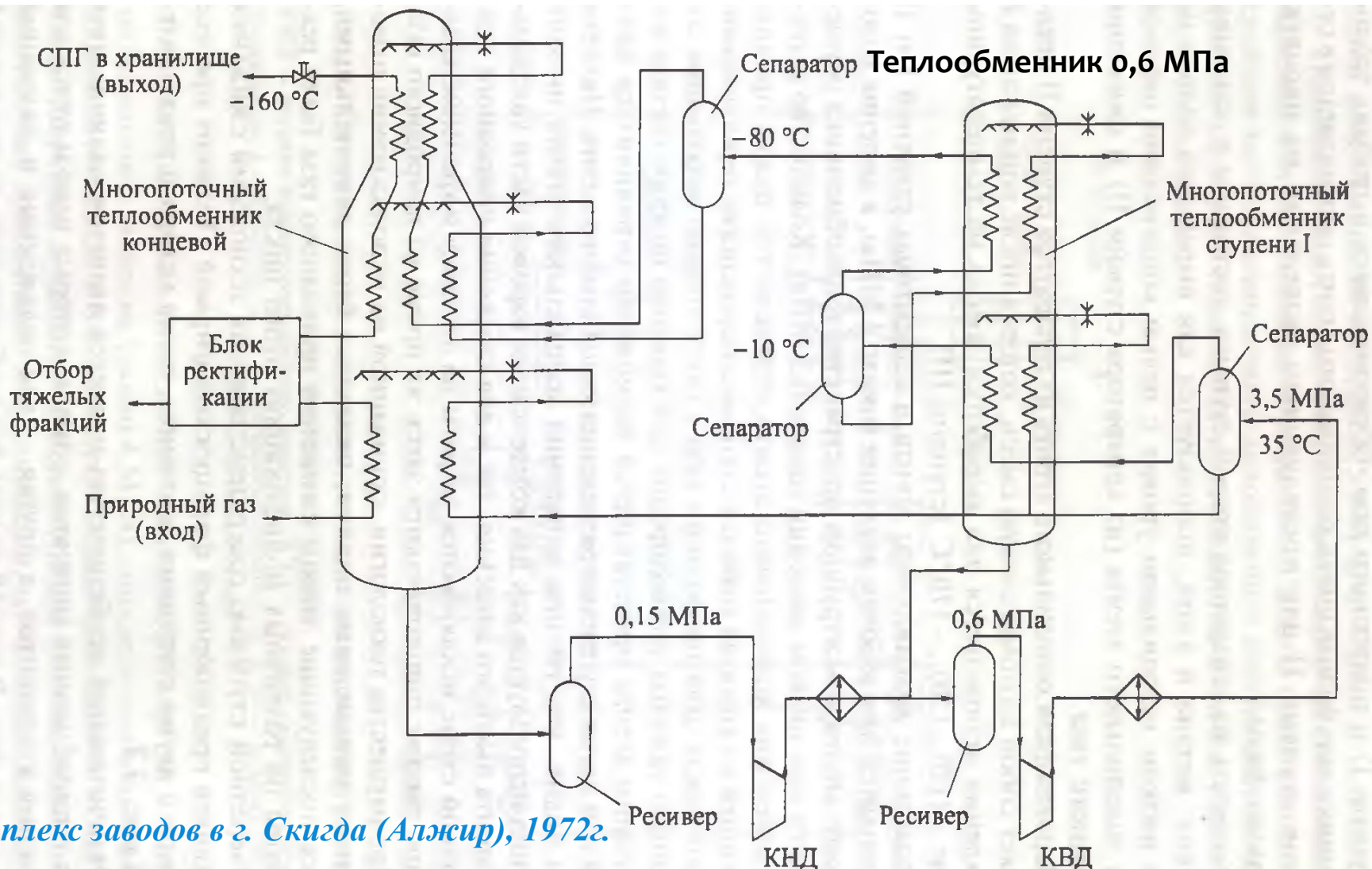
Циркуляция хладагента одним компрессором.

Снижение энергопотребления установки .

Сложность расчета теплообмена, связанная с фазовыми переходами смесей и изменением концентрации рабочего вещества.

# Однопоточный цикл на многокомпонентном хладагенте с двумя ступенями давления – процесс «Теаларк»

Теплообменник 0,15 МПа



Комплекс заводов в г. Скигда (Алжир), 1972г.

# Один из заводов по сжижению природного газа

Источник: [linde-healthcare.com.ph](http://linde-healthcare.com.ph)



# Однопоточный цикл на многокомпонентном хладагенте с дополнительным пропановым контуром процесс фирмы «Эйр-Продакст» и «Теаларк»

AP-C3MR™ LNG Process



В последнее время для предварительного охлаждения вместо однокомпонентного пропана используется **пропан-этановая смесь**, которая позволяет достигать температур  $-70^\circ\text{C}$  в первом контуре цикла.

# Первый Российский завод крупнотоннажного производства СПГ - Сахалин-2



«Сахалин-2» — один из крупнейших в мире проектов комплексного освоения нефтяных и газовых месторождений шельфа, созданный «с нуля» на Дальнем Востоке России в тяжелых субарктических условиях.

Продукция «Сахалина-2» — сжиженный природный газ (СПГ) и нефть марки «Витязь». С началом работы – в **2009 году**, впервые **российский газ в виде СПГ** в промышленных масштабах начал поступать в Азию и Америку

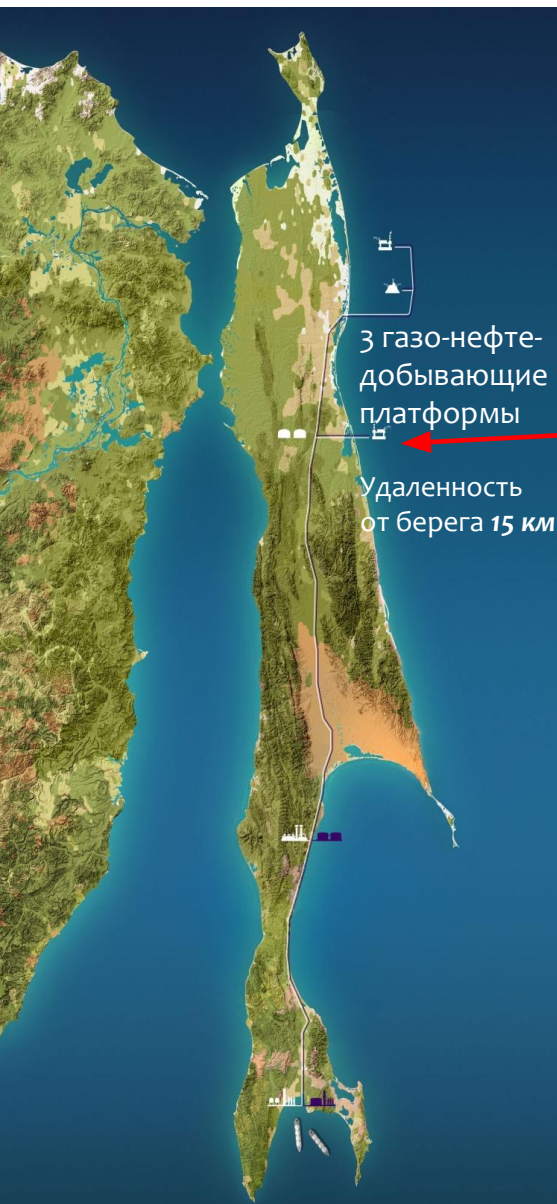


# Технологическая цепочка добычи и производства СПГ проекта Сахалин-2



- Три морские платформы для бурения скважин и добычи природного газа, конденсата и нефти на шельфе;
- Система морских трубопроводов для транспортировки добытого сырья на берег (протяженность 15 км);
- Объединенный береговой технологический комплекс для первичной очистки углеводородов, их сепарации по видам, последующего компримирования и отправки под давлением на завод по производству СПГ;
- Система наземных трубопроводов протяженностью **800 км.**
- Насосно-компрессорная станция №2;
- Завод по производству СПГ;
- Узлы учета и отбора газа;
- Терминал морской отгрузки СПГ и нефти.

# Основная газодобывающая платформа проекта Сахалин-2, месторождение «Лунское»



Ледо и сейсмостойкая газодобывающая платформа «Лунская-А» для добычи газа и нефти на шельфе с глубины 48 м





# Добыча и сепарация

Нефтегазодобывающая платформа ПА-Б

Круглогодичная эксплуатация в суровых условиях волновых, сейсмических и ледовых нагрузок. Добыча 50 млн. м<sup>3</sup> газа, 16000 баррелей нефти в сутки

Вертолетная площадка для доставки людей и небольших грузов

Внутри вышки находится буровое оборудование и трубы для скважин

Жилой модуль платформы рассчитан на 140 человек

Скважины бурятся через окна в бетонной опоре

Верхняя часть платформы крепится к 4-м железобетонным основаниям на маятниковых опорах для сейсмоустойчивости конструкции

Скважины имеют наибольший диаметр (244 мм) среди газодобывающих скважин России.



# Объединенный береговой технологический комплекс (ОБТК)

После добычи газ и нефть транспортируются на берег по линиям морских, заглубленных трубопроводов.

**ОБТК** — это специализированное перерабатывающее предприятие, имеющее назначение:

- первичная очистка углеводородов, их разделению по видам (сепарация);
- компримирование (сжатие) и отправка под давлением по трубопроводам на завод сжижения на комплекс «Пригородное»;
- производство из части поступившего газа электроэнергии всего комплекса и для платформы «ЛУН-А» на газотурбинной энергоустановке мощностью 100 МВт.



# Завод по сжижению природного газа (комплекс Пригородное)

Завод по производству СПГ расположен на **побережье залива Анива** и включает в себя:

- две технологические линии по производству СПГ производительностью **4,8 млн тонн СПГ в год** каждая;
- два резервуара для хранения СПГ емкостью **100 тыс. куб. м** каждый;
- морской причал отгрузки СПГ;
- два сферических резервуара для хранения хладагента (пропана и этана) по 1600 куб. м каждый (максимальная емкость);
- пять газотурбинных генераторов электроэнергии общей мощностью 129 МВт;
- вспомогательные системы.



# Технологические особенности завода СПГ (Пригородное)

Сжижение газа производится по технологическому процессу с применением двойного смешанного хладагента (DMR).

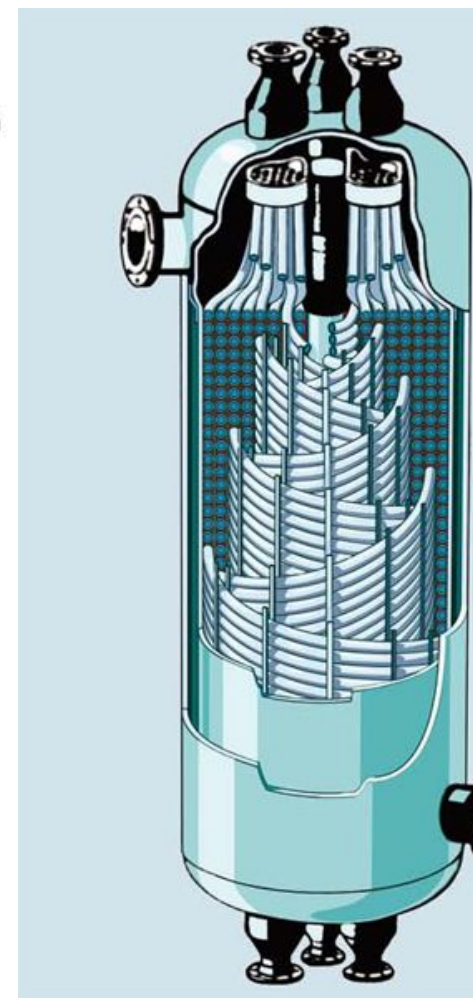
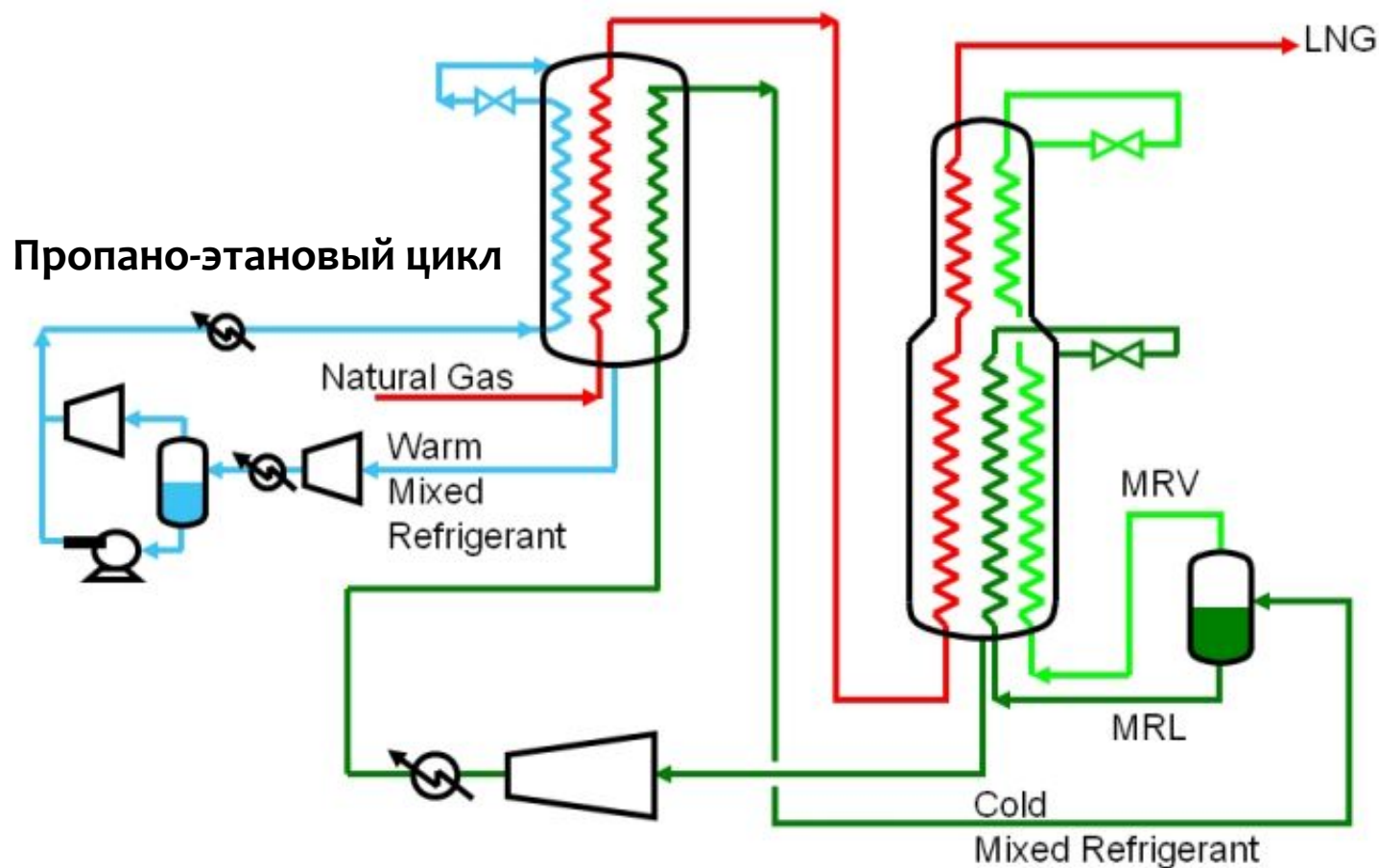


Figure 4 Air Products AP-DMR™ LNG Process

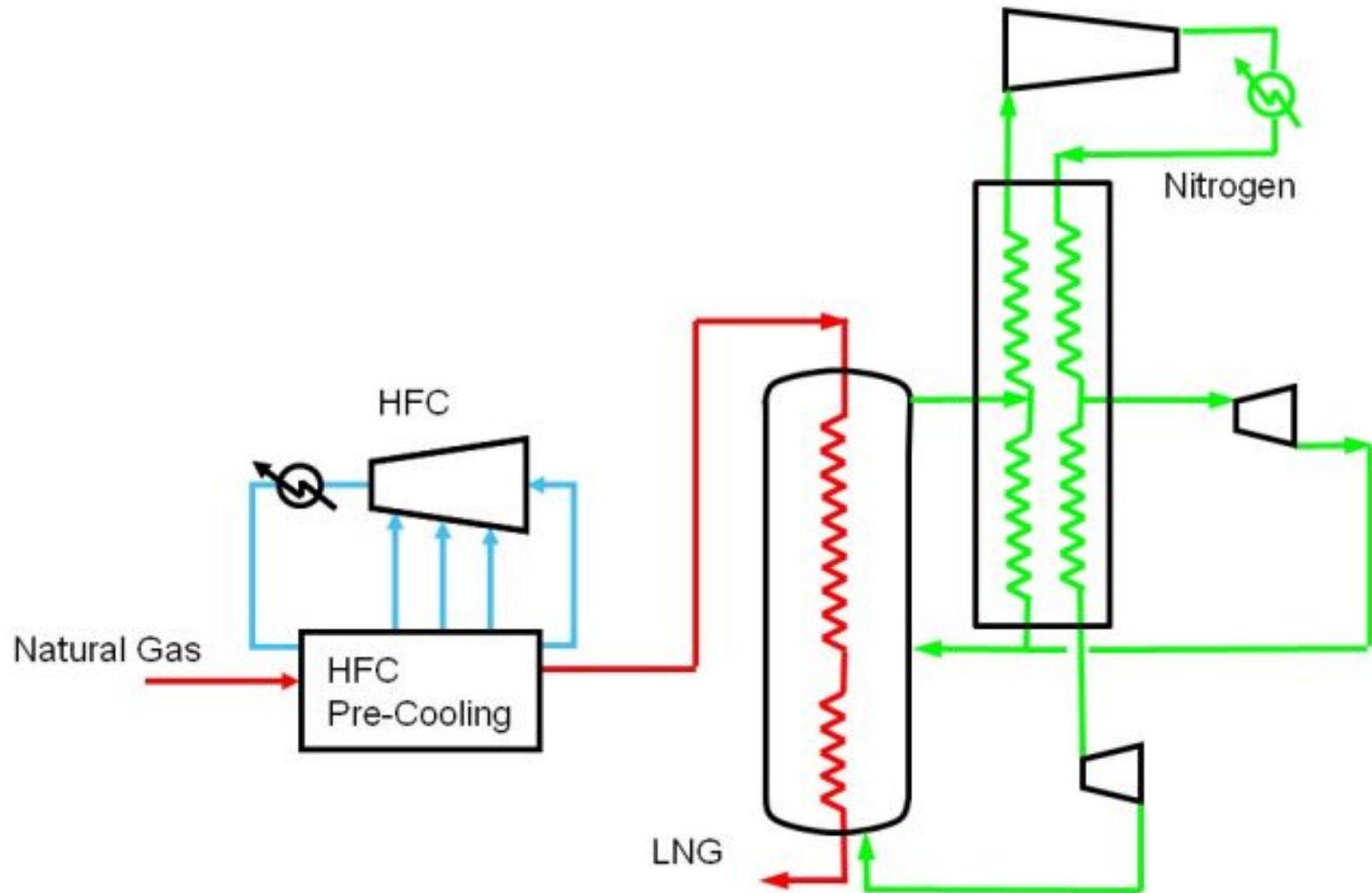
# Транспортировка СПГ морским транспортом



# Терминалы приема, хранения и регазификации СПГ

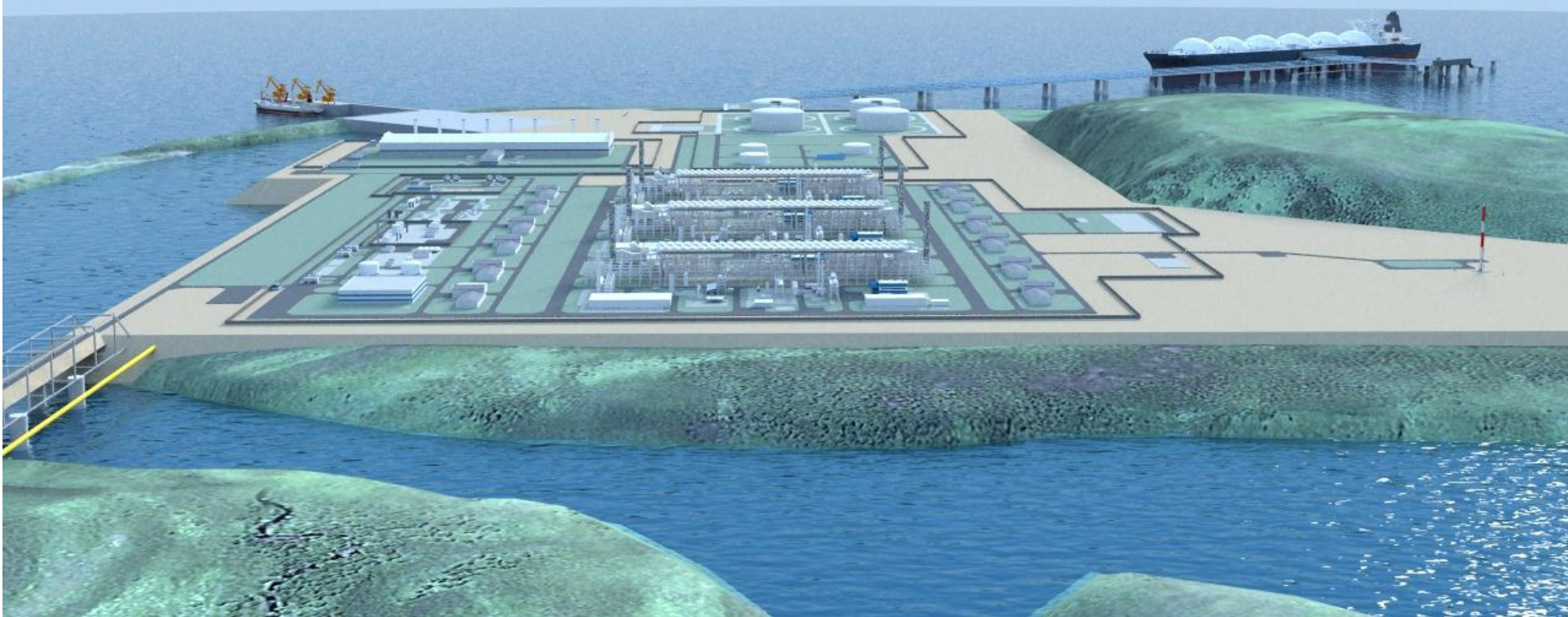


# Цикл сжижения с азотным циркуляционным циклом двух давлений



**Figure 8** Air Products AP-HN™ LNG Process

## Проект завода СПГ во Владивостоке



Активно разрабатываются шельфовые месторождения полуострова Ямал с ориентиром на СПГ и его экспортные поставки.



# Плавающий завод СПГ фирмы Shell - будущее морской добычи

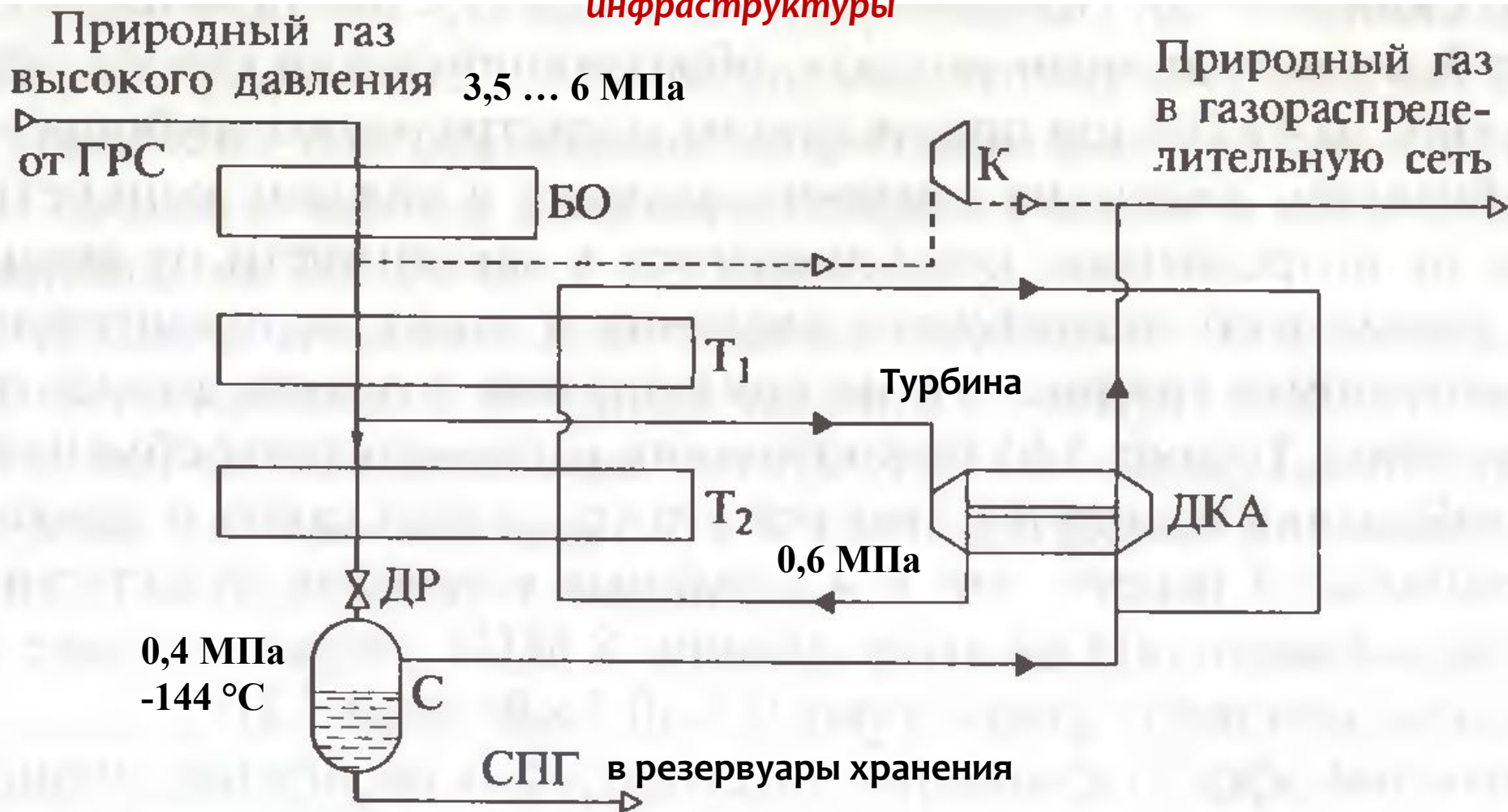
Prelude



# Производство СПГ на газораспределительных станциях (ГРС)

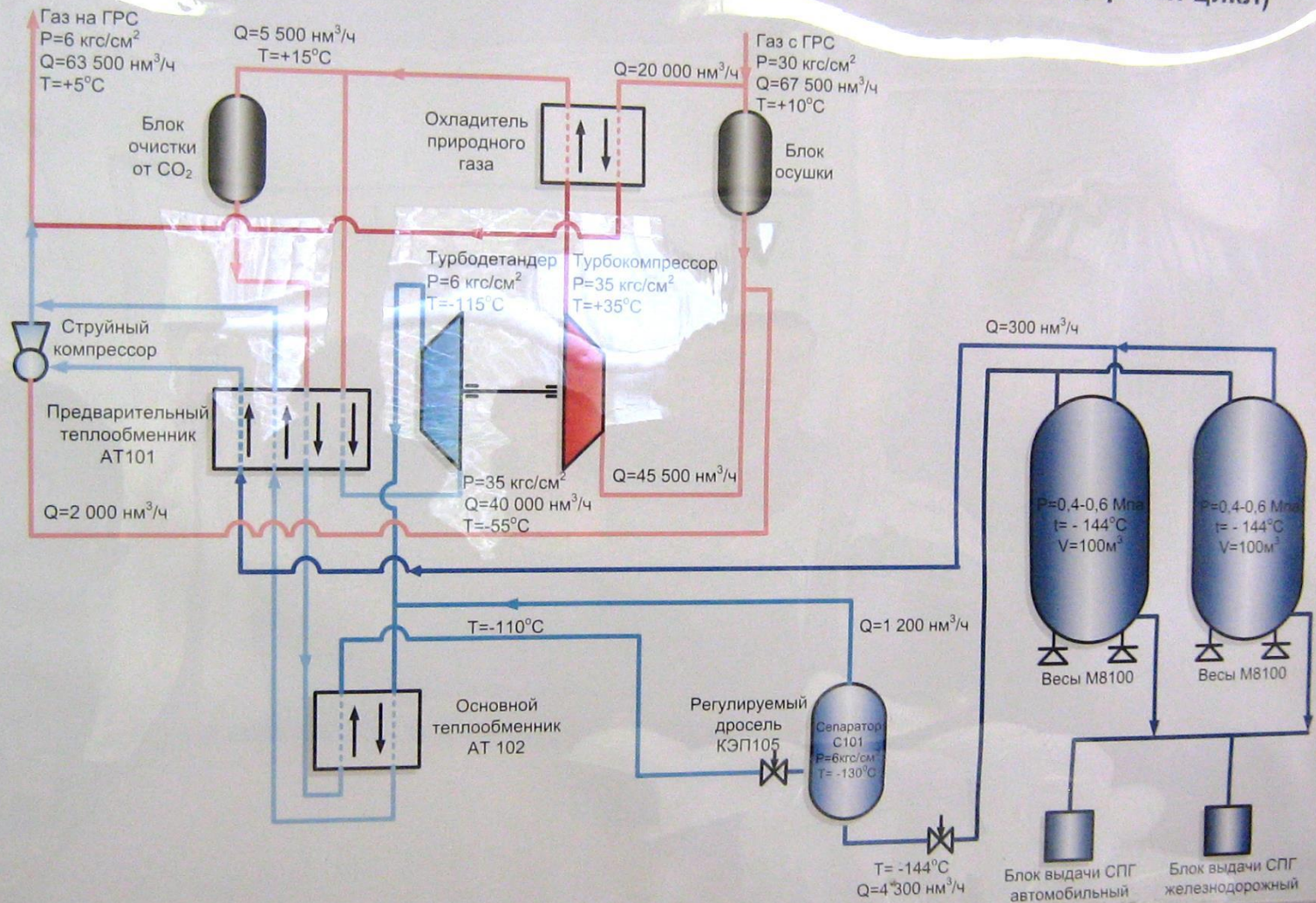
Малое и среднее производство для **собственного потребления на территории страны**, установки двух типов: производительностью 10 ... 12 т/час и 0,8 ... 1 т/час.

**Детандерный цикл с использованием перепада давления на ГРС и ее инфраструктуры**



# Действующее малотоннажное производство СПГ

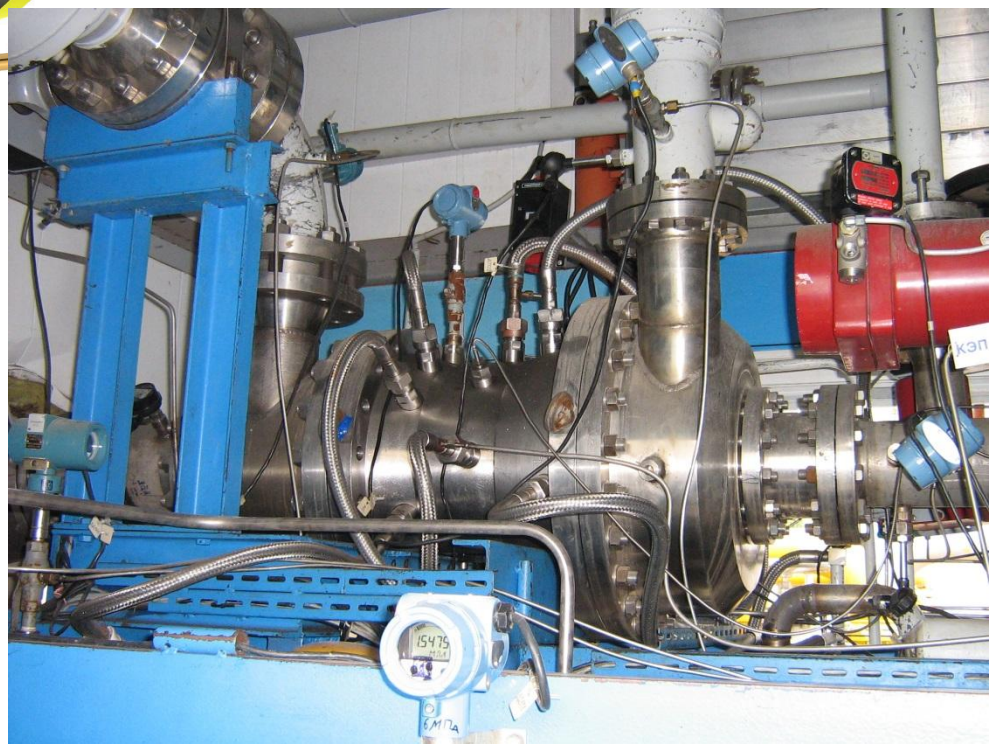
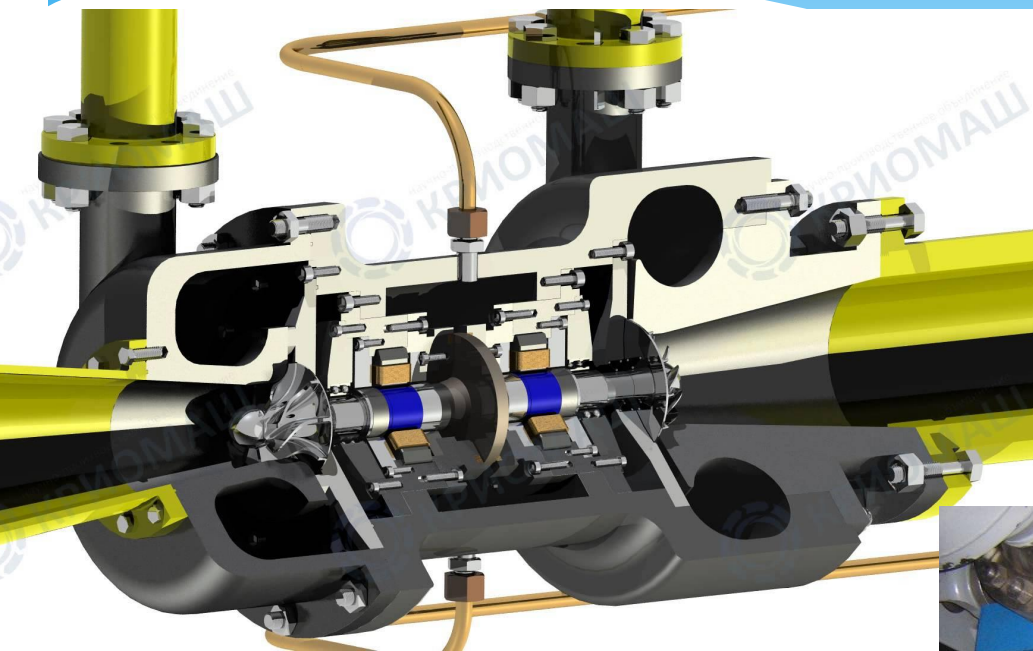
## Производство СПГ на ГРС-4 г. Екатеринбург (турбодетандерный цикл)



# Технологическое оборудование станции



# Детандерно-компрессорный агрегат



# Резервуары хранения СПГ на станции и узел выдачи в транспортные резервуары



# Блок адсорбционной очистки газа

