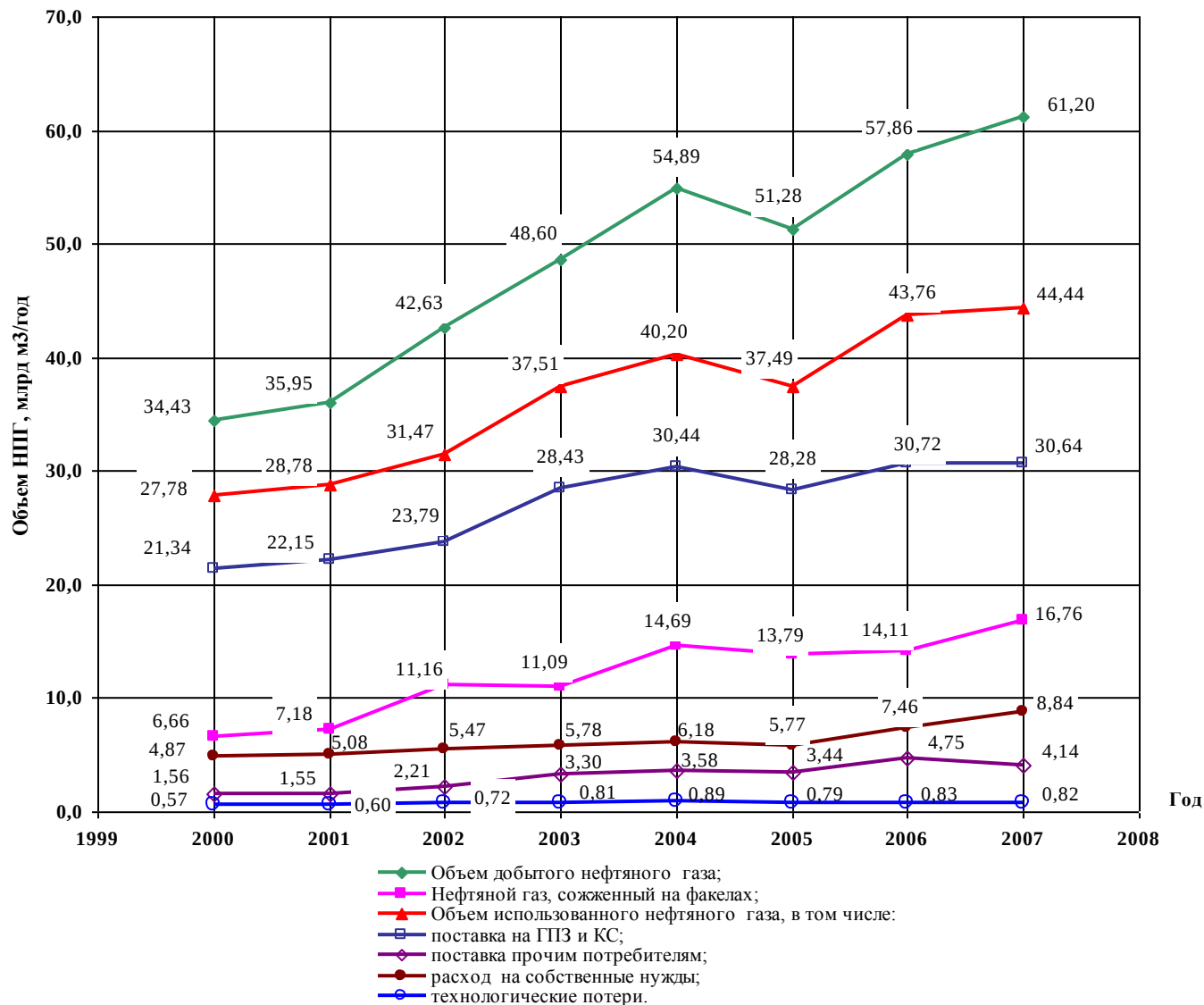


ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА И НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

часть 2

Критерии выбора эффективных методов утилизации нефтяного газа



Динамика показателей добычи и использования нефтяного газа по Российской Федерации за период 2000-2007 гг.

Установлено:

При выборе методов утилизации нефтяного газа определяющими факторами являются четыре основных критерия:

- инфраструктура района расположения месторождения,
- стадия разработки месторождения,
- количественная и
- качественная характеристики газа.

КРИТЕРИИ

А – Инфраструктура района расположения месторождения

Б – стадия разработки месторождения

В – Количественная характеристика газа

Г – Качественная характеристика газа

Уровень А.І

Район с развитой инфраструктурой

Уровень А.ІІ

Район с недостаточно развитой инфраструктурой:
А.ІІ.1 – отсутствуют ГПЗ, КС, НПЗ;
А.ІІ.2 – отсутствуют ГПЗ, КС, НПЗ, магистральные нефтегазопроводы;
А.ІІ.3 – отсутствуют ГПЗ, КС, НПЗ, магистральные нефтегазопроводы, промысловые нефтегазопроводы

Уровень А.ІІІ

Район с неразвитой инфраструктурой:
отсутствуют ГПЗ, КС, НПЗ, магистральные нефтегазопроводы, промысловые нефтегазопроводы, населенные пункты и дороги

Уровень Б.І

Начальная – развитие добычи

Уровень Б.ІІ

Средняя (зрелая) – максимальная

Уровень Б.ІІІ

Поздняя – падающая добыча

Уровень В.І

Ресурсы газа, млн м³/год: 100 и более

Уровень В.ІІ

от 50 до 100 млн м³/год

Уровень В.ІІІ

от 5 до 50 млн м³/год

Уровень В.ІV

от 1 до 5 млн м³/год

Уровень В.У

до 1 млн м³/год

Уровень Г.І

Газ соответствует ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения»

Уровень Г.ІІ

Газ не соответствует ГОСТ 5542-87 по показателям:
Г.ІІ.1 – Теплота сгорания низшая, МДж/м³, не менее 31,8;
Г.ІІ.2 – Область значений числа Воббе (высшего), МДж/м³, 41,2-54,5;
Г.ІІ.3 – Массовая концентрация сероводорода, г/м³, не более 0,02;
Г.ІІ.4 – Массовая концентрация меркаптановой серы, г/м³, не более 0,036
Г.ІІ.5 – Объемная доля кислорода, %, не более 1,0;
Г.ІІ.6 – Масса механических примесей в 1 м³, г, не более 0,001

Уровень Г.ІІІ

Газ соответствует ОСТ 51.40-93 «Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам»

Уровень Г.ІV

Газ не соответствует требованиям ОСТ 51.40-93 по показателям:
Г.ІV.1 – Точка росы по влаге, °С, не выше минус 3... минус 20 (в зависимости от климата и сезона)
Г.ІV.2 – Точка росы по углеводородам, °С, не выше 0... минус 10 (в зависимости от климата и сезона)
Г.ІV.3 – Масса сероводорода, г/м³, не более 0,007
Г.ІV.4 – Объемная доля кислорода, г/м³, не более 0,5... 1,0 (в зависимости от климата и сезона)
Г.ІV.5 – Теплота сгорания низшая, МДж/м³, не менее 32,5

Технологические и организационные мероприятия, предшествующие утилизации НПП, направления и методы утилизации		Применимость мероприятий и методов утилизации НПП
Технологические и организационные мероприятия и методы	Варианты реализации мероприятий и методов	
Утилизация газа недропользователем		
1. Сбор газа	1.1 Межпромысловый транспорт газа с пунктов сепарации до центральных пунктов сбора (ЦПС) газопроводом:	
	1.1.1 под собственным давлением;	А.І; А.ІІ; Б.І-Б.ІІІ; В.І-В.ІV; Г.І; Г.ІІІ
	1.1.2 путем компримирования	А.І; А.ІІ; Б.І-Б.ІІІ; В.І-В.ІV; Г.І; Г.ІІІ
	1.2 Межпромысловый транспорт нефтегазовой смеси с первичных пунктов сбора до центральных сборных пунктов:	
	1.2.1 многофазными насосами (МФН) с устья нефтяной скважины, с куста скважин или иных сборных пунктов;	А.І-А.ІІІ; Б.І-Б.ІІІ; В.І-В.ІV
	1.2.2 путем подачи струйным насосом или эжектором газа с пунктов сепарации в поток перекачиваемой нефти на выкид насоса дожимных насосных станций (ДНС)	А.І-А.ІІІ; Б.І; Б.ІІ
2. Подготовка газа	2.1 Очистка от мехпримесей; осушка газа от влаги	А.І-А.ІІІ; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ; Г.ІІ.6; Г.ІV.1; Г.ІV.2
	2.2 Спецподготовка газа:	
	2.2.1 очистка от сероводорода;	А.І; А.ІІ; Б.І-Б.ІІІ; В.І-В.ІV; Г.ІІ.3; Г.ІV.3
	2.2.2 удаление азота, гелия;	А.І; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ
	2.2.3 отбивка тяжелых фракций C _{5+высш.}	А.І-А.ІІІ; Б.І-Б.ІІІ; В.І-В.ІV
3. Использование	3.1 Направление в магистральный газопровод, ГПЗ, иным потребителям	А.І; А.ІІ; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІV
	3.2 На собственные нужды:	
	3.2.1 собственные топливные нужды (печи, подогреватели, котельные), производственно-технологические нужды;	А.І-А.ІІІ; Б.І-Б.ІІІ; В.І-В.ІV; Г.І; Г.ІІІ
	3.2.2 выработка электроэнергии	А.І-А.ІІІ; Б.І-Б.ІІІ; В.І-В.ІV

5

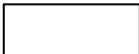
4. Переработка газа	4.1 На собственном ГПЗ	А.І; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ
	4.2 На мини-ГПЗ	А.І-А.ІІІ; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ
	4.3 На спец. установках	А.І-А.ІІІ; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ
5. Закачка газа в пласт	5.1 Для хранения	А.І-А.ІІІ; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ
	5.2 Для поддержания давления:	
	5.2.1 газа;	А.І-А.ІІІ; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ
	5.2.2 водогазовой смеси	А.І-А.ІІІ; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ
	5.3 Газлифтная добыча нефти	А.І-А.ІІІ; Б.І; Б.ІІ; В.І-В.ІІІ
6. Сжигание газа в факелах или рассеивание в атмосфере	6.1 В период пробной эксплуатации скважин	А.ІІ; А.ІІІ; Б.І; В.ІV; Г.ІІ; Г.ІV
	6.2 Начальный и поздний периоды эксплуатации месторождений	А.ІІ; А.ІІІ; Б.І; Б.ІІІ; В.ІV; Г.ІІ; Г.ІV
	6.3 Наличие в газе азота более 70...80 % (объем.)	А.ІІ; А.ІІІ; Б.І; Б.ІІІ; В.ІV
	6.4 В период планово-предупредительных ремонтных работ, при выполнении технологических мероприятий по поддержанию работоспособности оборудования, темпов добычи и обеспечению безопасности производства	при любых

Апробация метода выбора экономически эффективных мероприятий по утилизации нефтяного газа

Критерии ПНГ позволяют оценить без экономических расчетов рентабельность мероприятий по его утилизации.

Для практического применения этого метода необходимо оценить нефтяной газ конкретного месторождения по его критериям и по взаимодействию этих критериев (согласно таблице) установить, к какой области относится этот нефтяной газ.

Выделено три области, отличающиеся степенью рентабельности мероприятий по утилизации НПГ:

	мероприятия по утилизации нефтяного газа экономически не эффективны;
	мероприятия по утилизации нефтяного газа экономически малоэффективны
	большинство мероприятий по утилизации нефтяного газа экономически эффективны

Апробация метода выбора эффективных мероприятий по утилизации нефтяного газа проведена путем сравнения с результатами технико-экономических расчетов эффективности внедрения различных методов утилизации нефтяных газов, добываемых на месторождениях ОАО «ЛУКОЙЛ-Коми».

Было исследовано 48 месторождений с различными условиями добычи углеводородов: разными уровнями развития инфраструктуры, стадиями разработки месторождений, объемами нефтяного газа, различными качественными характеристиками газа.

Установлено, что удельные затраты на реализацию основных мероприятий по утилизации газа, при прочих равных условиях, значительно повышаются с уменьшением объема утилизируемого газа:

Апробация показала, что разработанные критерии могут быть использованы для выбора рентабельных методов утилизации нефтяного газа.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КОНДЕНСАЦИЯ

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УСТАНОВОК ПОДГОТОВКИ НЕФТЯНОГО ГАЗА

Предельные значения основных технологических параметров установок подготовки:

Температура газа, поступающего на установку, не более, **40 °C**

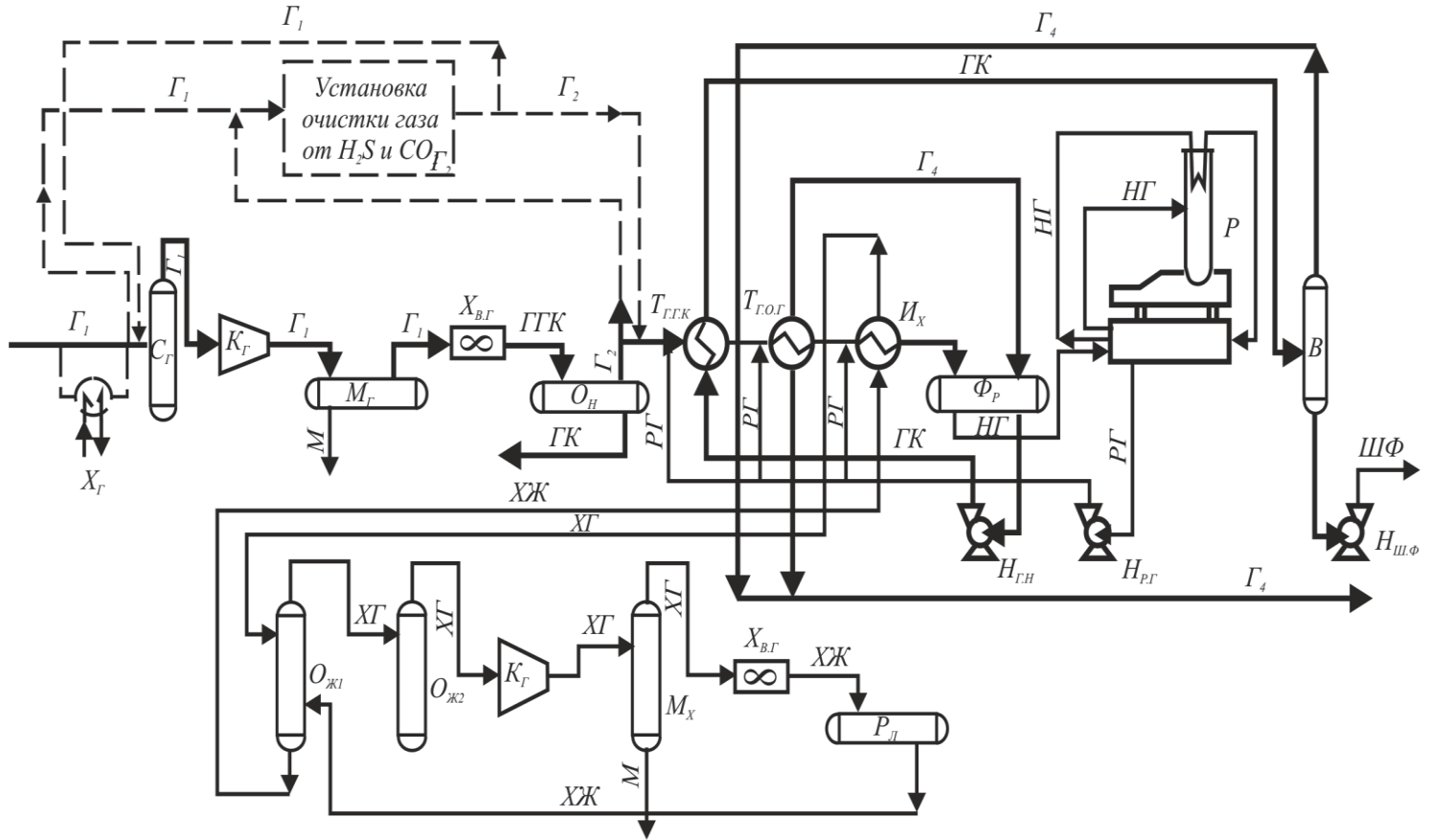
Давление газа, поступающего на установку, не более, **0,8 МПа**

Давление газа после компрессора, не более, **0,8 МПа**

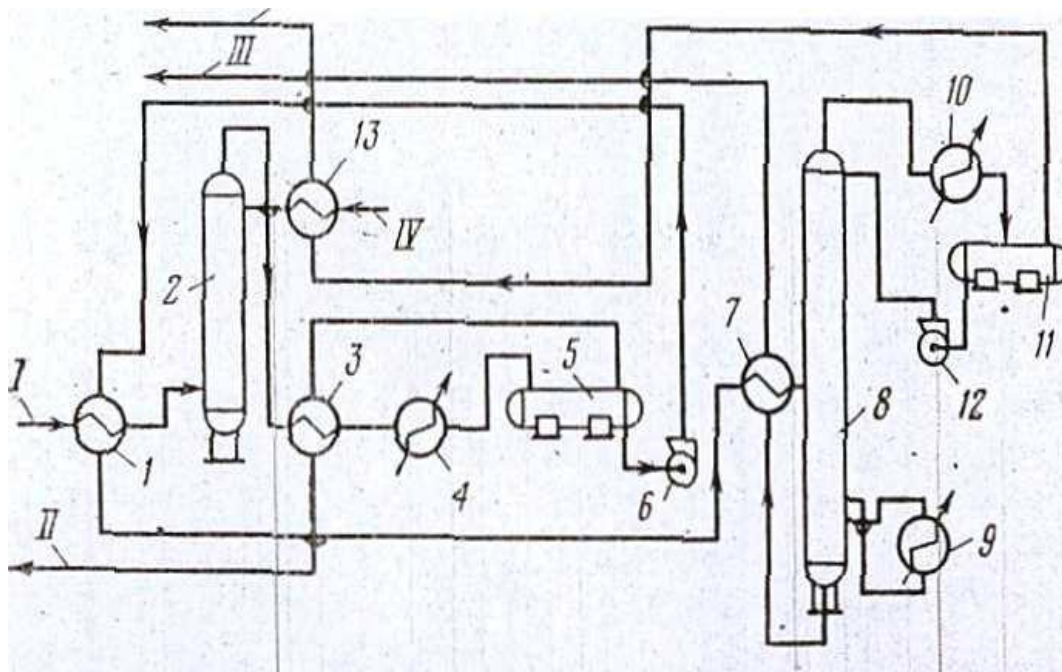
Температура охлаждения газа, не менее:

- после испарителей для **газа первой ступени** сепарации **-5 °C**
- после испарителей для **газа концевых ступеней** сепарации **-10°C**

Схема подготовки нефтяного газа конечных ступеней сепарации. Тип 5



Принципиальная технологическая схема установки низкотемпературной конденсации



1, 3, 7, 13— теплообменник; 2— установка по осушке; 4, 10 — испарители; 5, 11 - емкости — сепараторы; 6 — 12 — насосы; 8 — деэтанизатор; 9 — подогреватель; I — сырой газ; II — отбензиненный газ; III — нестабильный бензин; IV — диэтиленгликоль; V — этановая фракция

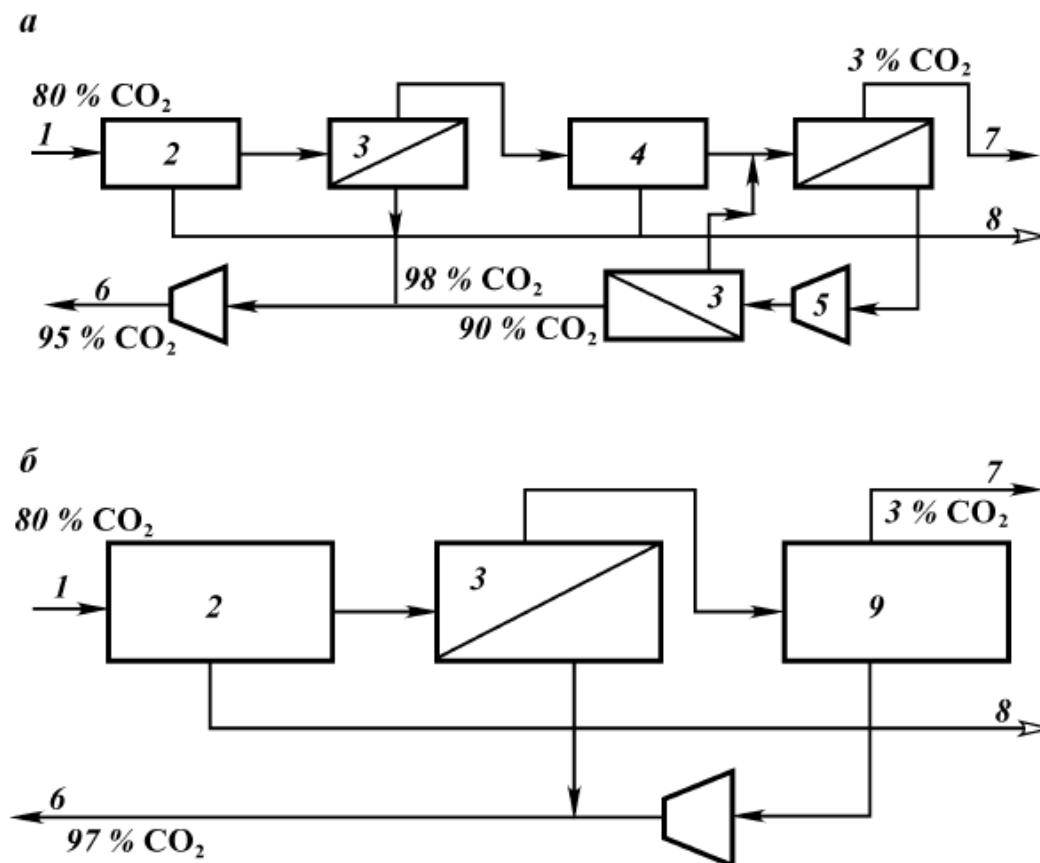
МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЗАРУБЕЖНЫЕ

*Технология мембранного выделения
диоксида углерода и сероводорода*

Рис. 4.117. Принципиальная схема использования мембранных процессов в технологии обработки попутного газа при добыче нефти в режиме закачки CO_2



а – трехступенчатая мембранная установка для получения CO_2 на закачку и подготовки газа к трубопроводному транспорту; *б* – комбинация мембранного и абсорбционного процессов для получения CO_2 на закачку и подготовки газа к трубопроводному транспорту

1 – нефтяной попутный газ; 2 – сепарация жидких углеводородов и осушка; 3 – мембранный аппарат, 4 – конденсатор, 5 – компрессор, 6 – CO₂ на закачку, 7 – товарный природный газ; 8 – углеводородный конденсат, 9 – установка абсорбционного выделения CO₂.

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

«ГРАСИС»

**Подготовка природного
и попутного нефтяного газа**

Основой мембранной технологии разделения газов является **мембрана**, с помощью которой происходит разделение газов. Современная газоразделительная мембрана представляет собой не плоскую пластину или пленку, а **полое волокно**.



Половолоконная мембрана состоит из пористого полимерного волокна с нанесенным на его внешнюю поверхность газоразделительным слоем.

Пористое волокно имеет сложную асимметричную структуру, плотность полимера возрастает по мере приближения к внешней поверхности волокна.

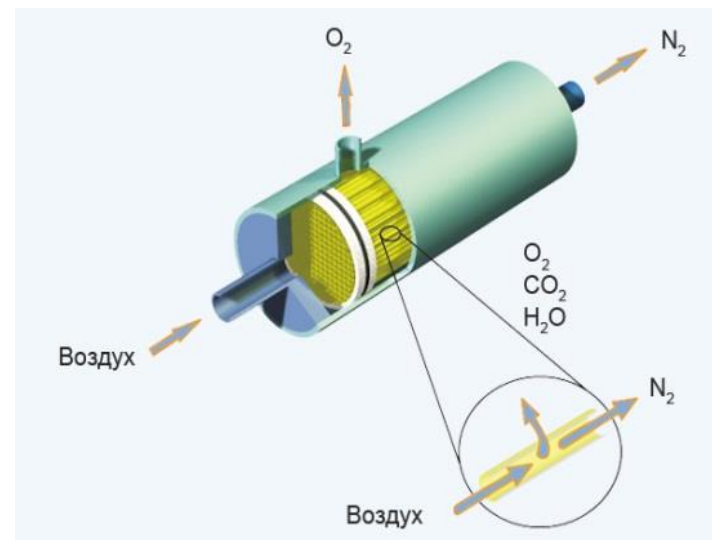
Применение пористых подложек с асимметричной структурой позволяет разделять газы при высоких давлениях (до 6,5 МПа).

Толщина газоразделительного слоя волокна не превышает 0,1 мкм, что обеспечивает высокую удельную проницаемость газов через полимерную мембрану. Существующий уровень развития технологии позволяет производить полимеры, которые обладают высокой селективностью при разделении различных газов, что, соответственно, обеспечивает высокую чистоту газообразных продуктов.

Современный мембранный модуль, используемый для технологии мембранного разделения газов, состоит из сменного мембранного картриджа и корпуса. Плотность упаковки волокон в картридже достигает значений **3000—3500** квадратных метров волокна на один кубический метр картриджа, что позволяет минимизировать размеры газоразделительных установок.

Схематическое изображение газоразделительного картриджа

Скорость проникновения газов через вещество мембраны



Быстрые газы

Медленные газы

H ₂ O	He	H ₂	NH ₃	CO ₂	O ₂	CO	Ar	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈
------------------	----	----------------	-----------------	-----------------	----------------	----	----	----------------	-----------------	-------------------------------	-------------------------------

Разделение смеси с помощью мембранной технологии происходит за счет **разницы парциальных давлений газа** на внешней и внутренней поверхностях полуволоконной мембраны.

Газы, «быстро» проникающие через полимерную мембрану (например H₂, CO₂, O₂, пары воды, высшие углеводороды), поступают внутрь волокон и выходят из мембранного картриджа через один из выходных патрубков. Газы, «медленно» проникающие через мембрану (например, CO, N₂, CH₄), выходят из мембранного модуля через второй выходной патрубок.

Сравнение классической мембраны и мембраны Грасис

Классическая мембрана

Быстрые газы

Медленные газы



H_2O

H_2/He

CO_2

O_2

N_2/CH_4

C_2H_6
Этан

C_3H_8
Пропан

Мембранный модуль Грасис

Быстрые газы

Медленные газы



H_2O

H_2S

C_6H_{14}
Гексан

C_4H_{10}
Бутан

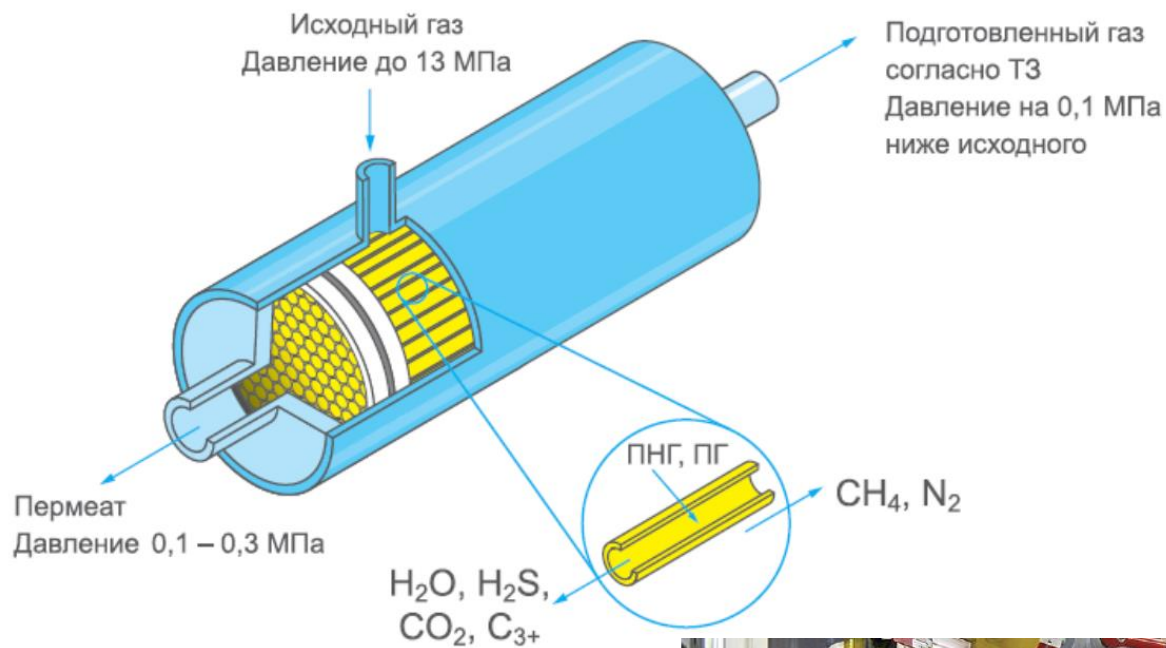
CO_2

C_3H_8
Пропан

CH_4
Метан

N_2

Схема распределения газовых потоков в модуле «Грасис»



КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ПОДГОТОВКИ ПРИРОДНОГО И ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Установки, изготовленные на основе мембранных модулей с мембраной CarboPEEK, позволяют:

- провести осушку газа и уменьшить температуру точки росы (ТТР) по воде на 15–60°С относительно изначального значения;
- снизить ТТР по углеводородам на 10–40°С относительно начального значения; при этом возможны повышение метанового числа на 10–40 единиц и значительное уменьшение низшей теплотворной способности газа;
- снизить содержание сернистых соединений (сероводорода, меркаптанов) в 10–40 раз, при реализации схем с рециклом – до 100–150 раз;
- уменьшить содержание CO₂ в 2–5 раз.

Важнейшим преимуществом мембранной системы на основе мембраны CarboPEEK является то, что все процессы очистки нефтяного газа от примесей происходят одновременно.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

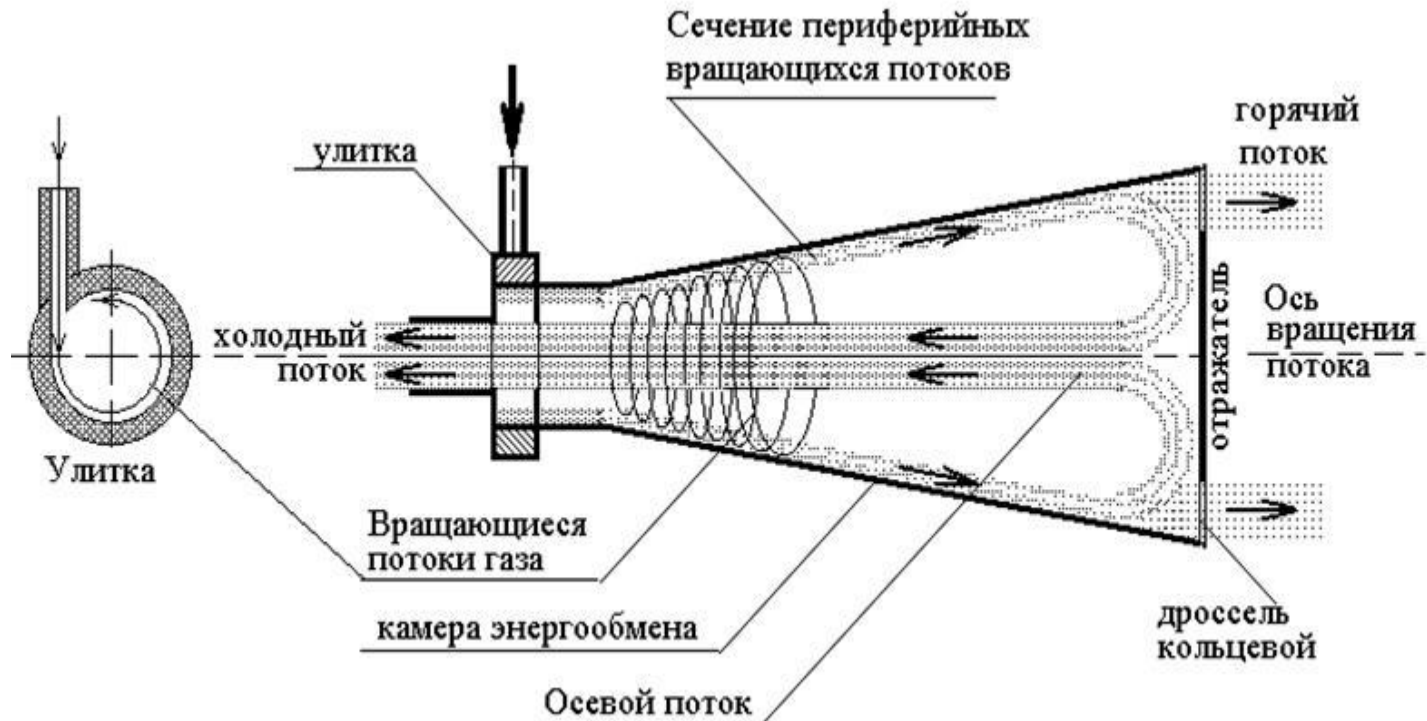
Для более эффективного использования давления природного газа и получения низкой температуры в качестве редукционного органа используют:

- сопло Лавалья;
- вихревую трубу (труба Ранка);
- расширительные машины — детандеры
- 3S сепаратор

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ВИХРЕВЫЕ ТРУБЫ

Принципиальная схема вихревой трубы Ранка-Хилша



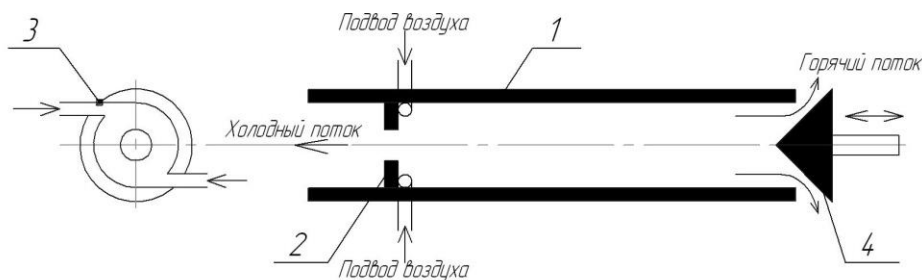
Аппарат работает следующим образом: сжатый газ, расширяясь в сопле, разгоняется до скорости звука и интенсивно закручивается. При этом в рабочем объёме ВТ формируется высокоскоростной вихревой поток, в котором и возникает эффект Ранка-Хилша. Внутренние - охлаждённые - слои газа отводятся через диафрагму в виде холодного потока, а периферийные - нагретые - в виде горячего потока.

Вихревые трубы можно поделить на две группы.

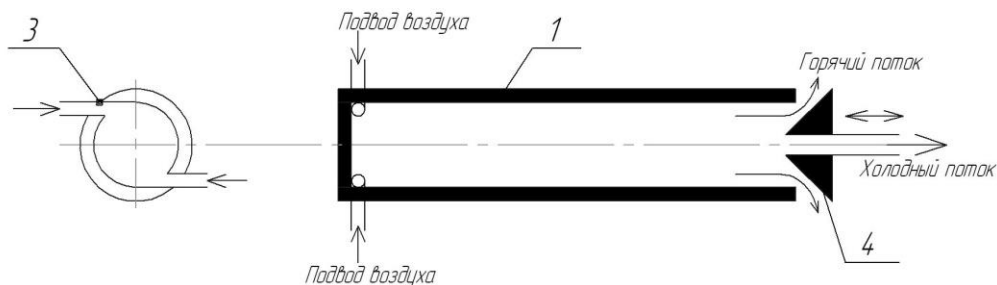
Первая группа - это **противоточные** вихревые трубы (часто называемые стандартными), во **вторую** группу входят **параллельные** или однопоточные.

Наибольшее распространение получили стандартные противоточные вихревые трубы в силу простоты конструкции и более высокой эффективности по отношению к однопоточным конструкциям.

а



б



Противоточная ВТ (а),
однопоточная ВТ (б):

1 – вихревая труба,
2 – диафрагма,
3 – сопла,
4 – конический клапан

Технические характеристики вихревой трубы

Рабочая среда	Газ
Давление газа на входе в ВТ	2,8...3 МПа
Давление на выходе из ВТ	0,63 МПа
Понижение температуры холодного потока	40... 45 °С
Повышение температуры горячего потока	40... 45 °С
Пропускная способность	0 ... 3000 нм ³ /час
Массовая доля холодного газа	60... 70%

Регулирование производительности ВТ производится автоматически за счет изменения площади соплового ввода. Необходимая доля холодного потока устанавливается с помощью регулятора на горячем потоке ВТ.

Сравнительная эффективность технологий охлаждения газа (термический КПД, %)

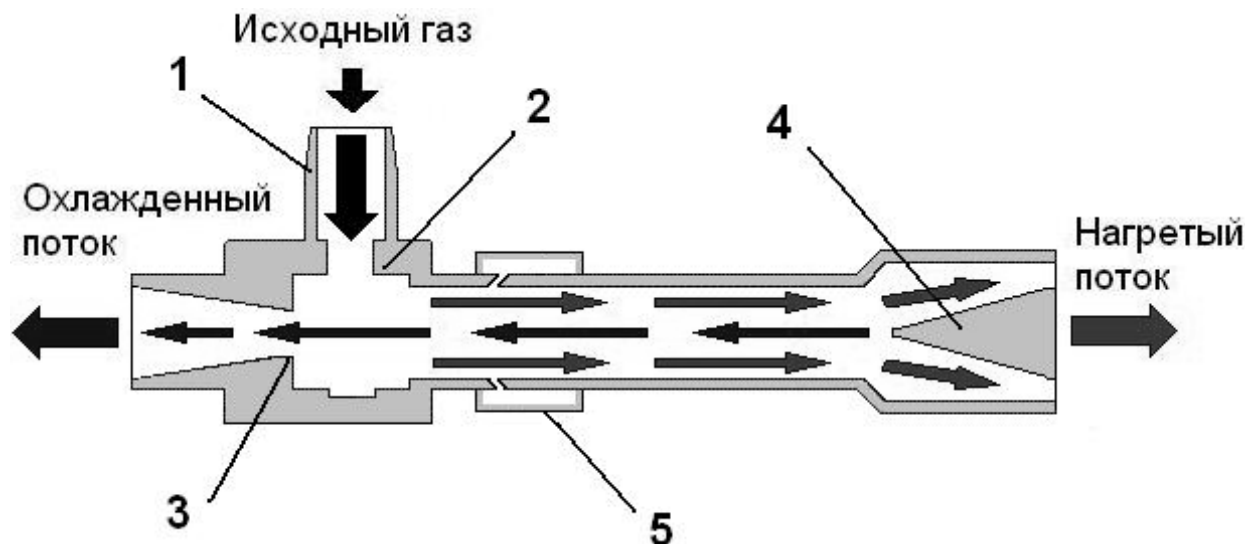
Дросселирование	Вихревая труба	Турбодетандер
1,7	45-65 (в зависимости от конструкции)	78

Трехпоточная вихревая труба

Трехпоточная вихревая труба совмещает в одном аппарате процессы охлаждения газа и сепарацию жидкости: отделяемые жидкие компоненты отводятся с частью газа в виде третьего потока.

Основными функциональными элементами ТВТ являются:

- вихревая камера с тангенциальным сопловым вводом;
- диафрагма, примыкающая к камере;
- дроссельный клапан в камере энергетического разделения для обеспечения необходимого соотношения потоков;
- сепарационный узел.



1 – сопловый ввод; 2 – закручивающее устройство; 3 – диафрагма; 4 – дроссельный клапан; 5 – сепарационный узел

Основными рабочими характеристиками ТВТ являются:

- **Температурная эффективность** (или просто эффективность) ТВТ по смешанному потоку, $\Delta T_{\text{см}}$:

$$\Delta T_{\text{см}} = T_{\text{вх}} - T_{\text{см}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $\Delta T_{\text{см}}$ - температурная эффективность, $^\circ\text{C}$;

$T_{\text{вх}}$ – температура входного потока, $^\circ\text{C}$;

$T_{\text{см}}$ – температура смешанного выходного потока, $^\circ\text{C}$.

- **Отношение абсолютных давлений, π :**

$$\pi = P_{\text{вх}} / P_{\text{см}},$$

где π - отношение абсолютных давлений;

$P_{\text{вх}}$ – входное давление, ата;

$P_{\text{см}}$ – давление смешанного потока на выходе, ата.

- **Доля холодного потока, μ :**

$$\mu = V_{\text{хол}} / V_{\text{вх}},$$

где μ - доля холодного потока;

$V_{\text{хол}}$ – количество холодного газа, $\text{нм}^3/\text{час}$;

$V_{\text{вх}}$ – количество газа на входе в ТВТ, $\text{нм}^3/\text{час}$.

- **Удельная холодопроизводительность** ТВТ, (в этом случае $\mu = 1,0$):

$$q_{\text{ТВТ}} = \Delta T_{\text{см}}$$

где $q_{\text{ТВТ}}$ – удельная холодопроизводительность, $^\circ\text{C}$;

$\Delta T_{\text{см}}$ – температурная эффективность, $^\circ\text{C}$.

- **Степень открытия сопловых вводов, β_c** (изменяется в диапазоне $\beta_c = 0,0 - 1,0$):

$$\beta_c = F / F_{\text{макс}}$$

где β_c - степень открытия сопловых вводов;

F – текущая **площадь** сопловых вводов, м^2 ;

$F_{\text{макс}}$ – максимальная **площадь** сопловых вводов, м^2 .

Применение трехпоточной вихревой трубы

Генерируемый в вихревой трубе холод может быть использован для охлаждения газовой смеси и осуществления процесса конденсации компонентов (в том числе и водяных паров) при начальном давлении.

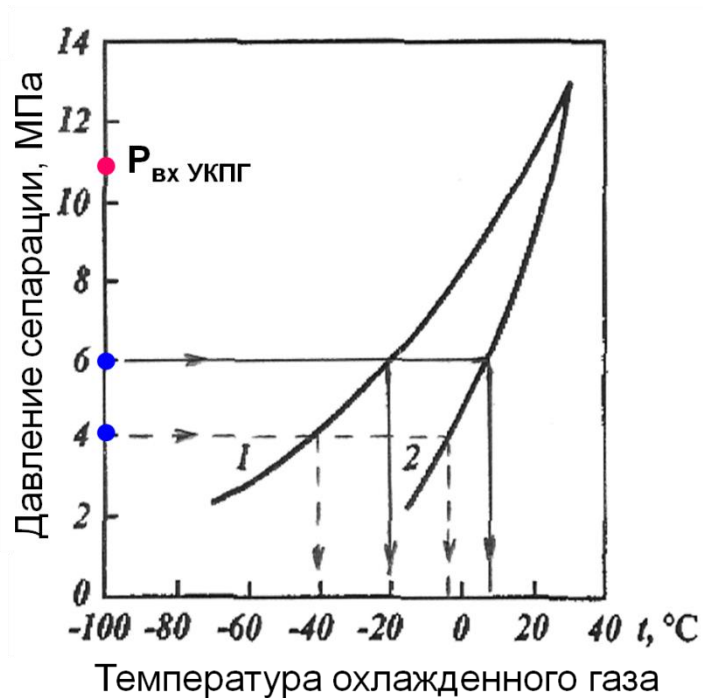
Для нефтегазовой отрасли возможны следующие варианты использования эффекта сепарации газовых потоков в вихревой трубе:

- очистка газа от дисперсной влаги, имеющейся в исходном газе;
- компонентное разделение газоконденсатных смесей;
- низкотемпературная подготовка газа (конденсация высококипящих компонентов);
- «сухое» компонентное разделение газовых смесей

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ДЕТАНДЕР

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА



- 1-изоэнтروпийный процесс (детандер);
- 2-изоэнтальпийный процесс (дроссель)

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

СВЕРХЗВУКОВАЯ СЕПАРАЦИЯ

Низкотемпературный сверхзвуковой сепаратор

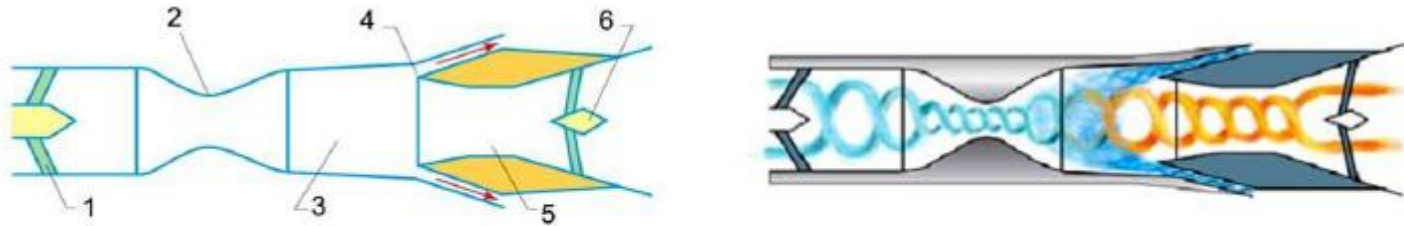
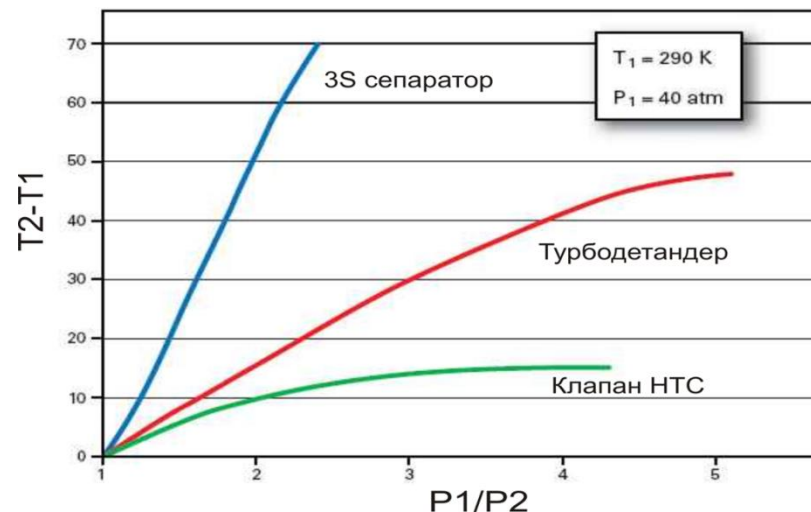


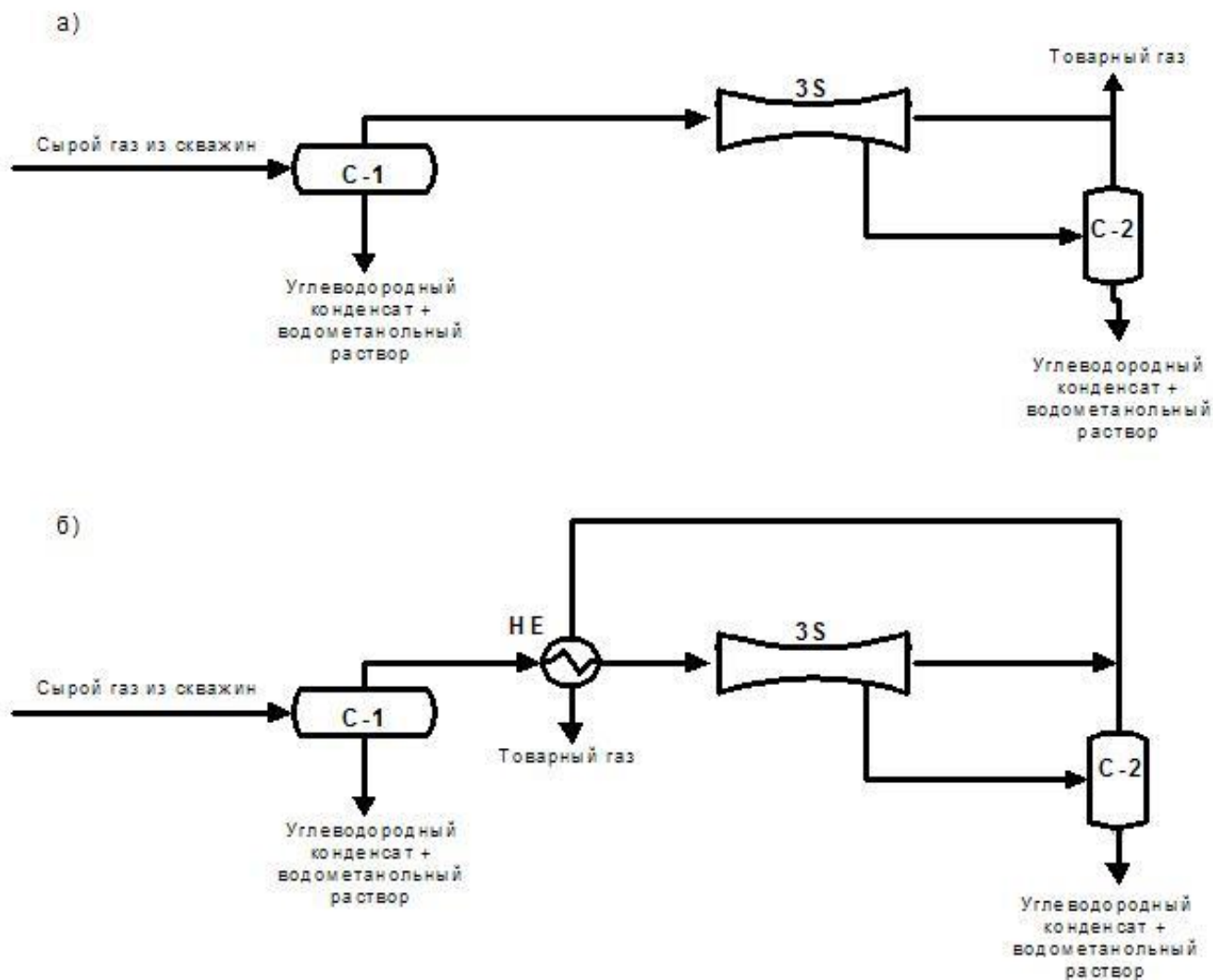
Рисунок 1 – Конструкция и схема движения потоков в 3S-сепараторах:

1 – завихряющее устройство; 2 – сопло Лавала; 3 – рабочая секция; 4 – двухфазный сепаратор газ-жидкость; 5 – диффузор; 6 – направляющий аппарат

Эффективность способов понижения температуры газа (по Измикову)



Схемы подключения 3S-сепараторов



Показатели работы блока 3S-сепарации на Губкинском ГКМ

Показатели	Параметры УКПГ до включения блока 3s-сепарации	Параметры УКПГ после включения блока 3s-сепарации
ТТР по углеводородам	-11,5	-27,1
Расход подготовленного газа, нм ³ /ч	82545	88601
Давление на входе в УКПГ, МПа	8,6	8,0
Давление на выходе из УКПГ, МПа	5,0	5,1
Стабильный конденсат, т/сут	173	184
Содержание C ₅₊ в товарном газе, % мол	0,415	0,167

Характеристика методов подготовки нефтяного газа

Метод	Очистка от воды и углеводородов	Удаление CO ₂ и сернистых соединений	Применение и технологические ограничения	Адаптация к полевым условиям
Сепарационный	Невысокие характеристики, особенно при низком давлении	Не удаляются	В дополнение к другим методам. Эффективен в узком диапазоне производительностей	Применим в любых условиях
Газодинамический	Неэффективен при низком давлении	Не удаляются	Необходимо предварительное компримирование, осушка газа. Очень чувствителен к изменению объема газа	Хорошая
Сорбционный	Эффективен	Возможно при невысоких концентрациях H ₂ S	Осушка и обессеривание невозможны в одном процессе, потери газа 8-30 %	Плохая
Криогенный	Удаляются	Удаляются	Обязательна предварительная осушка. Большие потоки газа	Плохая
Гликолевая осушка	Только от воды	Не удаляются	В дополнение к другим методам. Потери газа 0,5-5 %	Средняя
Обессеривание	100 %-ная влажность подготовленного газа	Удаляются	Только обессеривание	В зависимости от процесса
Мембранный	Осуществляется в одном процессе	Удаляются	Нет технологических ограничений	Хорошая