



Оценка энергоэффективности различных вариантов подготовки природного газа к ожижению

Докладчик: Ивашин Александр Александрович, группа W4106
sanya-ivashin@mail.ru

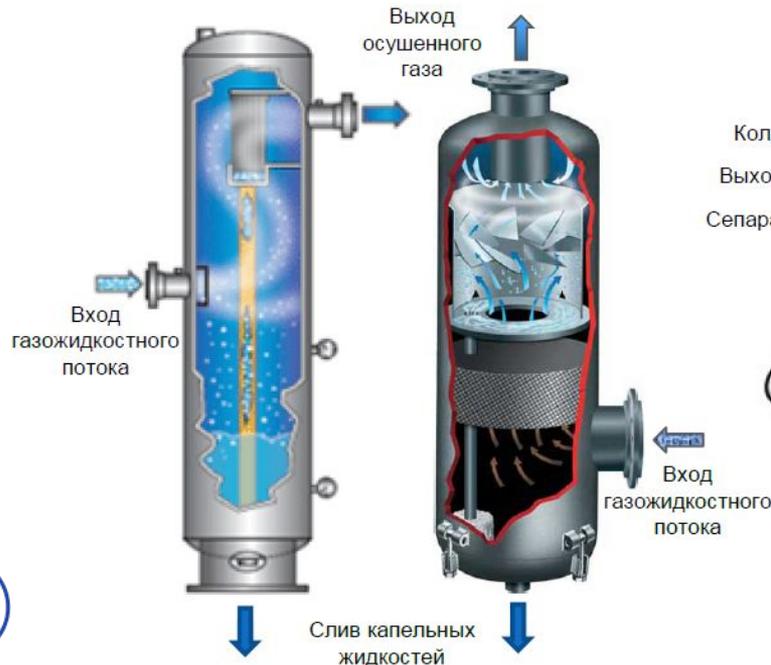
Для предотвращения эксплуатационных проблем в криогенных установках концентрация следующих веществ на входе должна быть ограничена:

- по влаге - 1 ppmv (одна объемная часть воды на миллион)
- по углекислому газу - 50 ppmv
- по ртути - 10 нг/м³ (10⁻⁹ г/м³)

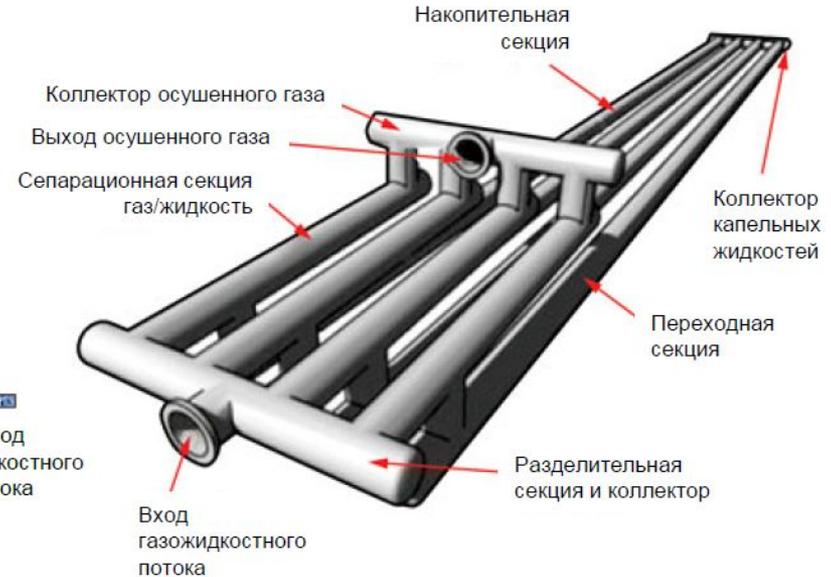
Для удовлетворения коммерческих спецификаций содержание сероводорода в газе должно быть снижено до 4 ppmv, а меркаптаны удаляют так, что содержание серы не должно превышать 30 мг/м³.

Механическая очистка от твердых частиц и капельных жидкостей

Ёмкостные каплеуловители
(сепараторы, циклоны)



Каплеуловители трубчатого типа



Удаление кислых компонентов

Для удаления кислых примесей существует ряд технологий:

- регенеративная абсорбция физическими и химическими сорбентами
- регенеративная адсорбция
- отделение кислых газов на мембранах
- нерегенеративные методы

Технология удаления кислых газов		Очистка от CO ₂ и H ₂ S		Очистка от меркаптанов	
		Степень очистки	Достижение спецификации и товарного СПГ	Степень очистки	Достижение спецификации и товарного СПГ
Регенеративная абсорбция	Физические растворители	Основная масса	Нет	Полная	Да
	и Аминовые растворители	Полная	Да	Частичная	Нет
	и Смешанные растворители	Полная	Да	Полная	Да
Регенеративная адсорбция		Глубокая	Да	Глубокая	Да
Мембранное разделение		Основная масса	Нет	Частичная	Нет
Нерегенеративное поглощение	Жидкие поглотители	Глубокая	Да	Глубокая	Да

Абсорбционные процессы
очистки природного газа от
кислых компонентов

Процессы химической
абсорбции

Процессы физической
абсорбции

Процессы с физико-
химическими и
смешанными
абсорбентами

Процессы химической абсорбции

В процессах химической абсорбции применяют водные растворы поглотителей, которые вступают в обратимую реакцию с кислыми компонентами газа. Такие процессы основаны на химическом взаимодействии сероводорода и диоксида углерода с активной частью абсорбента.

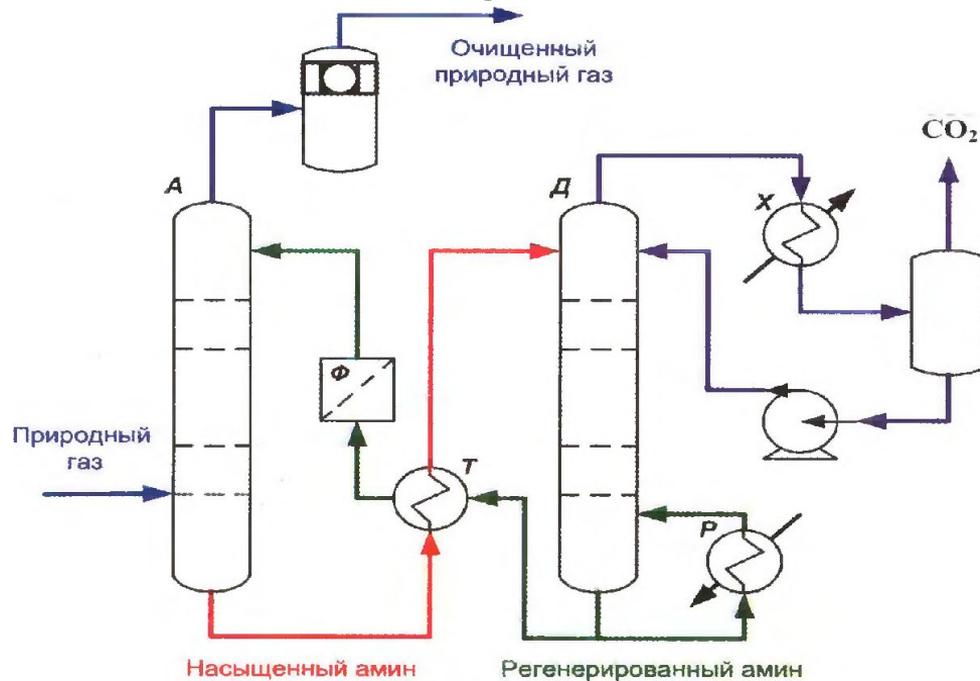
Преимущества:

- глубокая очистка от CO_2 и H_2S
- меньше потерь углеводородов вследствие их низкой растворимости в абсорбентах

Недостатки:

- низкая степень удаления меркаптанов вследствие их низкой растворимости в абсорбентах
- высокая энергоемкость процесса регенерации и охлаждения амина

Принципиальная схема установки аминовой очистки



Процессы физической абсорбции

Процессы физической абсорбции позволяют производить очистку газа одновременно от всех кислых компонентов газа (H_2S , CS_2 , COS , CO_2 и меркаптанов), но по сравнению с процессами химической абсорбции отличаются повышенной склонностью абсорбировать наряду с кислыми компонентами углеводороды, что снижает селективность процесса.

Преимущества:

- низкий расход энергии на регенерацию растворителя
- возможность одновременной очистки от всех кислых компонентов газа (H_2S , CS_2 , COS , CO_2 и меркаптанов)

Недостатки:

- абсорбция некоторой части углеводородов, что снижает теплотворную способность газа
- более сложное устройство установки по сравнению с установкой аминной очистки

Процессы с физико-химическими и смешанными абсорбентами

Смешанные процессы очистки природного газа используют преимущества как физических, так и химических абсорбентов. Смешанные абсорбенты применяются для очистки газа с высоким содержанием кислых примесей, и при этом достигается глубокая степень очистки. Регенерация абсорбента протекает со значительно меньшими энергетическими затратами, чем при использовании только хемосорбентов.

Преимущества:

- возможно почти полное удаление H_2S , CO_2 и COS
- способность подавлять пенообразование

Недостатки:

- абсорбция углеводородов
- относительно высокая стоимость абсорбента

Осушка природного газа

Спецификация по содержанию воды в природном газе менее $1 \cdot 10^{-9}$ г/м³ может быть обеспечена только адсорбцией на молекулярных ситах (цеолитах). Обычно в качестве адсорбента применяется цеолит марки 4A.

Различают физическую и химическую адсорбцию:

- Физическая адсорбция – поглощение поверхностью адсорбента молекул вещества только за счет сил межмолекулярного притяжения, без химического взаимодействия
- Химическая адсорбция происходит тогда, когда молекулы поглощаемого вещества химически взаимодействуют с адсорбентом. При этом возникает более прочная связь молекул адсорбента и поглощенного вещества

Адсорбция на молекулярных ситах является разновидностью физической адсорбции.

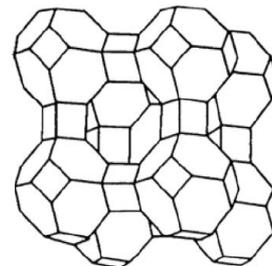
Кристаллическая структура типа A:

– **4A** (натриевая форма): размер пор 4 Å
Адсорбирует воду, аммиак, этанол, H₂S, CO₂, SO₂, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈

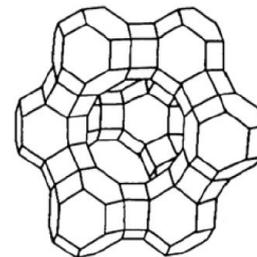
– **5A** (кальциевая форма): размер пор 5 Å
Адсорбирует воду, аммиак, этанол, H₂S, CO₂, SO₂, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈, n-C₄H₉OH, n-C₄H₁₀, C₃H₈...C₂₂H₄₆, R-12

Кристаллическая структура типа X:

– **13X** (: размер пор 9-10 Å
Адсорбирует воду, аммиак, этанол, H₂S, CO₂, SO₂, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈, n-C₄H₉OH, n-C₄H₁₀, C₃H₈...C₂₂H₄₆, R-12, другие молекулы с эффективным диаметром менее 10Å



Кристаллическая структура типа A

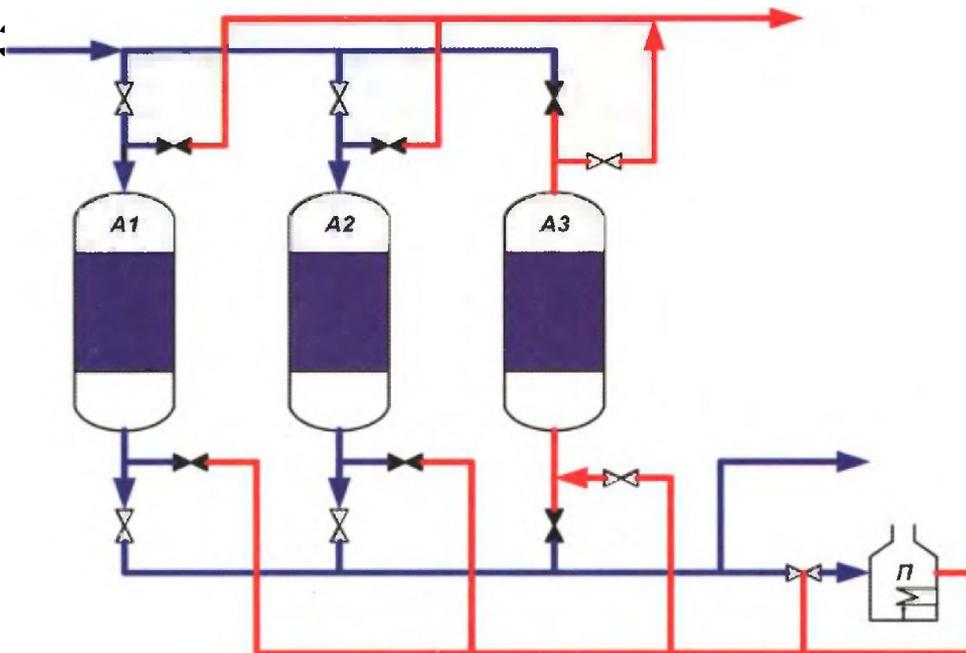


Кристаллическая структура типа X



Установка адсорбционной осушки

га:



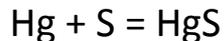
A1, A2, A3 - адсорберы, П - печь
регенерации

Удаление ртути

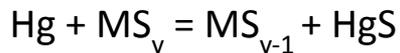
Большинство современных методов очистки от ртути газов и углеводородных жидкостей основано на процессе адсорбции и разделены на две группы: регенеративные и нерегенеративные.

адсорбция в слое адсорбента, не подлежащем регенерации:

- активированный уголь, пропитанный серой



- оксиды и сульфиды переходных металлов



адсорбция в слое адсорбента, подлежащем регенерации:

- молекулярные сита, пропитанные серебром

Спасибо за внимание!

www.ifmo.ru

ITMO *re than a*
UNIVERSITY