

**РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина**  
**кафедра Газохимии**



**ОСУШКА**  
**ПРИРОДНОГ**  
**О ГАЗА**

**Доцент, к.х.н.**

**Григорьева Наталья**  
**Анатольевна**

# Основы влагометрии природных газов

При охлаждении газа или повышении давления парообразная влага конденсируется и может образовать свободную воду, лед или гидраты

## ПРОБЛЕМЫ

- ❑ Коррозия металла
- ❑ Накопление жидкости в линейной части газопровода
- ❑ Закупорка технологического оборудования гидратными пробками
- ❑ Остановка подачи газа потребителям

## Глубина осушки определяется

- Требованиями отраслевых стандартов
- Технологией процессов дальнейшей переработки

**Все газы,**  
подаваемые в  
магистральные  
газопроводы, подвергаются  
**обязательной осушке**  
от влаги

# Основы влагометрии природных газов



**Осушка** - процесс извлечения парообразной влаги из газа. Остаточное содержание влаги *регламентируется точкой росы* осушенного газа.

**Точка росы** - это наивысшая температура, при которой при заданных давлении и составе газа конденсируется первая капля влаги.

**Депрессия точки росы** - это разность точек росы влажного и осушенного газа.

# Основы влагометрии природных газов

## Депрессия точка росы

Задается в зависимости от того, куда предполагается направлять газ

- **Потребителю,**

необходимо, чтобы точка росы газа по влаге была на несколько градусов **ниже минимальной температуры, до которой газ может охладиться в процессе транспортировки**, во избежание конденсации влаги и образования жидкостных пробок в трубопроводе

- **На дальнейшую переработку** например на разделение методом низкотемпературной конденсации или ректификации, то точка росы осушенного газа **задается исходя из предполагаемой рабочей температуры** последующих стадий переработки

# Основы влагометрии природных газов

**Влагоемкость (влагосодержание)** газа - **максимальное количество влаги**, необходимое для насыщения газа при заданных давлении и температуре (г/м<sup>3</sup>).

**Абсолютная влажность** - **фактическое количество влаги**, содержащееся в одном кубическом метре влажного газа (г/м<sup>3</sup>).

**Относительная влажность** - это **отношение** массы водяного пара, фактически находящегося в газовой смеси, к массе насыщенного пара, который мог бы находиться в данном объеме при тех же давлении и температуре

# Основы влагометрии природных газов

## Количество паров воды зависит от

- Условий в пласте (температуры и давления)
- Состава газа
- С момента выхода газа из скважины в виду изменения этих параметров влагосодержание газа меняется

## Влияние состава газа:

- Чем более тяжелые углеводороды в газе, тем меньше его влажность
- Чем больше в газе концентрация  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ , больше влажность газа
- Чем больше концентрация  $\text{N}_2$ , тем меньше влажность газа

# Основы влагометрии природных газов

## **Первый шаг**

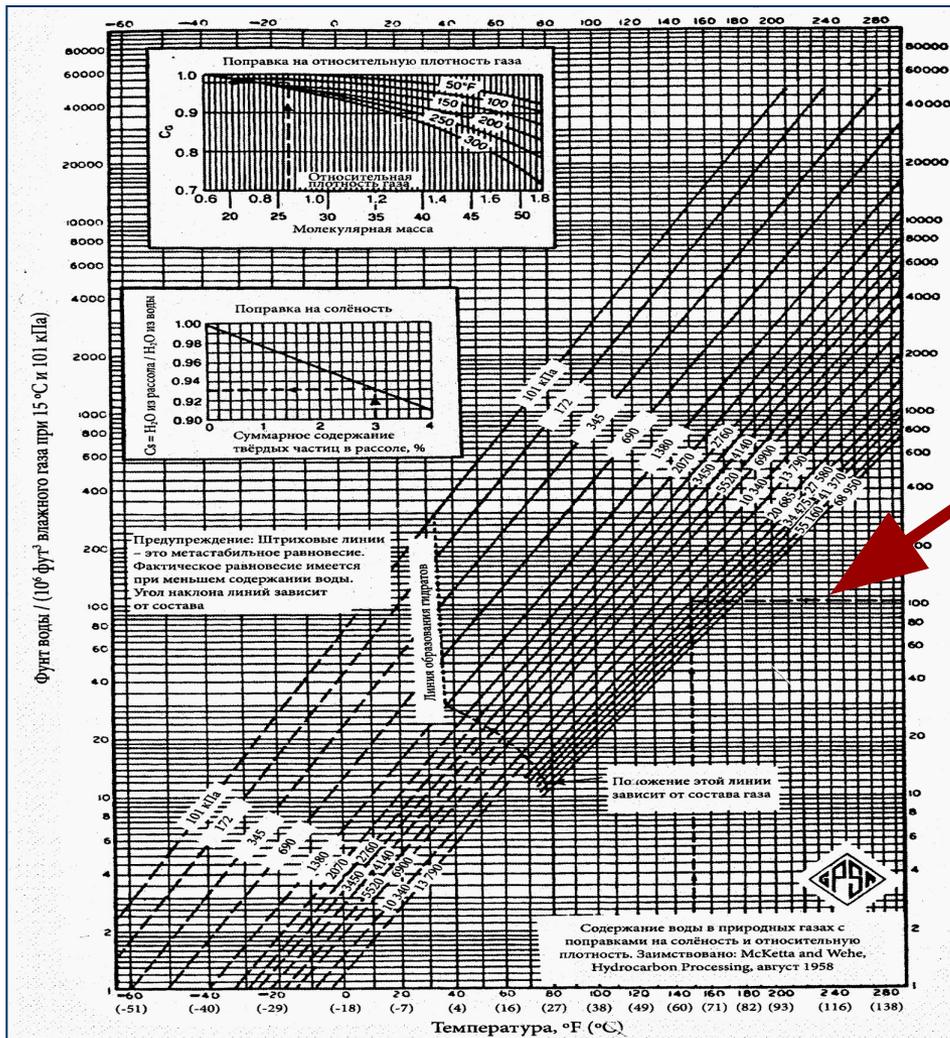
**при оценке и (или) проектировании системы осушки газа  
состоит  
в определении содержания воды в газе — влагосодержания  
газа**



**Для нейтральных (бессернистых)  
природных газов,  
содержащих более 70 % метана и небольшие количества  
тяжёлых фракций,  
можно использовать зависимость влагосодержания от  
давления и температуры по корреляции**

# Основы влагометрии природных газов

## Зависимость влагосодержания от давления и температуры по корреляции McKetta-Webe



**Задача** - определить влагосодержание в природном газе с молекулярной массой 26, находящемся в равновесии с 3%-ным соляным раствором при абсолютном давлении 3000 фунт/дюйм<sup>2</sup> (20,68 МПа) и температуре 150 °F (65,5 °C).

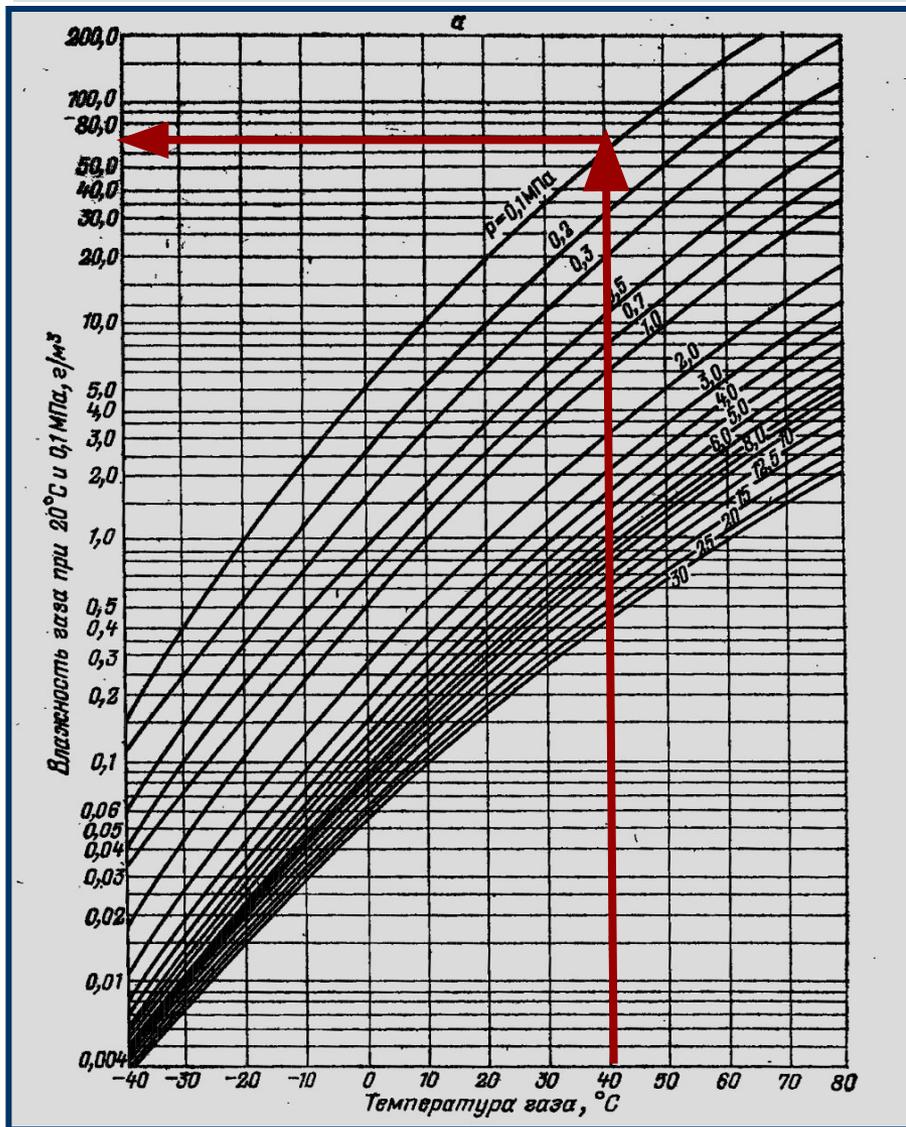
Из рис. при температуре 150 °F и давлении 3000 фунт/дюйм<sup>2</sup> находим, что содержание воды составляет 104 фунта на 10<sup>6</sup> н. фут<sup>3</sup> влажного газа (1667 мг/н. м<sup>3</sup>).

Поправка на солёность равна 0,93, а поправка на молекулярную массу равна 0,98.

Поэтому полное содержание воды равно  $104 \times 0,93 \times 0,98 = 94,8$  фунт/ 10<sup>6</sup> н. фут<sup>3</sup>

# Основы влагометрии природных газов

## РАВНОВЕСНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПРИРОДНОГО ГАЗА



$$W = \frac{A}{10,1 \cdot P} + B$$

Где:

**A** – коэффициент, характеризующий влажность идеального газа,

**B** – коэффициент, учитывающий отклонение влажности природного газа с относительной плотностью 0,60 от показателей идеального газа,

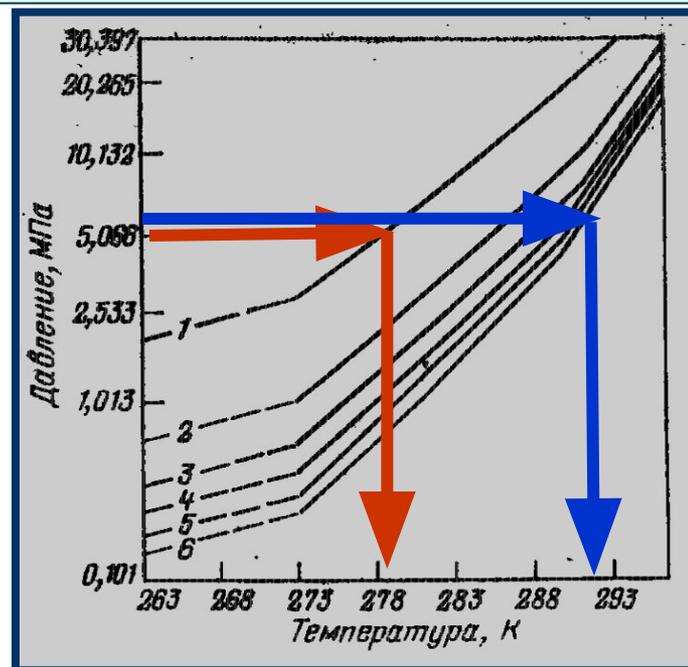
**P** – давление газа, МПа

# Основы влагометрии природных газов

## ГИДРАТЫ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ



Температура гидратообразования для природных газов разной относительной плотности при различном давлении:



1 — метан - плотность 0,55; 2—6 — плотности природный газов 0,6. 0,7, 0,8, 0,9 и 1,0 (воздух) соответственно

# Методы осушки природных газов

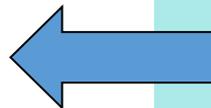
- Прямое охлаждение
- Абсорбция
- Адсорбция
- Комбинирование этих способов



# Осушка охлаждением

При охлаждении газа *при постоянном давлении* избыточная влага конденсируется, а точка его росы соответственно снижается

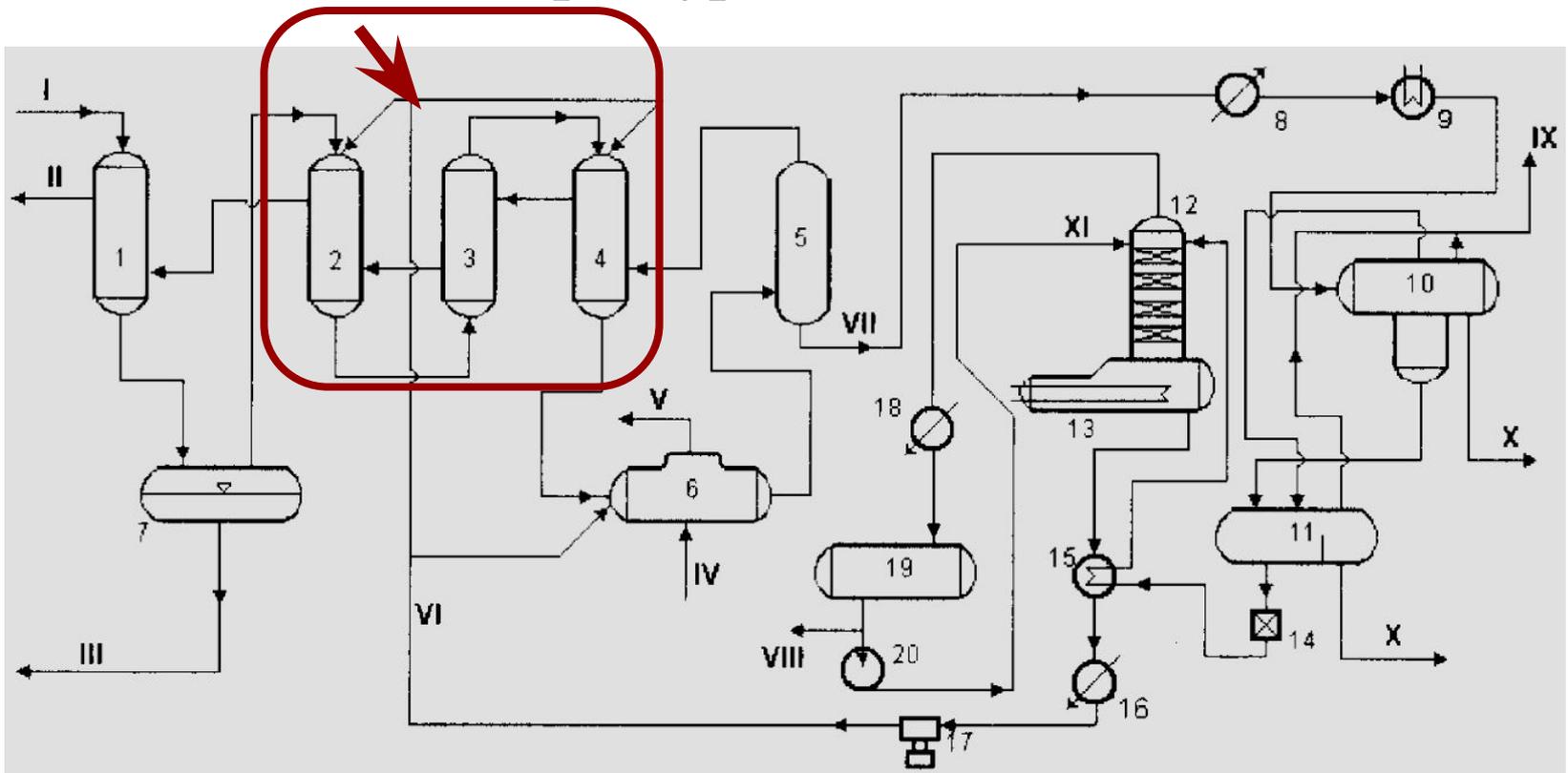
При осушке газов **методом охлаждения** до минус 30-40° С с впрыском гликоля в теплообменники используют растворы **моноэтиленгликоля** концентрацией **75-85 %** для снижения температуры замерзания абсорбента



**Самостоятельного применения для осушки газа этот метод не нашел** и используется обычно в комбинации с другими методами, например, для **предварительного удаления основного количества влаги**

# Осушка охлаждением

## УСТАНОВКА ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ С ВПРЫСКОМ В ПОТОК ГАЗА ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ на Оренбургском ГПЗ



1-4 - теплообменники; 5 - сепаратор отделения гликоля; 6- испаритель; 7 - сепаратор для отделения воды; 8, 15 теплообменники; 9 - подогреватель; 19-емкость; 10, 11 - дегазаторы; 12 - колонна регенерации; 13 - рибоилер; 14 -фильтр; 16, 18 - холодильники; 17, 20 - насосы  
I - очищенный газ; II - осушенный газ; III - водный раствор амина; IV - жидкий пропан; V - газообразный пропан; VI - регенерированный гликоль; VII - насыщенный гликоль; VIII - вода; IX - газовая фаза (топл. сеть); X - углеводородная фаза (на стабилизацию); XI - вода на орошение

# Сравнительная характеристика абсорбционных и адсорбционных процессов осушки газа

Абсорбция	Адсорбция
Стабильное качество осушки газа	
Непрерывность процесса	Отсутствие жидкостных потоков и трубопроводов
Высокая технологическая гибкость	
Низкие потери давления газа	Малая доля ручного труда и высокая степень автоматизации

**Суммарные капитальные и эксплуатационные затраты по обоим типам установок примерно одинаковы и оба процесса обеспечивают требуемое качество осушки газа**

# АБСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА ГАЗА



# АБСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА ГАЗА

**Наиболее  
распространенный  
процесс**

**при подготовке газа к  
транспорту**

Осушка газа абсорбентами основана **на разности парциальных давлений** водяных паров в газе и абсорбенте.

**В России**

**более 70% добываемого  
газа**

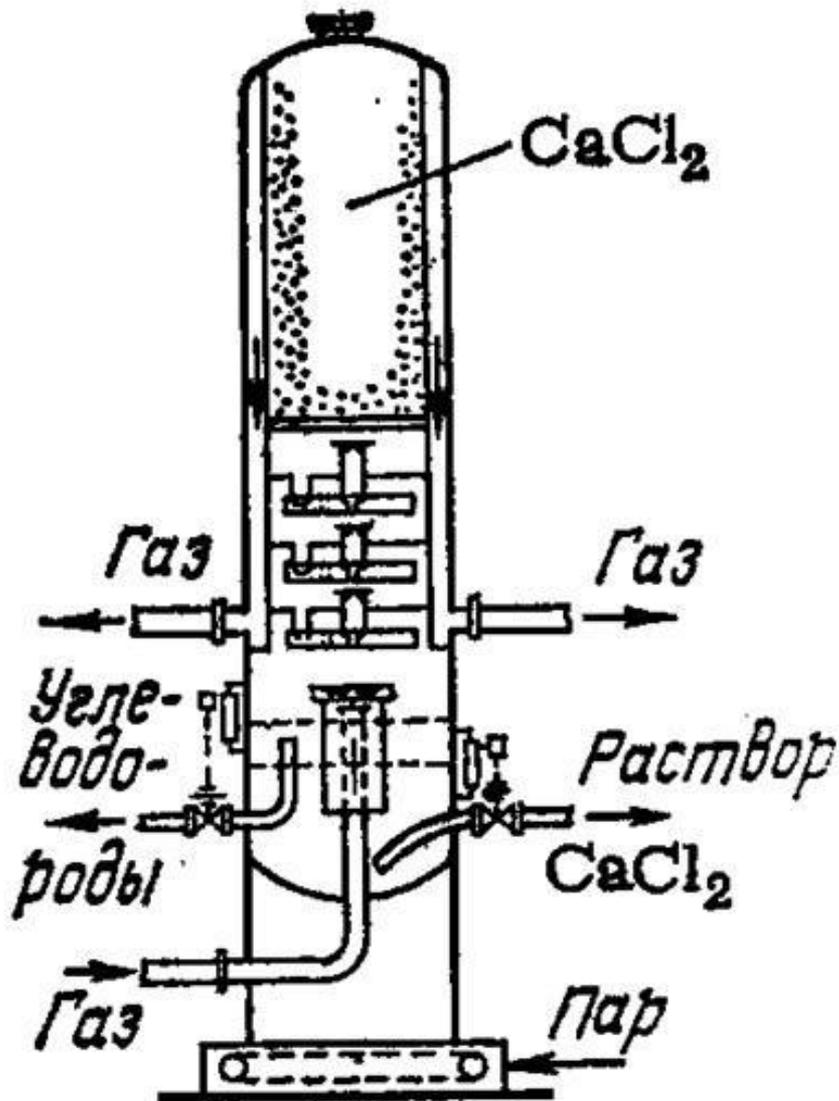
**подготавливается с  
применением этого  
метода**

- **Основан на селективном поглощении (растворении) паров воды жидкими абсорбентами**

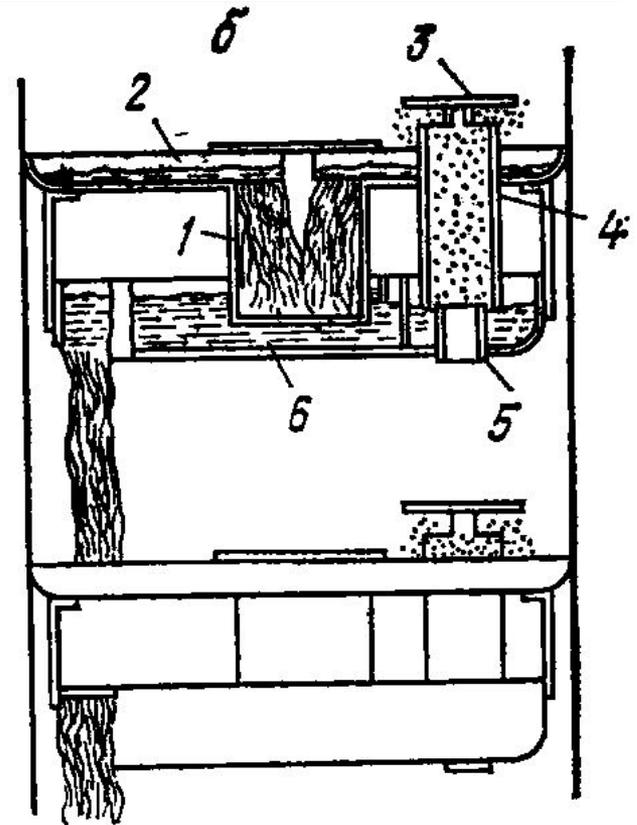
# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АБСОРБЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

Абсорбент	Преимущества	Недостатки
<b>Раствор хлористого кальция</b>	Дешев. Малый удельный расход (1,4—6,4 кг на 1 млн. м <sup>3</sup> осушенного газа)	Образует эмульсию с жидкими углеводородами. Образует химические соединения с H <sub>2</sub> S. Электролитическая коррозия. <b>Малая депрессия точки росы газа (11—19,5°C)</b>
<b>Раствор хлористого лития</b>	Высокая поглотительная способность по воде. Малая коррозионность. Стабильность по отношению к гидролизу. Депрессия точки росы газа достигает 22,2— 37,2°C	<b>Высокая стоимость.</b> Коммерческие сорта содержат примеси, способствующие коррозии
<b>Раствор 10-30% МЭА, 60-85% ДЭГ, 5-10% воды</b>	Одновременно извлекает из газа воду, CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> S, т. е. одновременно осушает и очищает газ. Уменьшает склонность амина к пенообразованию	Потери из-за уноса больше, чем при применении ТЭГ. Применяется только для осушки и очистки кислых газов. Коррозионность при температурах регенерации. Малая депрессия точки росы газа
<b>ДЭГ</b>	Высокая гигроскопичность. Стабильность в присутствии сернистых соединений, O <sub>2</sub> и CO <sub>2</sub> при обычных температурах. Концентрированные растворы не затвердевают	Потери от уноса больше, чем ТЭГ. Трудно получить растворы высокой концентрации (выше 95%). Депрессия точки росы газа меньше, чем при осушке ТЭГ. Высокая стоимость
<b>ТЭГ</b>	Высокая гигроскопичность. Высокая депрессия точки росы осушаемого газа (27,8—47,3°C). Стабильность в присутствии сернистых соединений, O <sub>2</sub> и CO <sub>2</sub> при обычных температурах. Простота регенерации до концентрации 99%. Малые потери от уноса. Концентрированные растворы не затвердевают	Большие капитальные затраты. Склонность к пенообразованию в присутствии легких углеводородных жидкостей. Необходимость иногда добавлять аитивспениватель

# ОСУШКА ХЛОРИДОМ КАЛЬЦИЯ



## Устройство тарелки



1 – сливной стакан, 2 – сборный лоток, 3 – отбойная пластина, 4 – камера смешения, 5 – патрубок, 6 – поддон

# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АБСОРБЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

- Из-за имеющихся недостатков для осушки газа на практике довольно редко применяются растворы хлористого кальция и хлористого лития

- **Комбинированные растворы**, например 10–30 % МЭА (моноэтаноламина), 60–85 % ДЭГ (диэтиленгликоля) и 5–10 % воды, применяются для **одновременной осушки и очистки** газа от кислых компонентов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ) при малых их содержаниях

## Массовое применение

в процессах осушки газа абсорбционными методами  
нашли

### ГЛИКОЛИ:

- ◆ Триэтиленгликоль (ТЭГ) – за рубежом
- ◆ Диэтиленгликоль (ДЭГ) – главным образом в отечественной практике

# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АБСОРБЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

Достоинства	Недостатки
1	2
<b>Этиленгликоль</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– более низкая температура замерзания по сравнению с растворами ДЭГ и ТЭГ;</li> <li>– большая степень предотвращения гидратообразования при одинаковых концентрациях;</li> <li>– меньшая вязкость при рабочих температурах осушки;</li> <li>– низкая растворимость в УВК, что снижает его потери за счет растворимости в конденсате;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокое давление насыщенных паров, при осушке и регенерации происходят большие потери ЭГ, поэтому ЭГ редко применяется в процессах абсорбционной осушки.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– применяется в качестве ингибитора гидратообразования на установках НТС и НТК для осушки газа до точки росы минус 30 °С;</li> <li>– при попадании в водоемы он подвергается полному биологическому разложению;</li> <li>– стойкий к окислению. Срок хранения до 12 месяцев.</li> </ul>	

# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АБСОРБЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

## Диэтиленгликоль

– высокая гигроскопичность, стабильность в присутствии сернистых соединений, кислорода и  $\text{CO}_2$  при обычных температурах;

– менее склонен к пенообразованию, чем ТЭГ;

– более высокий коэффициент избирательности в системе «вода — углеводороды».

– потери от уноса в 3...4 раза больше, чем при применении ТЭГ;

– при обычной регенерации трудно получить растворы с концентрацией ДЭГ выше 95%;

– депрессия точки росы меньше, чем при осушке газа ТЭГ;

– склонен к самоокислению;

– срок хранения 3...6 месяцев;

– не подвергается полному биологическому разложению при попадании в водоемы.

# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АБСОРБЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

## Триэтиленгликоль

– высокая гигроскопичность;	– растворимость газа в ТЭГ на 25...30% выше, чем в ДЭГ;
– давление насыщенных паров меньше, чем у ДЭГ, поэтому потери ТЭГ будут не $> 5 \text{ г}/1000 \text{ м}^3$ ;	– растворы ТЭГ более склонны к пенообразованию в присутствии легких углеводородных жидкостей, чем ДЭГ;
– достигается более низкая температура точки росы, чем при использовании ДЭГ;	– склонен к самоокислению;
– простота регенерации до концентрации 99 % мас.;	– срок хранения 6 месяцев;
– более высокая температура начала разложения ( $204 \text{ }^\circ\text{C}$ ), чем ДЭГ ( $164 \text{ }^\circ\text{C}$ ).	– не подвергается полному биологическому разложению.

# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АБСОРБЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

## Метанол

– более низкая температура замерзания метанола (минус  $97,8^{\circ}\text{C}$ ) и его водных растворов (до минус  $137^{\circ}\text{C}$ );

– существенные потери метанола при ингибировании как с газом, так и в жидкой фазе;

– высокая гигроскопичность.

– высокая взаиморастворимость метанола и жидких (сжиженных) углеводородов при концентрации метанола 80% и выше;

– метанол — сильный яд.

# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АБСОРБЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

- Гликоли являются двухатомными спиртами жирного ряда и с водой смешиваются во всех отношениях.

- Водные растворы не вызывают



**Позволяет изготовить оборудование из дешевых марок стали**

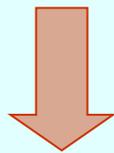
# Выбор гликоля для процесса осушки газа

**ОСНОВНЫМИ СВОЙСТВАМИ, КОТОРЫЕ ВЛИЯЮТ НА ВЫБОР КОНКРЕТНОГО ТИПА ГЛИКОЛЯ В АБСОРБЦИОННОЙ ОСУШКЕ ГАЗА, ЯВЛЯЮТСЯ:**

- Высокая гигроскопичность (способность поглощать воду из газа)**
- Низкое давление насыщенных паров гликоля для минимизации потерь абсорбента**
- Поглотитель должен легко регенерироваться до высоких концентраций с низкими энергозатратами на установке**
- Низкая вязкость в условиях эксплуатации, обеспечивающая хороший контакт газа с абсорбентом**
- Высокая устойчивость гликоля к термическому разложению и окислению**
- Малая коррозионная активность**
- Низкая вспениваемость**

# Выбор гликоля для процесса осушки газа

На установках комплексной подготовки газа (УКПГ) некоторая часть осушителя попадает в водоемы и на почву



Поэтому он должен быть **неядовитым и способным к полному биологическому разрушению.**

Кроме того, осушители должны быть **дешевыми и нетоксичными.**

Максимально допустимые концентрации гликолей в сточных водах

Гликоли	Потребность в кислороде, мг кислорода на 1 мг гликоля				Максимальная концентрация, мг/л		Возможность биологического разрушения
	ХПК	БПК <sub>5</sub>	БПК <sub>п</sub>	$\frac{БПК_p}{ХПК} \cdot 100\%$	МК <sub>0</sub>	МК <sub>сое</sub>	
ЭГ	1,50	0,54	1,26	84,0	1	1000	Поддается распаду
ДЭГ	1,27	0,06	0,18	13,8	200	200	Практически не разрушается
ТЭГ	1,6	0,5	-	31,2	10,0	-	Практически не поддается распаду
ПГ						1000	Практически не поддается распаду

БПК<sub>5</sub> – биохимическая потребность в кислороде за 5 сут;  
 БПК<sub>п</sub> – полная потребность в кислороде (примерно за 20 сут);  
 ХПК – химическая потребность в кислороде;  
 МК<sub>0</sub> – максимальная концентрация, которая не нарушает биохимические процессы за любое время;  
 МК<sub>сое</sub> – максимальная концентрация вещества, не влияющая на работу биологических очистных сооружений.

ЭГ имеет экологическое преимущество над ДЭГом и ТЭГом: при попадании в водоемы он подвергается полному биологическому разложению в отличие от ДЭГа и ТЭГа

# Выбор гликоля для процесса осушки газа

**Все гликоли обладают**

- **Высокой гигроскопичностью**
- **Относительно хорошей термической стабильностью**
- **Небольшой упругостью паров**

**Существенный недостаток триэтиленгликоля —**

**Способность поглощать в небольшом количестве тяжелые и ароматические углеводороды**



**Повышается:**

- **количество вредных выбросов с установки**
- **вероятность вспениваемости гликоля**

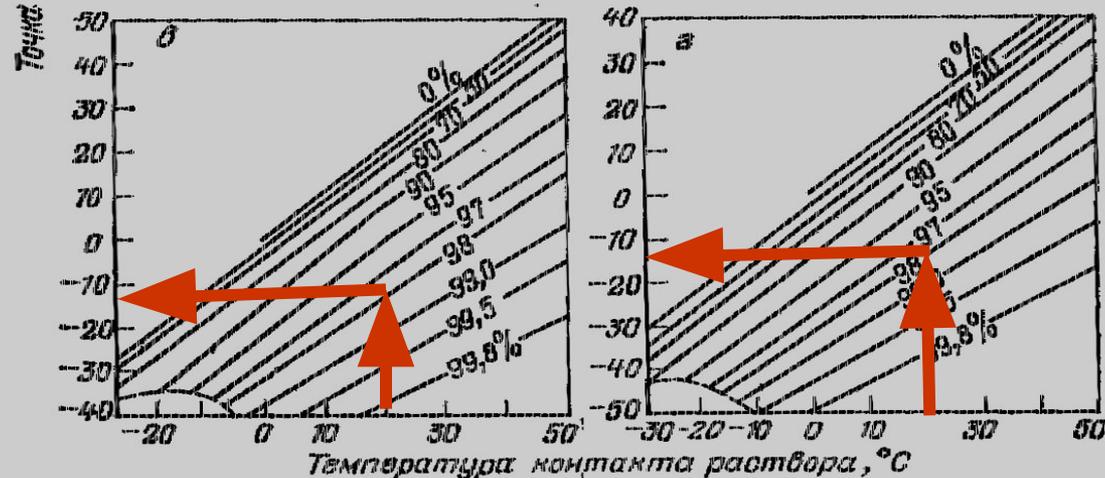
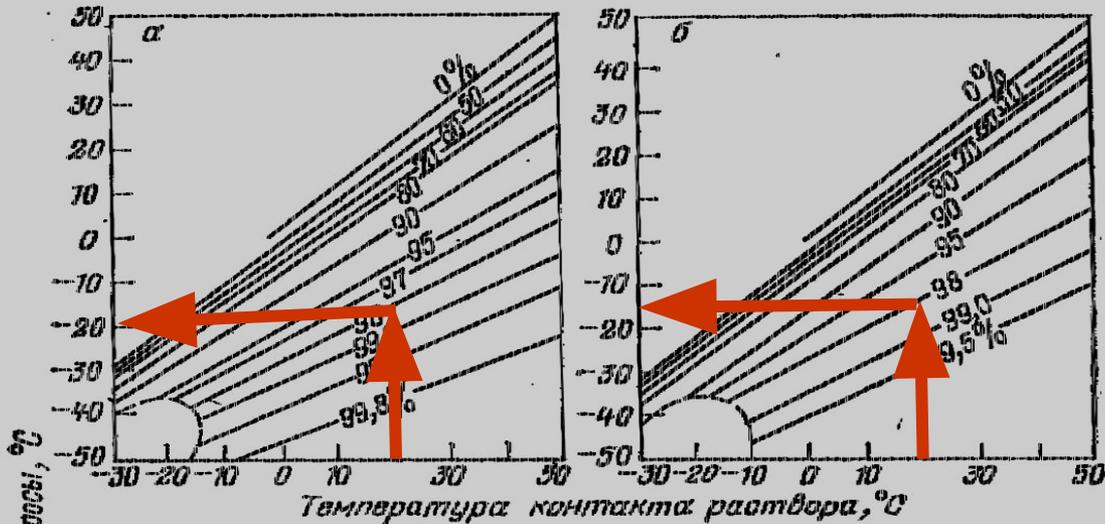
# ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИКОЛЕЙ

Наименование	ДЭГ	ТЭГ
Химическая формула	$C_4H_{10}O_3$	$C_6H_{14}O_4$
Молекулярная масса	106,12	150,18
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	1 118,4	1 125,4
Температура кипения при атмосферном давлении, °С	245	287,4
Абсолютная вязкость при 20 °С, МПа×с	35,7	47,8
Удельная теплоемкость при 20 °С, Дж/(г×К)	2,093	2,198
Удельная теплота испарения при атмосферном давлении, кДж/кг	348,34	414,91
Температура разложения (теоретическая), °С	164,4	206,7
Температура замерзания, °С	-8	-7,2

# Выбор гликоля для процесса осушки газа

## ТОЧКИ РОСЫ ГАЗА РАВНОВЕСНЫЕ С РАСТВОРАМИ ГЛИКОЛЕЙ

Равновесная точка росы газа по влаге при его осушки растворами ДЭГ и ТЭГ



Температура контакта, °С	98,0		99,0		99,5	
	ДЭГ	ТЭГ	ДЭГ	ТЭГ	ДЭГ	ТЭГ
5	-24,0	-31,5	-31,7	-38,0	-36,0	-44,0
10	-20,6	-27,1	-28,5	-35,3	-34,5	-41,7
20	-14,4	-20,0	-21,7	-28,4	-27,8	-35,0
30	-6,2	-13,3	-15,2	-22,5	-21,7	-27,8
35	-2,4	-8,0	-11,5	-18,5	-18,8	-25,1
40	+0,7	-5,0	-9,2	-15,8	-15,8	-23,0

- А) Этиленгликоль
- Б) Диэтиленгликоль
- В) Триэтиленгликоль
- Г) Тетраэтиленгликоль

# Выбор гликоля для процесса осушки газа



**ДЭГ**

**температура  
регенерации  
(157—170 °С)**

**Применение ДЭГ обусловлено наличием промышленной базы на химических производствах**

**Диэтиленгликоль имеет более низкую стоимость и, зачастую, используется по этой причине**

**Также ТЭГ обладает большей вязкостью, поэтому при низкой ожидаемой температуре контакта в абсорберах предпочтение отдается ДЭГ**

**ТЭГ**

**температура регенерации  
(170—205 °С)**



- **Хотя цена на ДЭГ меньше, он значительно уступает триэтиленгликолю (ТЭГ) в эксплуатационных затратах**
- **Потери ТЭГ в абсорбере и десорбере ниже**
- **Создает более высокую депрессию точки росы**
- **Регенерация проходит гораздо легче из-за более высокой температуры разложения, чем у ДЭГ**

# Основные показатели гликолей, производимых в РФ

Показатель	Диэтиленгликоль по ГОСТ 10136-77 (ТУ)		Триэтиленгликоль по ТУ 6-01-5-88	
	Марка А	Марка Б	Марка А	Марка Б
1. Внешний вид	Бесцветная или желтоватая прозрачная жидкость		Бесцветная или желтоватая жидкость без механических примесей	
2. Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	1,116-1,117		1,123-1,124	Не ниже 1,121
3. Массовая доля органических примесей, %, не более, в т.ч. моноэтиленгликоля	0,4	1,8	2	
4. Массовая доля основного вещества, %, не менее	0,15	1,0	0,1	0,8
5. Массовая доля воды, %, не более	99,5	98,0	98	90
6. Массовая доля кислот в пересчете на уксусную кислоту, %, не более	0,05	0,2	0,1	0,3
7. Массовая доля кислот в пересчете на уксусную кислоту, %, не более	0,005	0,01	0,002	-
7. Число омыления, мг гидроксида калия (KOH) на 1 г продукта, не более	0,1	0,3	-	-

Водные растворы **других гликолей**, а в частности **этиленгликоля** и **пропиленгликоля**, нашли применение **в качестве ингибитора гидратообразования**

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

- Температура
- Давление
- Кратность циркуляции абсорбента
- Концентрация регенерированного абсорбента
- Контактные элементы абсорбера
- Наличие в газе углеводородного конденсата
- Наличие в газе соленой пластовой воды
- Наличие в газе сероводорода

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

Эксплуатационные показатели установок абсорбционной осушки газа зависят от первичных и вторичных факторов.

## Первичные факторы

- давление,
- температура,
- состав сырьевого газа на входе в УКПГ
- концентрация осушителя в регенерированном растворе.

Эти факторы определяют влагосодержание газа до и после абсорбера.

## Вторичные факторы

- степень насыщения абсорбента,
- эффективность работы оборудования,
- наличие в газе загрязняющих примесей (пыли, механических примесей, минеральных солей и т.д.).

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

Основными параметрами, влияющими на температуру точки росы ТТР газа по воде в процессе абсорбционной осушки газа, являются:

- температура контакта «газ — гликоль»;
- тип гликоля (ДЭГ или ТЭГ);
- концентрация гликоля;
- удельный расход гликоля.

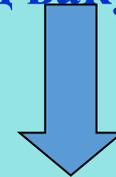
# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Абсорбция

- ❑ Температура от 10 до 40–70 °С,
- ❑ Давление до 10–14 МПа
- ❑ Кратность циркуляции абсорбента 10–100 л на 1 000 м<sup>3</sup> газа (от 10 до 35 л на 1 кг извлекаемой влаги)
- ❑ Концентрация регенерированного абсорбента 98,0–99,9 %.

## Десорбция

- ❑ Повышенная температура (до 160– 200 °С)
- ❑ Практически под атмосферным давлением и даже под вакуумом



Ограниченны  
температурой  
разложения гликолей

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Давление

Давление процесса является основным фактором, определяющим

- ❑ Металлоемкость абсорбера
- ❑ Удельный расход осушителя, подаваемого в абсорбер
- ❑ Расход энергии на работу циркуляционного насоса и т. д.

- Повышение давления **снижает влагосодержание газа**
- следовательно, **уменьшает количество раствора**, которое необходимо подавать на осушку для получения газа с заданной точкой росы

Как правило, установки абсорбционной осушки газа проектируются на рабочее давление

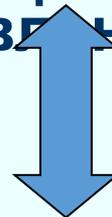
**6,0-7,5 МПа.**

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Давление

- Влияние давления учитывается при проектировании газоперерабатывающих заводов
- Наряду с обеспечением пропускной способности учитываются также влияние давления на точку росы газа по воде, показатели блока регенерации, а также экологические показатели установки.

Поскольку величина уноса гликолей с обработанным газом обратно пропорциональна давлению



с повышением давления уменьшаются равновесные потери гликолей с обработанным газом

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Давление

Влияние давления на показатели установки осушки газа

Показатели <sup>1</sup>	Давление, кгс/см <sup>2</sup>				
	75	65	55	45	35
$G_1$	6991	7740	8760	10233	12547
$G_2$	7215	7984	9031	10545	12923
$D_p$	0,68	0,74	0,85	1,04	1,31
$V_p$	36,32	35,30	32,40	31,02	28,26
$Q$	379	419	474	554	679
$Q_2$	169	187	211	246	302
$Q_{ref}$	590	654	740	864	1060
$V_*$	3,22	3,60	4,11	4,83	5,96
$N$	17,2	16,5	15,8	15,3	15,5

<sup>1</sup>  $G_1$  – количество раствора ДЭГа, подаваемого в абсорбер, кг/ч;  $G_2$  – количество насыщенного раствора ДЭГа, кг/ч;  $D_p$  – равновесные потери гликоля в блоке осушки газа, кг/ч;  $V_p$  – количество газа дегазации, м<sup>3</sup>/ч;  $Q$  – тепловая нагрузка блока регенерации, тыс. ккал/ч;  $Q_2$  – тепловая нагрузка холодильника, тыс. ккал/ч;  $Q_{ref}$  – тепловая нагрузка рекуперативного теплообменника, тыс. ккал/ч;  $V_*$  – количество газа, отводимого из рефлюксной жидкости, м<sup>3</sup>/ч;  $N$  – мощность насоса для подачи регенерированного раствора ДЭГа в абсорбер, кВт.

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Давление

- При сохранении объема добычи газа **со снижением давления процесса** повышается линейная скорость газа в аппаратах, что оказывает отрицательное влияние

- Увеличивается **капельный унос жидкости** из входных сепараторов

- Капельная жидкость содержит минеральные соли и механические примеси. Эти вещества поглощаются раствором гликоля и, накапливаясь в нем, снижают **надежность эксплуатации установок**

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Давление

Давление мало влияет на поглотительную способность гликоля, до тех пор **пока оно остаётся ниже 20,68 МПа.**

При постоянной температуре содержание воды во входящем газе с ростом давления уменьшается, а поэтому, если газ осушается при высоком давлении, количество воды, которое должно быть удалено из газа, уменьшается

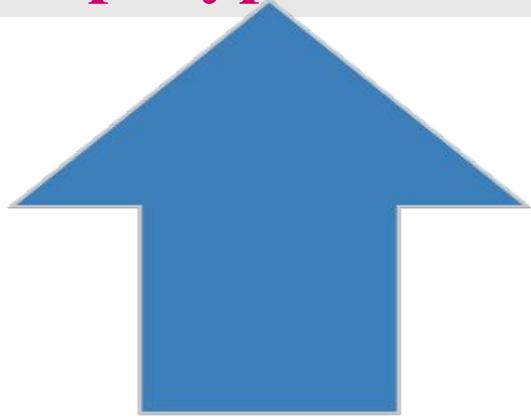
При высоком давлении можно применять абсорбционную колонну меньшего диаметра, так как фактическая скорость газа меньше и, следовательно, меньше требуемый диаметр абсорбера



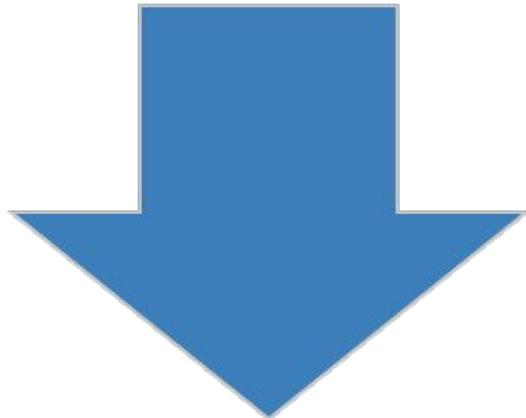
При меньшем давлении для абсорбера заданного диаметра требуется меньшая толщина стенки, а поэтому **существует экономический компромисс между рабочим давлением и стоимостью колонны абсорбера**

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Температура



С повышением температуры контакта увеличивается парциальное давление воды над абсорбентом, при этом повышается точка росы осушаемого газа,



и наоборот, с понижением температуры контакта точка росы осушаемого газа понижается.

Для РФ обычно абсорбционная осушка применяется при температуре осушаемого газа не выше

**45-50 °C**

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Температура

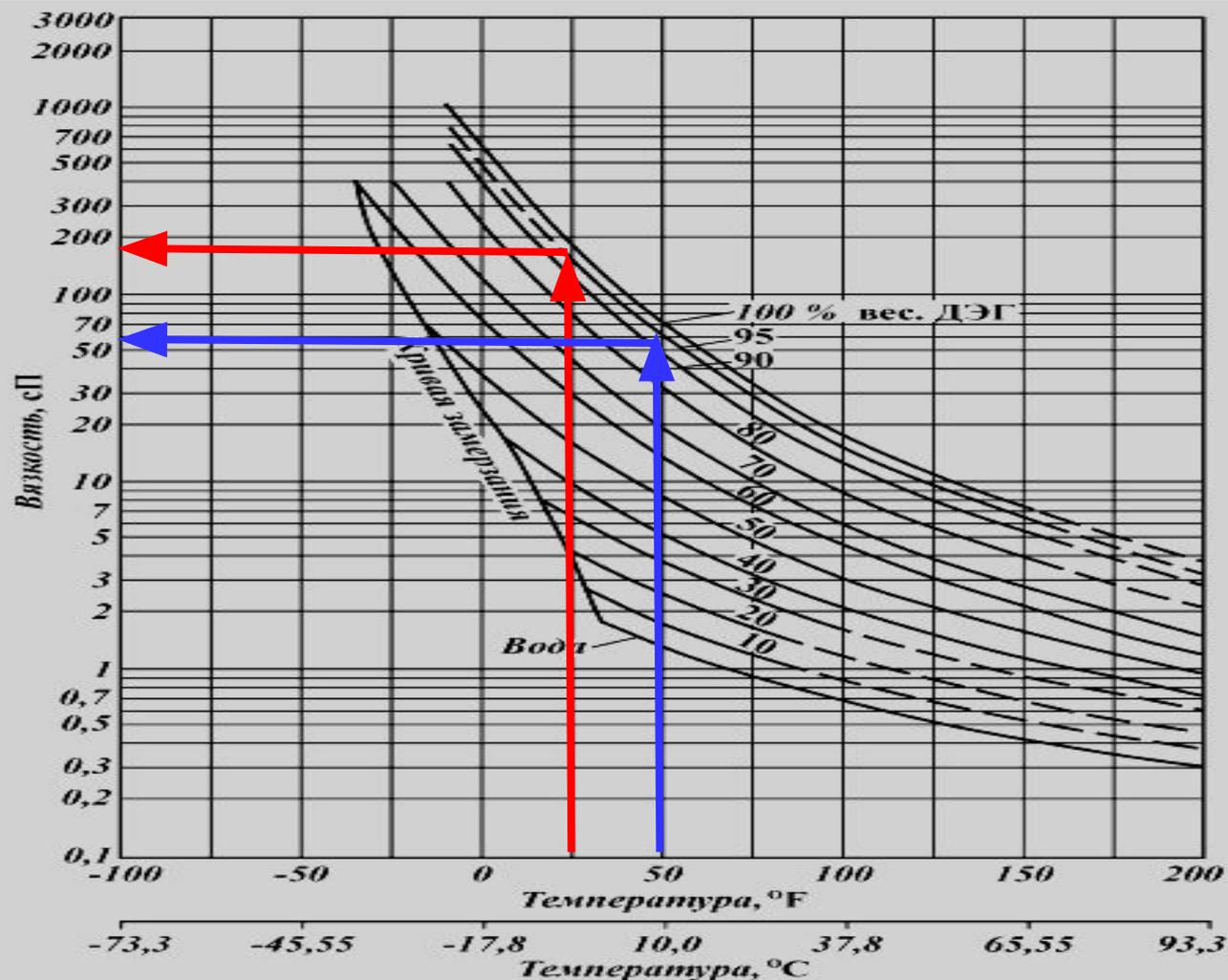
Чем ниже температура процесса,  
тем эффективнее он проходит

Более низкие, чем +10 °С,  
температуры  
приводят  
к значительному увеличению  
вязкости абсорбента  
и к росту затрат на его охлаждение

Верхний предел температуры  
объясняется снижением  
эффективности процесса  
и *уменьшением депрессии  
точки росы,*  
а также *высокой  
испаряемостью абсорбента*

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Температура

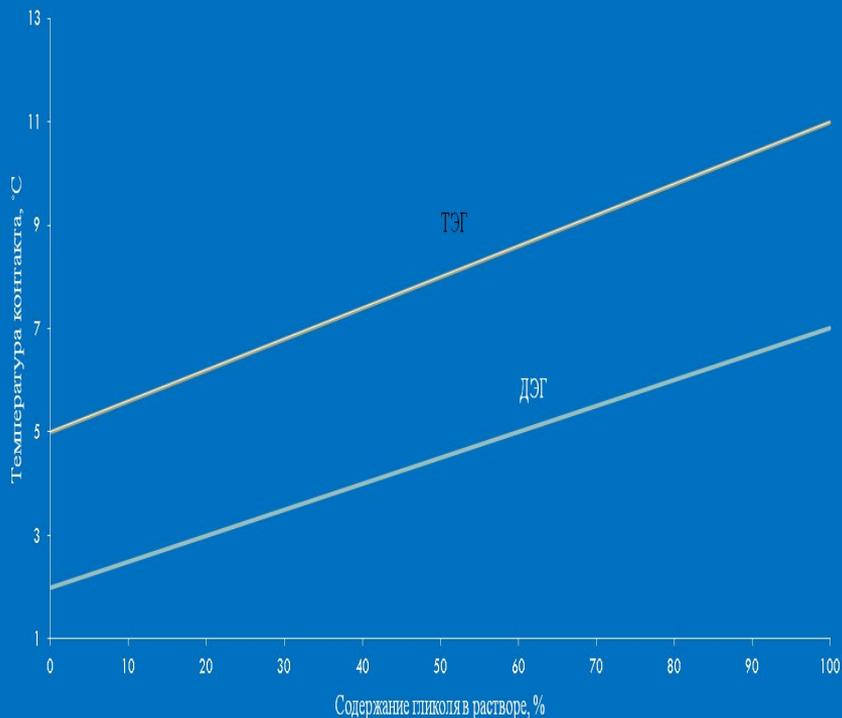


ЗАВИСИМОСТЬ  
ВЯЗКОСТИ  
ВОДНЫХ  
РАСТВОРОВ  
ДЭГа от  
температуры

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Температура

Зависимость между температурой контакта и оптимальной концентрацией раствора ДЭГ и ТЭГ



- Наибольшая депрессия по точке росы получается при осушке газа раствором вязкостью не более 80-90 сПз.
- При увеличении вязкости раствора выше этих значений снижается интенсивность процесса массообмена между газом и осушителем, затрудняется достижение между ними равновесия
- Чем выше температура газа, тем больше расход осушителя
- Температура абсорбента на входе в колонну не должна превышать температуру газа больше чем на 6~8° С, так как это приводит к увеличению его потерь

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Температура

Увеличение температуры газа может потребовать увеличения диаметра колонны абсорбера.

Рост температуры ведет к росту фактической скорости газа, что в свою очередь и требует увеличения диаметра сосуда

Охлаждение газа перед подачей его в гликолевый абсорбер.

## Выход

Чем больше охлаждён газ (но при этом он должен оставаться выше температуры образования гидратов), тем меньших размеров должна быть гликолевая установка

Между системой теплообмена, используемой для охлаждения газа, и величиной гликолевой установки существует экономический компромисс. Более мощный охладитель обеспечивает менее мощную гликолевую установку и наоборот

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Температура

Влияние температуры на показатели установки осушки газа

Показатели <sup>1</sup>	Температура, °С				
	30	26	22	18	14
$G_1$	8753	6991	6678	4408	3486
$G_2$	9032	7215	5758	4552	3600
$D_2$	0,95	0,67	0,39	0,23	0,18
$V_2$	43,7	36,3	30,1	25,1	21,1
$Q$	474	379	303	240	190
$Q_x$	211	169	135	107	85
$Q_{27}$	739	590	471	372	294
$V^e$	3,89	3,22	2,67	2,12	1,64
$N$	21,6	17,2	13,8	10,9	8,6
$Gc$	249	200	160	128	102

<sup>1</sup>  $G_1$  – количество рефлюксной жидкости, кг ч;  $V$  – условная производительность установки.

- чем ниже температура процесса, тем ниже расчетная концентрация гликоля, используемого для получения заданной точки росы газа
- уменьшается количество влаги, извлекаемой из газа
- снижается удельный расход раствора осушителя
- уменьшается общий объем растворенного газа в растворе гликоля. Последнее улучшает экологическую характеристику объекта, так как уменьшаются объемы газов, отводимых из выветривателя, и рефлюксной емкости
- уменьшаются потери гликоля с осушенным газом
- уменьшаются затраты тепла на работу блока регенерации, так как уменьшается количество воды, извлекаемой из газа

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Концентрация абсорбента

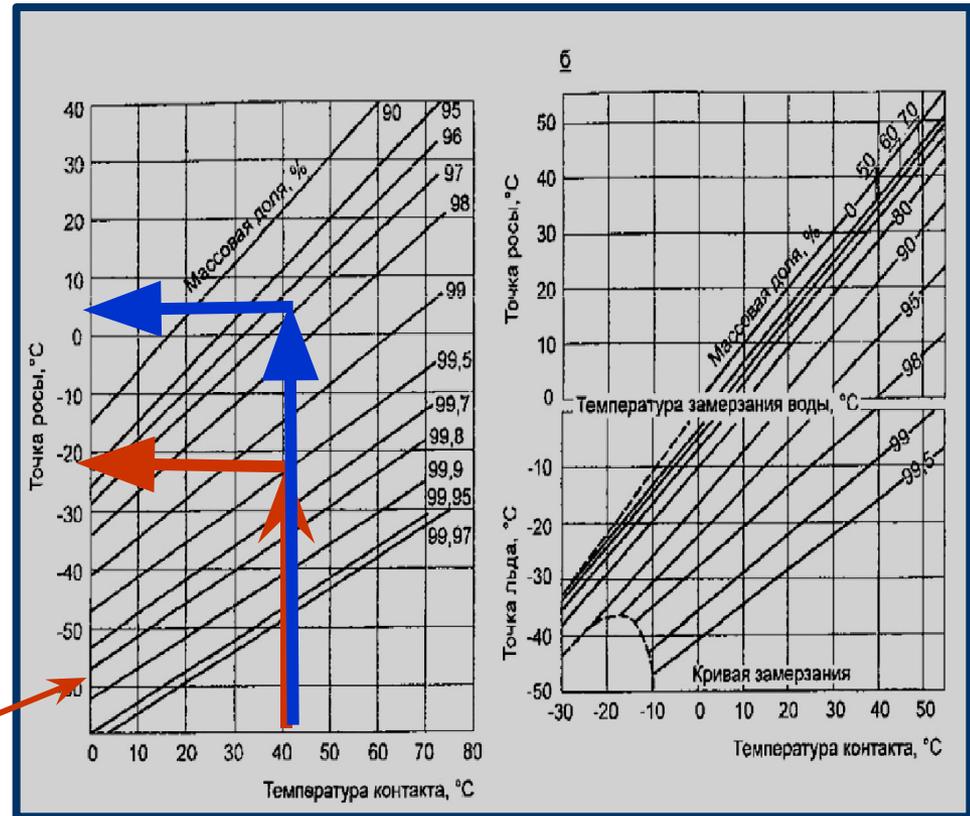
Оказывает

Наибольшее влияние

на величину депрессии точки росы осушаемого газа

- Значения равновесной точки росы газа, которые можно в принципе обеспечить водными растворами гликолей, определяются по специальным графикам, построенным для каждого абсорбента в отдельности

- Равновесная точка росы является минимально возможной на выходе газа из абсорбера



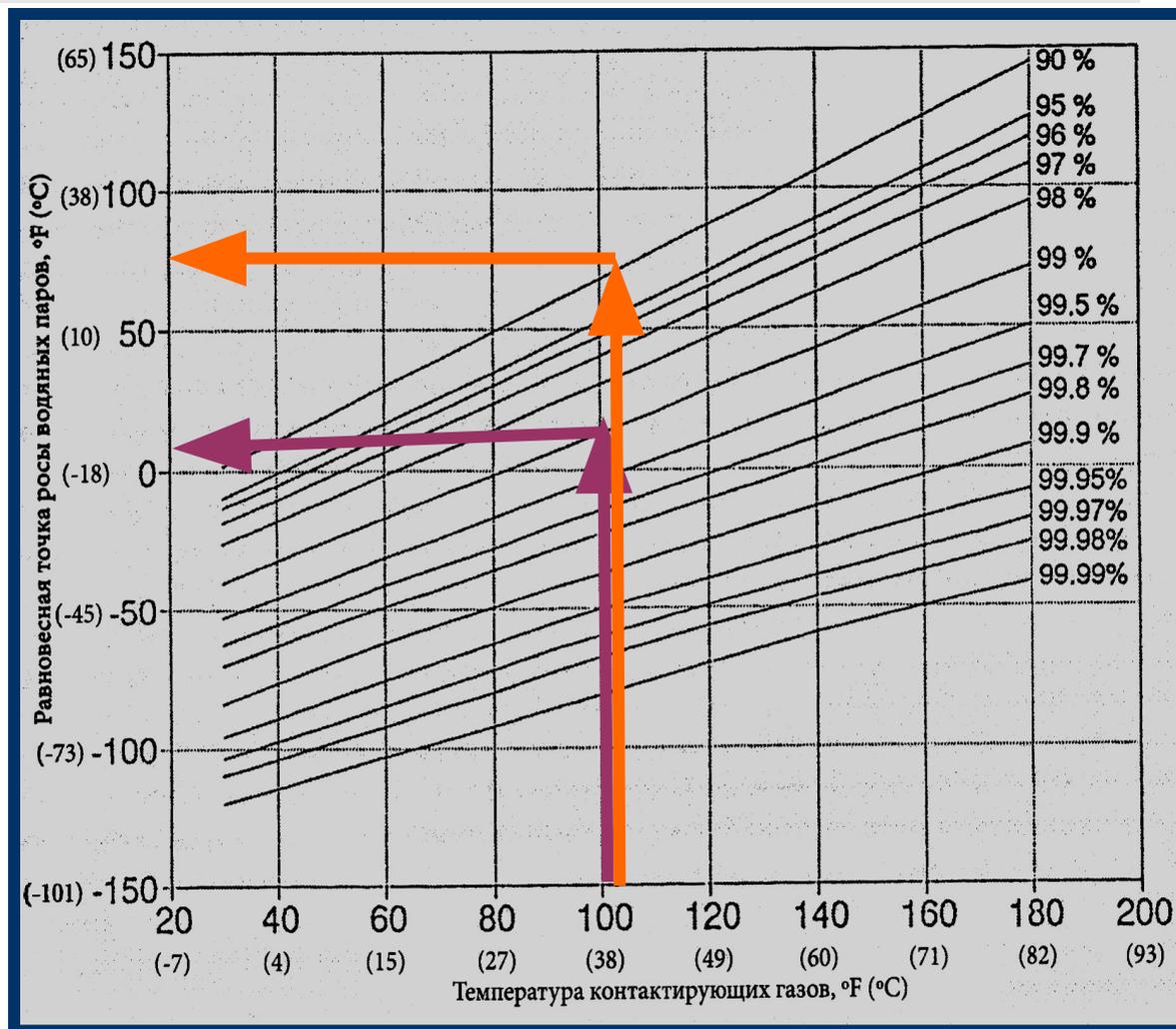
Равновесная точка росы газа по воде на растворах ТЭГ (а) и ДЭГ (б) при различных температурах контакта

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Концентрация абсорбента

Равновесные температуры точек росы водяных паров при различных температурах газов, находящихся в контакте с гликолем различных концентраций

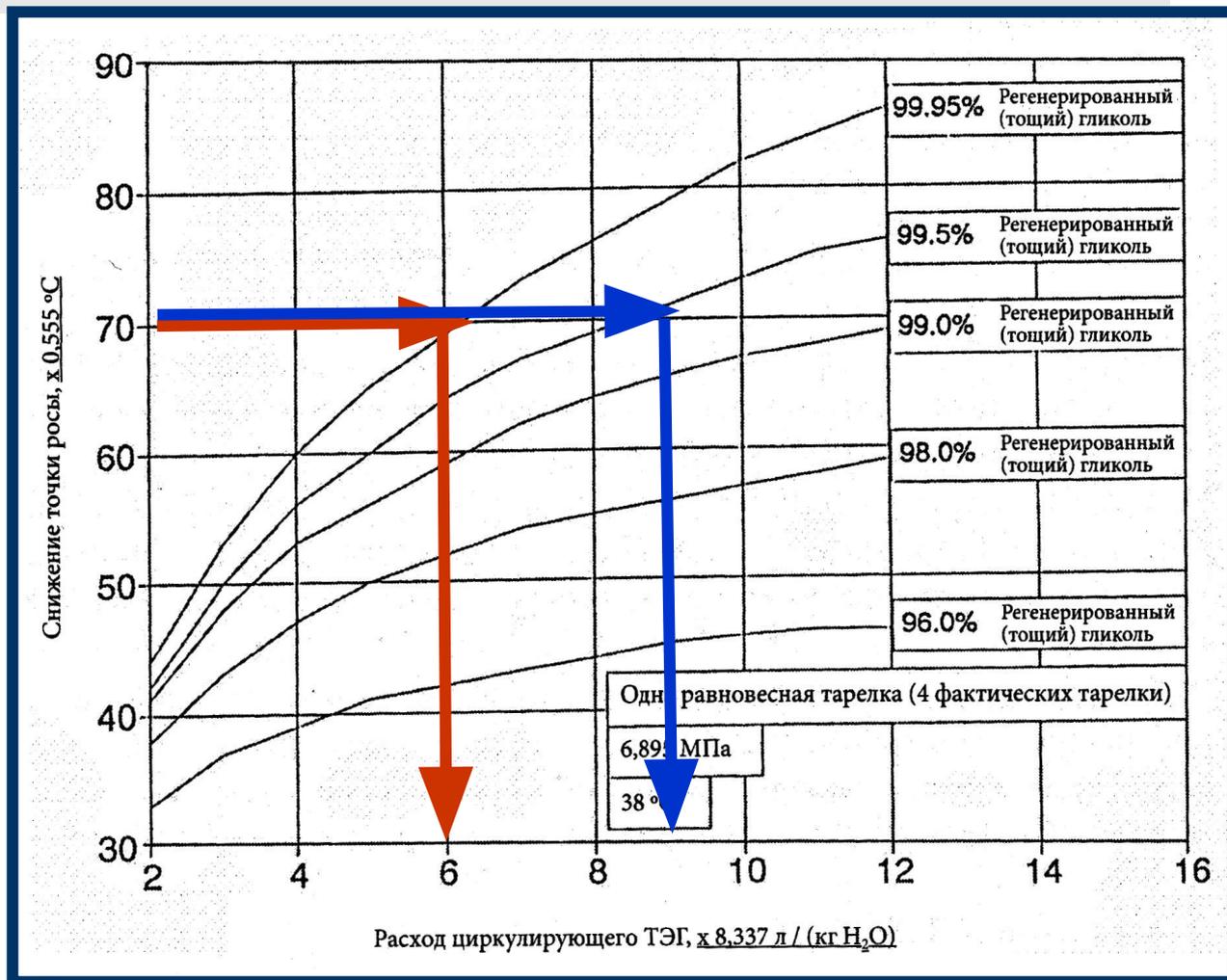
Фактические точки росы для газа, покидающего абсорбер, будут на 10-20 °F (5-10 °C) выше равновесных значений



# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Концентрация абсорбента

Увеличение концентрации регенерированного гликоля может оказывать гораздо большее влияние на снижение точки росы, чем увеличение расхода циркулирующего гликоля



# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Концентрация абсорбента

Газ контактирует с гликолем расчетной концентрации только на одной верхней тарелке, а на остальных – с более разбавленным раствором гликоля (разбавление происходит в результате насыщения абсорбента водой).

На промышленных установках осушить газ до равновесной точки росы **невозможно**

На технологических установках фактическая точка росы осушенного газа **на 5–11 °С выше равновесной**, при этом достигаемая точка росы обычно бывает не ниже  $-25$ ,  $-30$  °С, а депрессия –  $30$ ,  $40$  °С при концентрации регенерированного абсорбента 98,0–98,7 %).

При использовании низких температур в дальнейшей переработке газа такая осушка газа **оказывается недостаточной**

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Концентрация абсорбента

Для более глубокой осушки необходимы гликоли с высокой концентрацией в растворе

(до 99,8–99,9 %).

В этом случае депрессия точки росы может достигать

85–90 °C

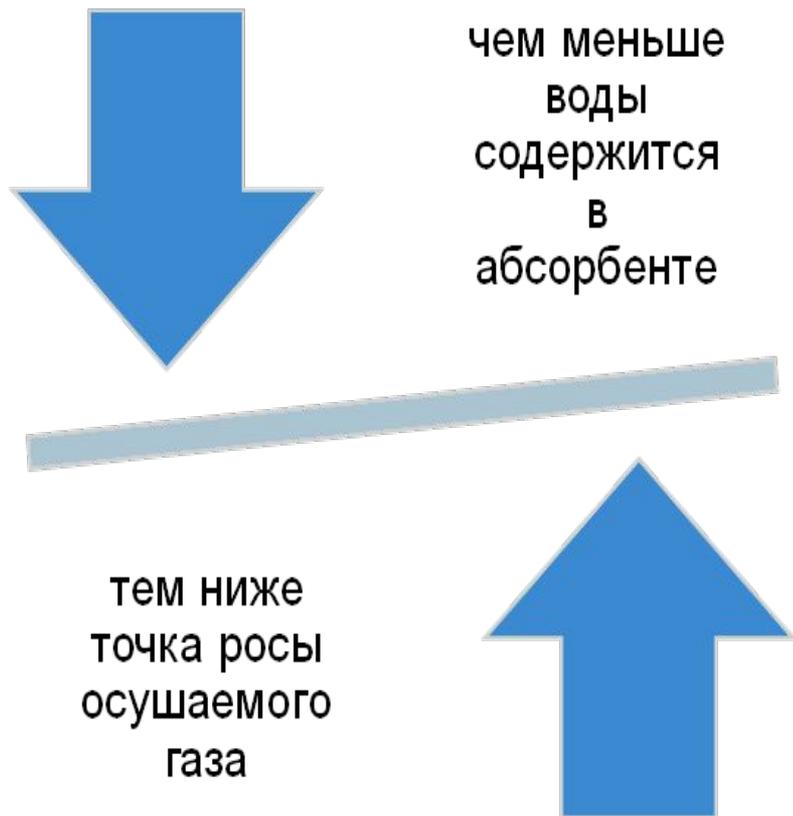


Для повышения концентрации регенерированного абсорбента, а следовательно, и эффективности осушки применяются:

- Регенерация под вакуумом
- Ввод отпарного газа в десорбер
- Азеотропная перегонка.

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Концентрация абсорбента



Как правило для осушки газов, имеющих температуру до 40 °С, применяют растворы содержащие

**98,5 % масс. ДЭГ или до 99% масс. ТЭГ**

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Кратность циркуляции абсорбента

- Кратность циркуляции абсорбента **определяется** **требуемой депрессией точки росы**
- **Чем выше** депрессия, **тем больше** должна быть кратность циркуляции
- Влияние этого параметра на глубину осушки газа **уменьшается** **свыше некоторого значения** (например, для ТЭГ это влияние уменьшается при кратности свыше 55–65 л на 1 кг извлекаемой влаги), но при этом **возрастают эксплуатационные и капитальные затраты**
- Большинство установок осушки ТЭГ эксплуатируются при кратности циркуляции абсорбента **10–35 л на 1 кг** извлекаемой из газа влаги

Расход подаваемого в абсорбер абсорбента определяется по формуле

$$G_a = \frac{V_r \Delta W g}{24},$$

Где:

**$G_a$**  – расход абсорбента, кг/ч;

**$V_r$**  – количество осушаемого газа, м<sup>3</sup>/сут;

**$\Delta W$**  – количество влаги, извлекаемой из газа, кг/м<sup>3</sup>;

**$g$**  – удельный расход абсорбента, кг/кг влаги

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Кратность циркуляции абсорбента

Точка росы газа зависит от расхода циркулирующего гликоля в случае  
когда количество тарелок абсорбера и концентрация регенерированного гликоля постоянны

Чем больше гликоля вступает в контакт с газом,  
тем больше водяных паров удаляется из газа

**Минимальный** расход –  
**16** кг на каждый килограмм  
подлежащей удалению воды,

**Максимальный** –  
**66** кг / (кг H<sub>2</sub>O)

Большинство **стандартных**  
установок осушки проектируются  
на удельный расход гликоля,  
равный

**30-40** кг / (кг H<sub>2</sub>O).

Для эффективной осушки желательно, чтобы разница концентраций регенерированного и насыщенного гликоля составляла 2...4 % мас.

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Кратность циркуляции абсорбента

Чрезмерно большой циркуляционный расход может привести к перегрузке десорбера и воспрепятствовать хорошей регенерации гликоля

Тепло, требуемое для десорбера, прямо пропорционально величине циркуляционного расхода



Увеличение циркуляционного расхода

Уменьшение температуры в ребойлере и тем самым снижается концентрация регенерированного гликоля

Фактически уменьшится количество воды, удаляемой гликолем из газа

# **Условия, влияющие на срок службы гликолей**

- 1. В результате окисления (старения) при наличии в системе кислорода;**
- 2. Из-за термического и термохимического разложения;**
- 3. При накоплении в них минеральных солей, механических примесей и продуктов коррозии;**
- 4. При превышении температуры регенерации выше рекомендуемых величин.**

# Условия, влияющие на срок службы гликолей

Во входных сепараторах не достигается полного отделения капельной жидкости от газа:

часть жидкости поступает в абсорбер, где поглощается раствором гликоля, используемым в качестве абсорбента для извлечения паров воды и газа.

**Капельная жидкость — пластовая вода;**

как правило, она содержит в том или ином количестве растворенные соли, в составе которых преобладает **хлористый натрий**.

Наряду с этим в состав солей входят **хлористый кальций, карбонаты кальция и натрия, хлористый магний** и т. д.

Таким образом, при циркуляции в системе гликоля происходит накопление различных примесей.

В том числе и **тяжелых углеводородов, продуктов коррозии оборудования установок осушки и осмоления самих гликолей** и т. д.

# Условия, влияющие на срок службы гликолей

Примеси, накапливаемые в рабочих растворах гликолей, могут попадать в них

либо **извне,**

либо за счет термического или термохимического разложения гликоля

Накопление механических примесей в рабочем растворе гликоля снижает эффективность применяемого технологического процесса.

- Механические примеси выпадают из раствора на поверхность труб теплообменной аппаратуры,
- Отлагаются на тарелках и в трубных пучках печей, что значительно снижает коэффициент теплопередачи.
- Ухудшается процесс регенерации гликоля в отпарной колонне, увеличивается его механический унос.
- Образующиеся при разложении гликоля кислые продукты вызывают коррозию аппаратуры и оборудования.
- Одновременно увеличивается перепад давления на установке.

# Условия, влияющие на срок службы гликолей

## Старение гликоля

Гликоли при обычных условиях являются термически стабильными жидкостями.



В процессе эксплуатации установок осушки эти жидкости подвергаются многократному нагреву и охлаждению, контактируют с большими объемами газа



В результате изменяется их состав, а следовательно, и эксплуатационные свойства

# Условия, влияющие на срок службы гликолей

## Старение гликоля

В процессе старения возникают **поверхностно-активные вещества и смолы** гликоля, которые в сочетании с другими составными частями могут **образовывать довольно стабильные эмульсии и дисперсии.**

Эти продукты старения являются главными причинами образования эмульсий с углеводородами, которые **приводят к пенообразованию и к появлению вязкого черного шлама.**

При осаждения части углеводородов на поверхности жаровых труб **образуется пленка.**

Этот процесс **вызывает отложение кокса** на их стенках, в результате чего их поверхность становится неровной, а в низких местах могут скапливаться гликоль и углеводороды, которые под действием высоких температур **разлагаются.**

**Образующиеся кислоты,** усиливая **коррозию,** способствуют разрушению материала оборудования.

**Шлам,** образующийся из продуктов разложения гликоля и тяжелых углеводородов, **может забивать тарелки и теплообменники.**

Кроме того, наличие шлама в растворе приводит к **эрозии** деталей насоса, арматуры и регуляторов, а также требует частых замен фильтрующих элементов.

# Условия, влияющие на срок службы гликолей

## Старение гликоля

### Влияние кислорода

Гликоли способны к самопроизвольному окислению кислородом воздуха при невысоких температурах

- ❑ Самый стойкий к окислению — этиленгликоль.
- ❑ ДЭГ и ТЭГ из-за наличия эфирных групп более склонны к окислению.
- ❑ Начальными продуктами самоокисления являются гидроперекисные соединения,
- ❑ Конечными и основными продуктами окисления — муравьиная кислота (преимущественно в виде сложного эфира) и формальдегид,
- ❑ Кроме того, образуется вода, этиленгликоль, гликолевый альдегид, глиоксаль и диоксалат.

Скорость самоокисления гликоля зависит от таких факторов, как:

- температура,
- парциальное давление кислорода,
- pH среды,
- начальное содержание перекисных соединений.
- С повышением температуры резко возрастает эквивалентная кислотность продукта, то есть сумма свободной и связанной в виде сложного эфира кислоты.
- Скорость окисления гликоля возрастает с повышением парциального давления кислорода и интенсивности перемешивания.

# Условия, влияющие на срок службы гликолей

## Старение гликоля

### Влияние кислорода

Для снижения окисления

1. Использовать **химические реагенты**, например, при добавлении в раствор гидрохинона 0,1 % от массы гликоля его окисление практически прекращается.

2. После замены раствора или вскрытия системы гликоля для проведения работ по техническому обслуживанию следует **удалить газ из контура циркуляции гликоля и хранить гликоль под избыточным давлением азота.**

# Оценка качества гликоля, циркулирующего на установках осушки газа

Качество гликоля контролируется преимущественно через величину рН.

Значение рН растворов гликолей должно находиться в пределах **7,0...8,5**.

При рН > 8,5 повышается стабильность эмульсии гликоля с углеводородами и увеличивается вероятность вспенивания раствора.

Снижения рН раствора можно добиться, добавляя в него борную, угольную или фосфорную кислоту.

Снижение на одну единицу значения рН указывает на окисление гликолей и увеличение скорости коррозии оборудования из стали в среднем в два раза.

Интенсивность коррозии можно контролировать по содержанию железа в растворе. При содержании железа в растворе более 0,5 % происходит процесс активной коррозии.

# Оценка качества гликоля, циркулирующего на установках осушки газа

Качество гликоля контролируется по содержанию механических примесей, смол и солей.

На зарубежных установках осушки сочетают применение экспресс-методов с лабораторными анализами гликоля.

В качестве экспресс—методов используется контроль на пенообразование, прозрачность и образование эмульсии.

Наряду с этим образцы гликоля через 800...1000 ч работы анализируются на содержание рассеянных твердых частиц, тяжелых углеводородов, железа, хлоридов, карбонатов, кислот и др.

Важно предусмотреть специальные мероприятия

по поддержанию состава циркулирующего раствора гликоля на требуемом уровне и

совершенствовать технологические приемы, направленные на поддержание его высоких эксплуатационных характеристик.

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Соленая пластовая вода

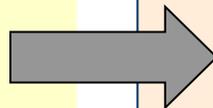
1. Накопление минеральных солей в растворе увеличивает коррозионную активность последнего, что
2. Существенно усиливает коррозию конструктивных материалов и оборудования газопромысловых объектов.
3. Наличие солей в растворе повышает его вязкость
4. Одно из отрицательных последствий этого — ухудшение массообменного процесса (при прочих равных условиях). Более того, в системе может не установиться равновесие, что равнозначно приведет к недостаточной осушке газа.

# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Соленая пластовая вода

- ❑ Соленая пластовая вода может попадать в газ при его **сепарации**
- ❑ Соли растворяются в гликолях, **снижая тем самым их осушающую способность**, а также осаждаются на поверхностях аппаратов (особенно теплообменных) и **ухудшают энергетические показатели работы** установок
- ❑ При содержании солей в ДЭГ **более 5 % он практически непригоден для осушки**

• **Периодически проводят обессоливание гликолей с применением ионитных фильтров и химических реагентов**



# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Углеводородный конденсат

Наличие в газе углеводородного конденсата (особенно ароматических углеводородов) приводит

1. Растворение у/в в растворе абсорбента

2. Снижение осушающей способности абсорбента

3. Увеличение вспениваемости и уноса гликоля



# Влияние различных параметров на процесс абсорбционной осушки

## Наличие в газе сероводорода

Влияет на

- Влагоемкость
- Температуру гидратообразования
- Вспениваемость раствора
- Коррозионную и эрозионную способность газа

- Количество влаги в газе, содержащем 10–15 % сероводорода, примерно **в 2 раза больше, чем у бессернистых газов** при одних и тех же условиях
- Температура гидратообразования выше

Когда газ содержит более 5 %  $\text{CO}_2$  и (или)  $\text{H}_2\text{S}$ , следует вводить поправку на кислые газы

# Проектирование установок осушки газа

## Включает в себя:

- Определение необходимой точки росы газа по воде
- Принятие концентрации исходного и отработанного растворов осушителя
- Выбор оборудования для блоков осушки и регенерации и т.д.



# Проектирование установок осушки газа

## Противоточные абсорбционные процессы

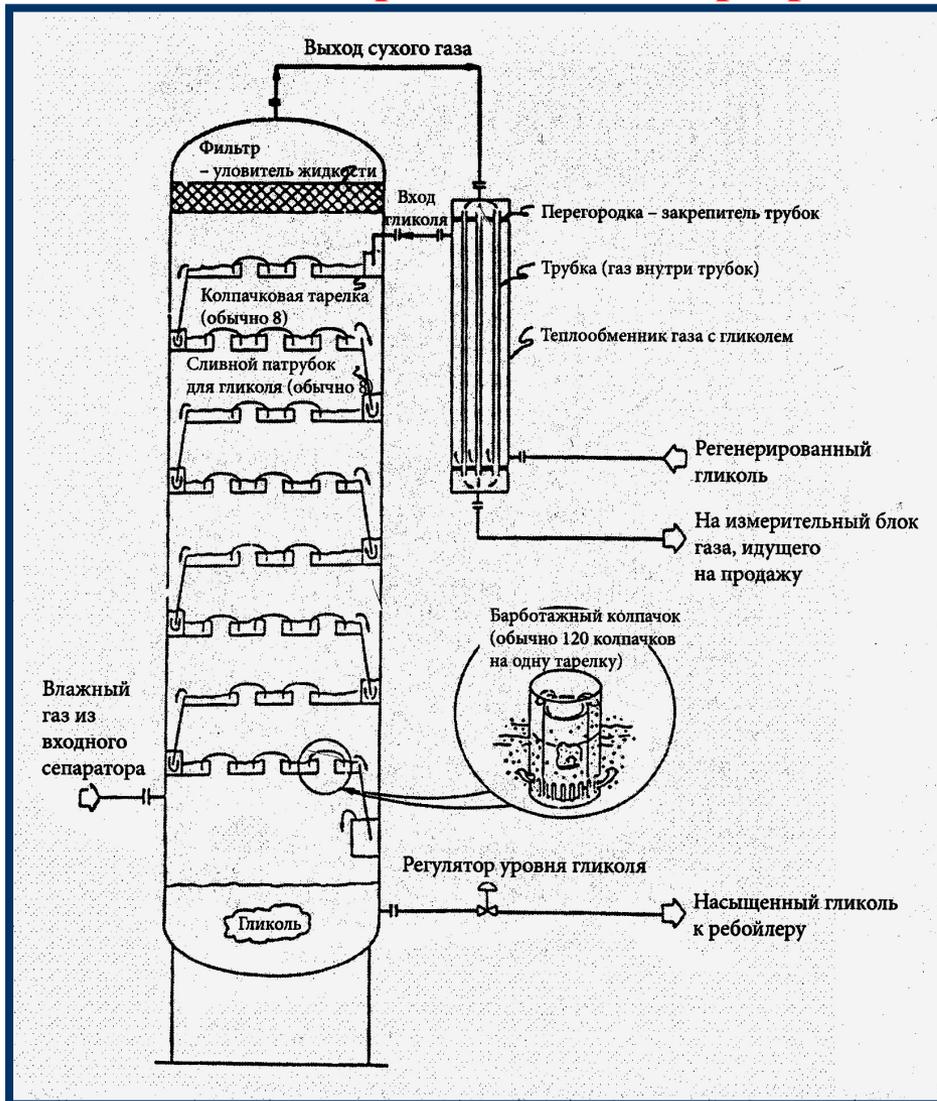
- Для осушки **тощих газов**, т.е. газов, не содержащих тяжелые углеводороды выше пороговой концентрации. (“пороговая” - концентрация углеводородов, которая не служит препятствием для нормальной транспортировки газа).
- Для осушки **кислых газов**,
- Газов после **установок очистки газа от кислых компонентов** с применением водных растворов разных реагентов,
- При подготовке газов **к низкотемпературной переработке** и т.д.

## Прямоточные абсорбционные процессы

используются **в основном на нефтяных месторождениях**. Производятся в горизонтальных абсорберах. Производительность таких установок небольшая и составляет от 0,5 до 2,5 млн. м<sup>3</sup>/сут

# Проектирование установок осушки газа

## Типичный тарельчатый абсорбер



- Газ и жидкость находятся в противотоке
- Влажный газ входит в нижнюю часть абсорбера и вступает в контакт с самым богатым (т. е. насыщенным) гликолем непосредственно перед тем, как гликоль покидает колонну.
- Поднимаясь вверх по абсорберу, газ встречает всё более тощий - регенерированный гликоль (т. е. он содержит всё меньше и меньше воды в растворе)
- На каждой последующей тарелке более тощий гликоль в состоянии поглощать из газа дополнительное количество водяных паров

# Проектирование установок осушки газа

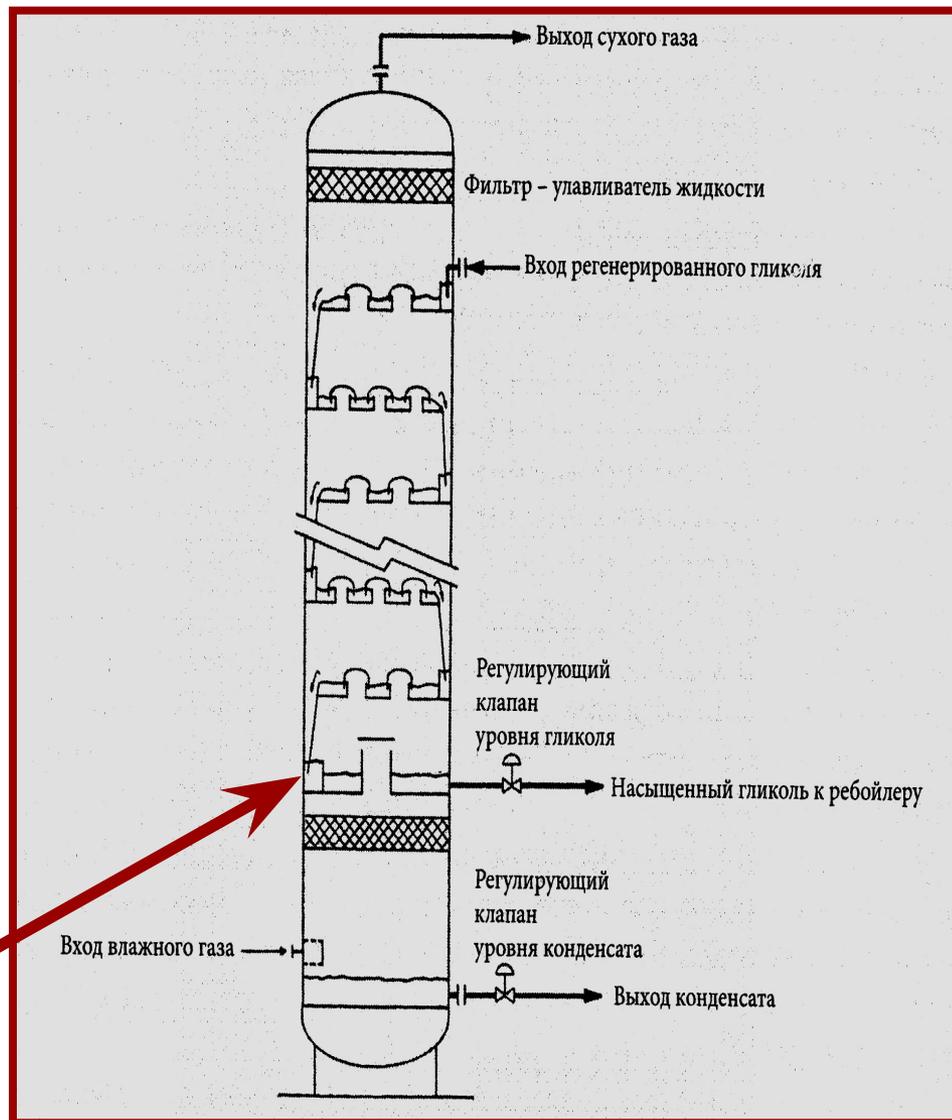
- ❑ Абсорберы могут иметь колпачковые, клапанные, перфорированные тарелки, обычную насадку или упорядоченную насадку
- ❑ В абсорберах с диаметрами, не превышающими 325 мм используется обычно неупорядоченная насадка
- ❑ В аппаратах большего диаметра применяются колпачковые тарелки, которые обеспечивают достаточный массообмен при расходах газа, значительно меньших расчётного
- ❑ Упорядоченная насадка получает всё большее распространение в очень больших абсорберах

Обычно гликолевые абсорберы в зависимости от требуемой температуры точки росы водяного пара имеют **от 6 до 12 тарелок**

Чтобы обеспечить требуемое техническими условиями влажосодержание 112 мг/н. м<sup>3</sup>, применяют **обычно 6—8 тарелок (за рубежом)**

# Проектирование установок осушки газа

- Часто газ пропускают через отдельно стоящий газовый скруббер-сепаратор для поглощения тяжелых у/в жидкостей  
Входной скруббер размещают как можно ближе к абсорберу
- На больших газовых потоках в качестве входных скрубберов используются сепараторы с фильтровальными трубами. Из-за дороговизны такие сепараторы не применяются на потоках, расход которых меньше 1,42 млн н. м<sup>3</sup>/сут.
- На малых установках в нижней части абсорбера устанавливается секция, выполняющая функцию вертикального входного скруббера



# Проектирование установок осушки газа

## Количество тарелок в абсорбере

Гликоль и газ достигают равновесия не на каждой тарелке.

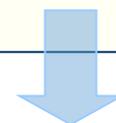
При проектировании обычно принимается эффективность тарелки 25 %.



Если необходима **одна теоретическая** тарелка, берутся **четыре фактические** тарелки.

В колпачковых колоннах шаг тарелок составляет обычно 610 мм

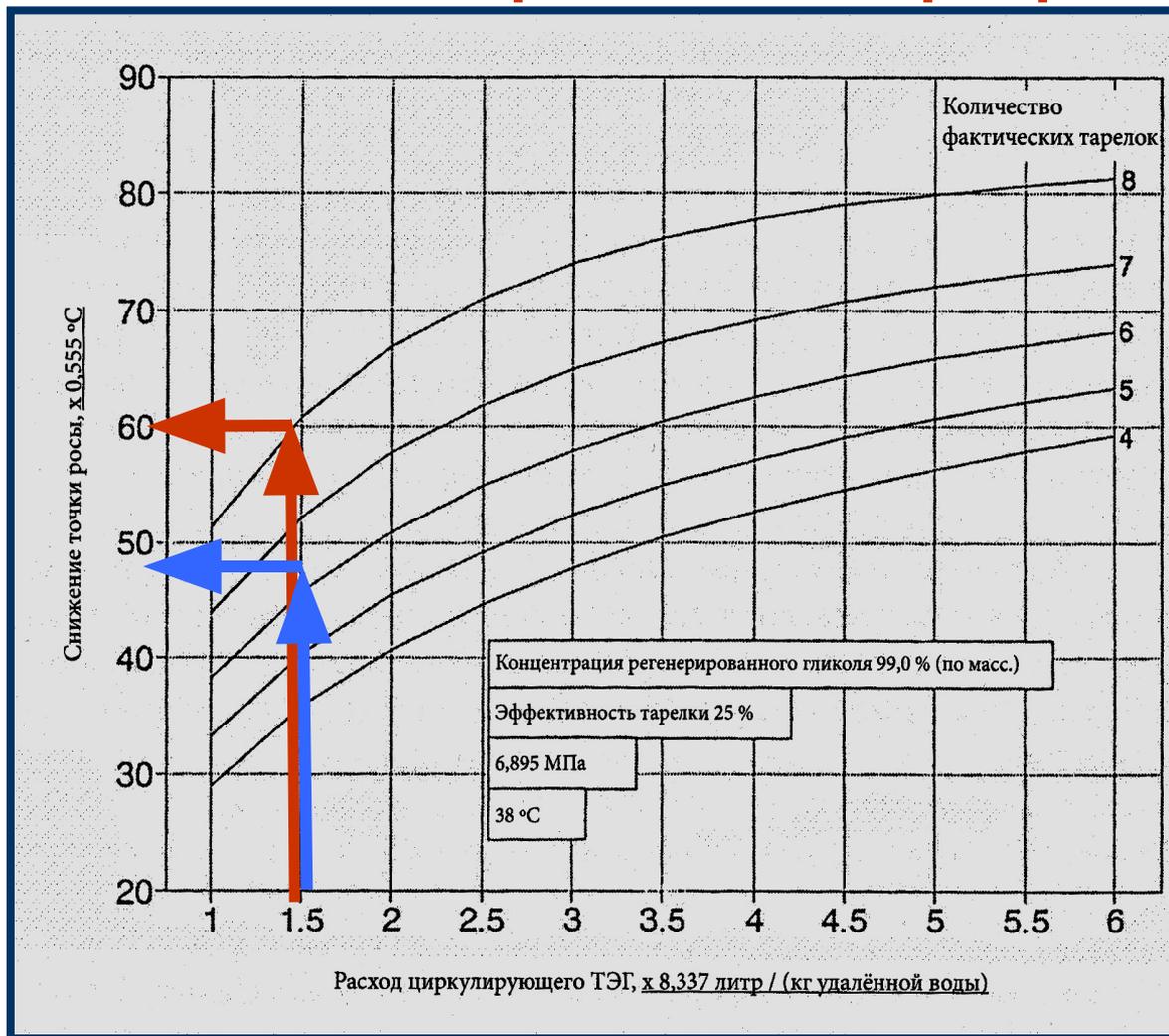
**Чем больше тарелок в абсорбционной колонне, тем больше снижение температуры точки росы при постоянных расходе и концентрации регенерированного (тощего) абсорбента.**



Заданием **большого количества тарелок** можно получить **экономия топлива**, так как тепловая нагрузка десорбера прямо пропорциональна расходу циркулирующего гликоля

# Проектирование установок осушки газа

## Количество тарелок в абсорбере



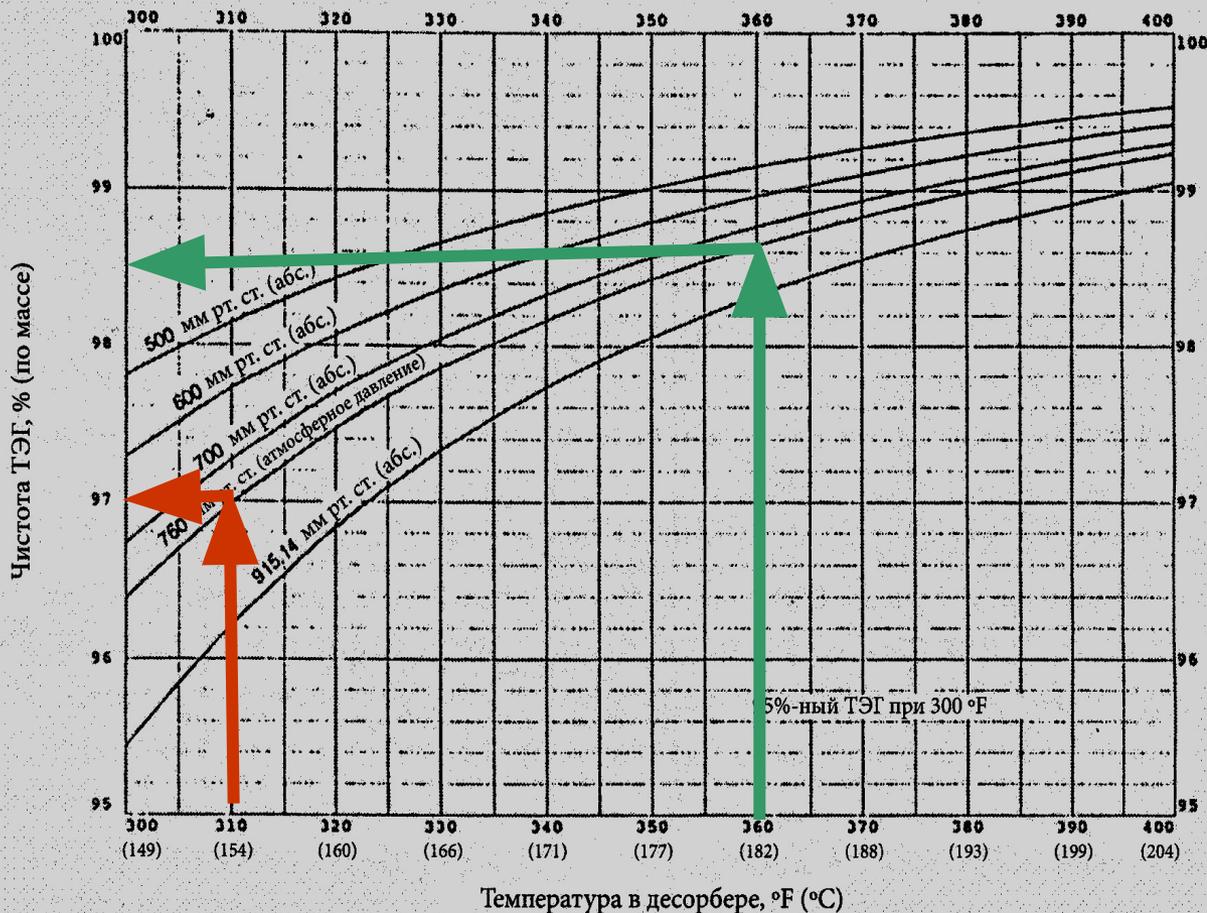
Количество тарелок  
гораздо сильнее  
влияет на снижение  
точки росы,  
чем расход  
циркулирующего  
гликоля

Дополнительные  
капитальные  
вложения в  
абсорбер большей  
высоты  
часто полностью  
оправдываются  
получаемой в  
результате  
экономией топлива

# Проектирование установок осушки газа

## Температура гликоля в десорбере

Чистота гликоля в зависимости от температуры при различных значениях вакуума



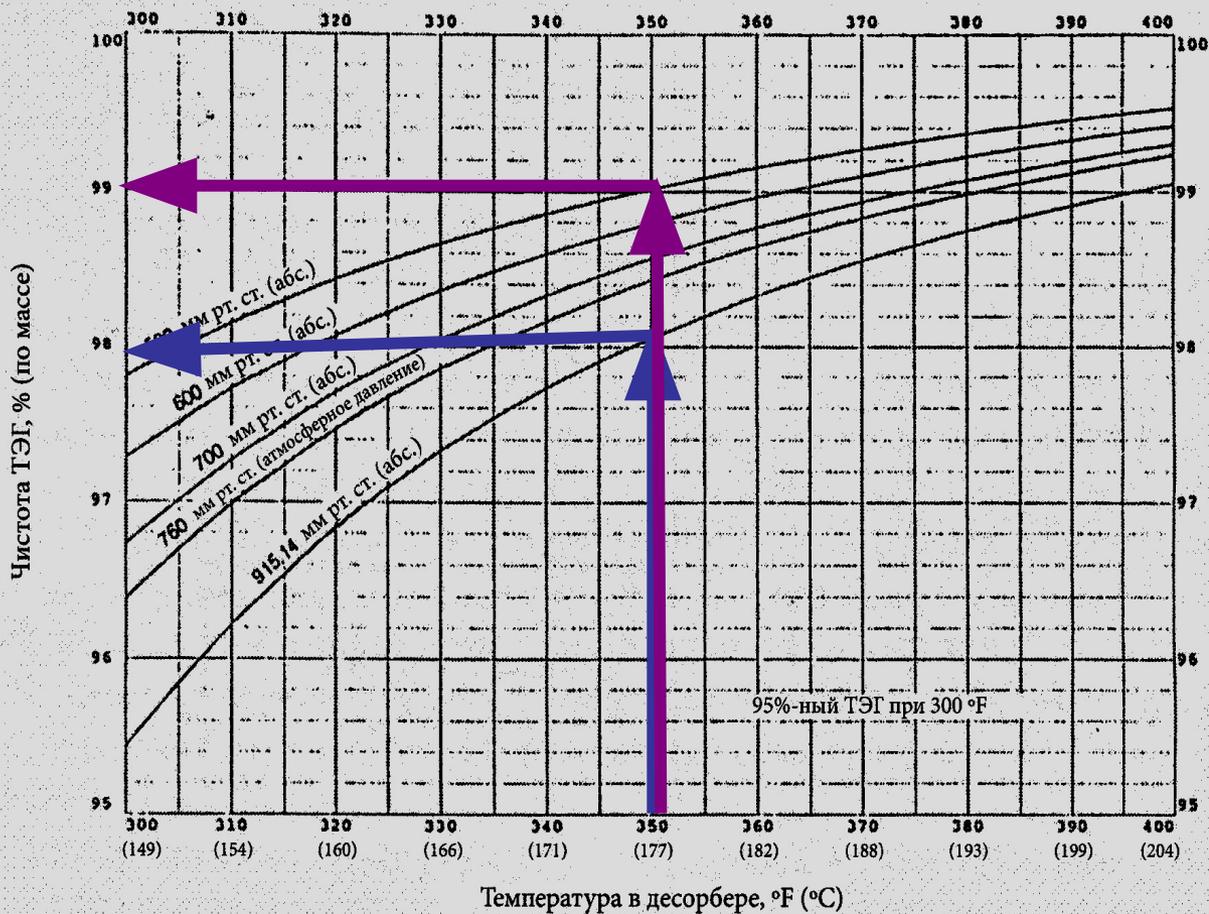
Температура в десорбере (ребойлере) определяет концентрацию воды в регенерированном гликоле

Чем выше температура в ребойлере, тем выше концентрация гликоля

# Проектирование установок осушки газа

## Давление в десорбере

Чистота гликоля в зависимости от температуры при различных значениях вакуума



Предотвратить чрезмерное противодавление, оказываемое в десорбере, отпарную колонну вентилируют, а её насадки периодически заменяют

# Проектирование установок осушки газа

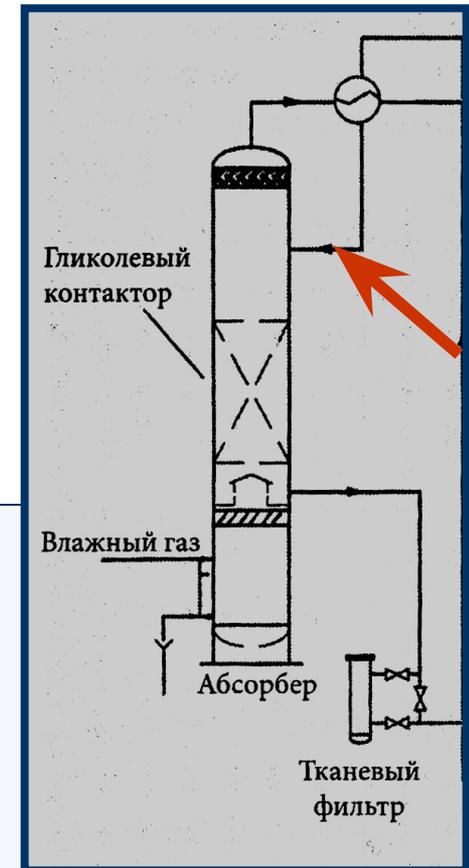
## Температура регенерированного (тощего) гликоля

1. Следует держать **низкой**, чтобы минимизировать расход циркулирующего гликоля

2. Когда температура регенерированного гликоля становится слишком высокой, **могут произойти большие потери гликоля с газом, покидающим абсорбер**

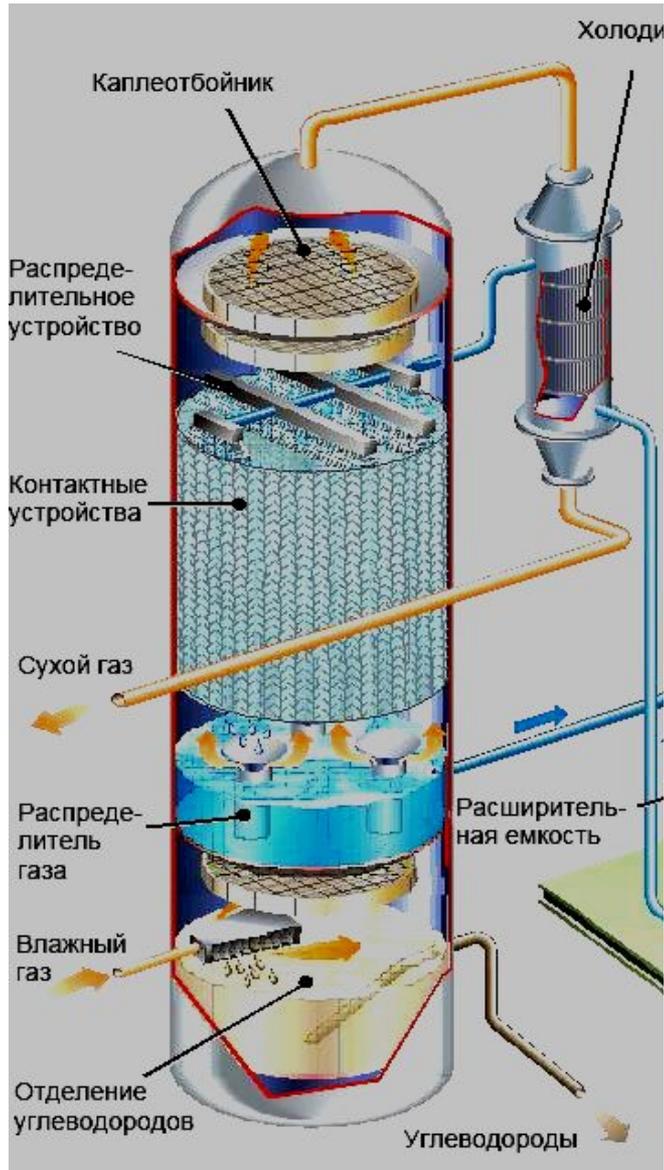
2. Чтобы предотвратить конденсацию углеводородов абсорбере, температуру регенерированного гликоля следует **поддерживать немного выше температуры газа в абсорбере**

4. В большинстве проектов требуется выдерживать температуру регенерированного гликоля **на 5 °C выше** температуры газа, покидающего абсорбер





# ПРИНЦИП РАБОТЫ АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЫ



- Влагонасыщенный газ подаётся в **нижнюю сепарационную (скрубберную) секцию** колонны-контактора. Назначение данной секции – удаление свободной капельной жидкости, что в свою очередь препятствует загрязнению раствора гликоля.
- Далее, через полуглухую тарелку очищенный от свободной жидкости газ поступает в **контактную секцию (2)** колонны-контактора, где раствор гликоля абсорбирует воду из потока природного газа. Данная секция может быть образована либо клапанными тарелками, либо же структурированной насадкой. Выбор типа контактного устройства определяется отдельно для каждого конкретного случая.
- Последняя секция колонны-контактора – **секция каплеуловителя (3)**, предназначенная для максимально эффективного удаления гликоля из потока осушенного газа. Таким образом, снижается уровень потерь абсорбента.

# ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ АБСОРБЦИЯ

Применяется в целях сокращения расхода отпарного газа и азеотропного агента

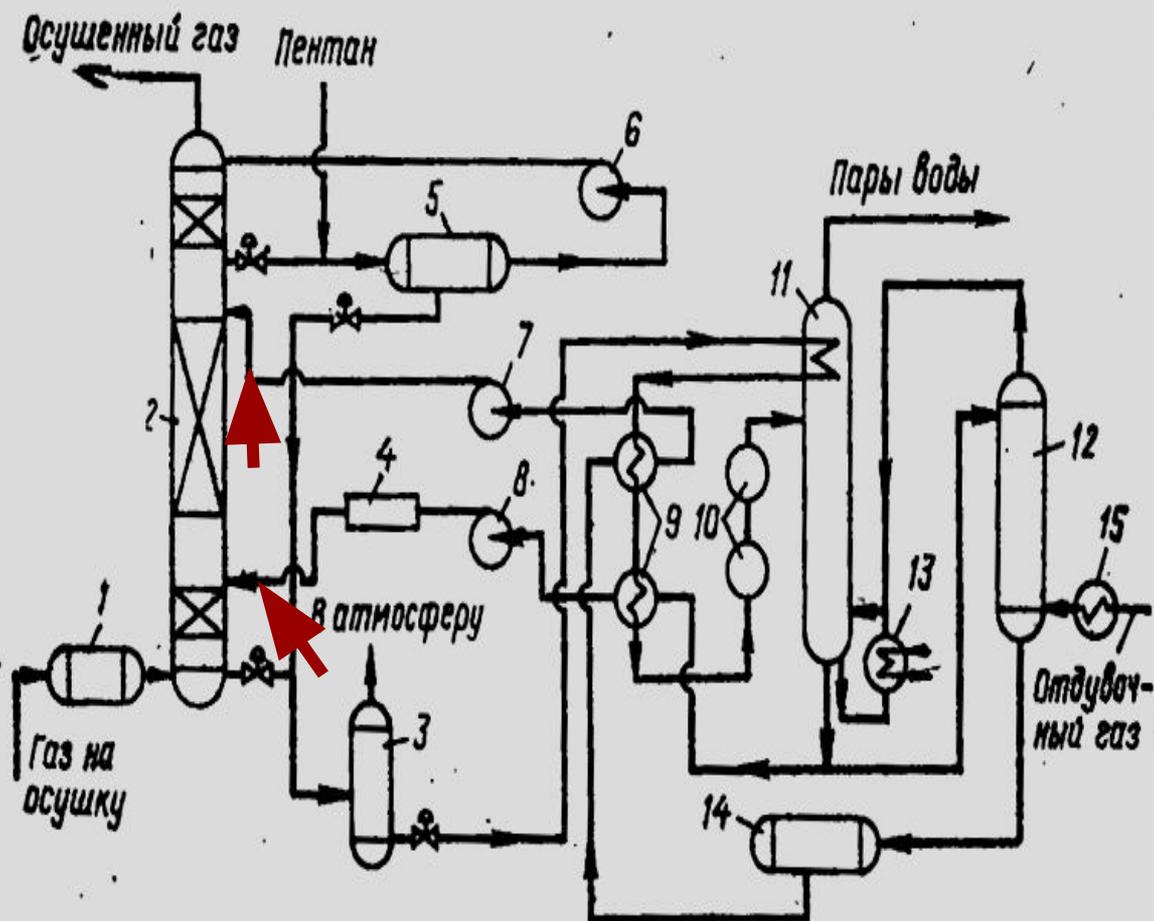
В абсорбер подаются два потока абсорбента:

- **грубо регенерированный** – примерно в середину колонны,
- **тонко регенерированный** – в верхнюю часть абсорбера

*Грубо регенерированный абсорбент поглощает основную часть влаги из газа в нижней части абсорбера.*

*Частично осушенный газ контактирует с высококонтцентрированным потоком гликоля в верхней части абсорбера, где и достигается требуемая точка росы газа*

# ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ АБСОРБЦИЯ



Для регенерации насыщенного гликоля используются две колонны: в одной осуществляется **грубая регенерация всего потока насыщенного гликоля**, в другую направляется **только часть грубо регенерированного раствора**, где доводится до **высоких концентраций**.

**Максимальная депрессия точки росы с использованием ТЭГ в качестве абсорбента достигает 90 °С.**

1,3 – сепараторы, 2 – абсорбер, 4 – воздушный холодильник, 5,14 – емкости, 6,7,8 – насосы, 9,13,15 – теплообменники, 10 – фильтры, 11 – десорбер, 12 – отпарная колонна

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ

Технология регенерации должна обеспечить концентрацию гликолей, которая позволяет осушать газы до температуры, соответствующей заданной проектом точке росы газа в абсорбере.

При концентрациях регенерированных растворов, равных **96-97,5 %**, применяется десорбция

**1. Методом ректификации** при давлении немногим выше атмосферного.

**Более концентрированные** растворы гликолей можно получить за счет проведения

**2. Регенерации под вакуумом,**

**3. С подачей отдувочного газа или**

**4. Использованием азеотропной перегонки.**

# ТЕМПЕРАТУРЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ГЛИКОЛЕЙ



Температура, °С	Диэтиленг ликоль	Триэтиленгли коль	Тетраэтиленг ликоль
Кипения при 101 кПа	245	285	314
Начала разложения	164	206	238
Регенерации	149-163	178-204	204-224
Наибольшая депрессия точки росы	55	59	-

# ТЕМПЕРАТУРЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ГЛИКОЛЕЙ

Давления в десорбере при различных процессах регенерации и концентрации получаемых при этом растворов гликолей

Показатели	Давление в аппарате, кПа	Концентрация регенерированного гликоля, % мас.
<b>Диэтиленгликоль</b>		
Регенерация:		
– при атмосферном давлении	106	97,0...97,5
– под вакуумом	50...30	98,5...99,3
– с подачей отпарного газа		
в испаритель	106	99,5
вниз отпарной колонны	106	99,8
<b>Триэтиленгликоль</b>		
Регенерация:		
– при атмосферном давлении	106	98,0...98,6
– под вакуумом	53...30	98,7...99,5
– с подачей отпарного газа		
в испаритель	106	99,1...99,6
вниз отпарной колонны	106	99,1...99,9
Азеотропная ректификация	106	99,95
Примечание: температура регенерации диэтиленгликоля — 162 °С, триэтиленгликоля — 202 °С.		

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Процесс протекает эффективно в том случае, когда температура низа колонн соответствует температуре кипения ректификата - кубового продукта.

ДЭГ и ТЭГ нельзя нагревать выше 164 и 206 °С соответственно (таблица) ввиду их термической неустойчивости.

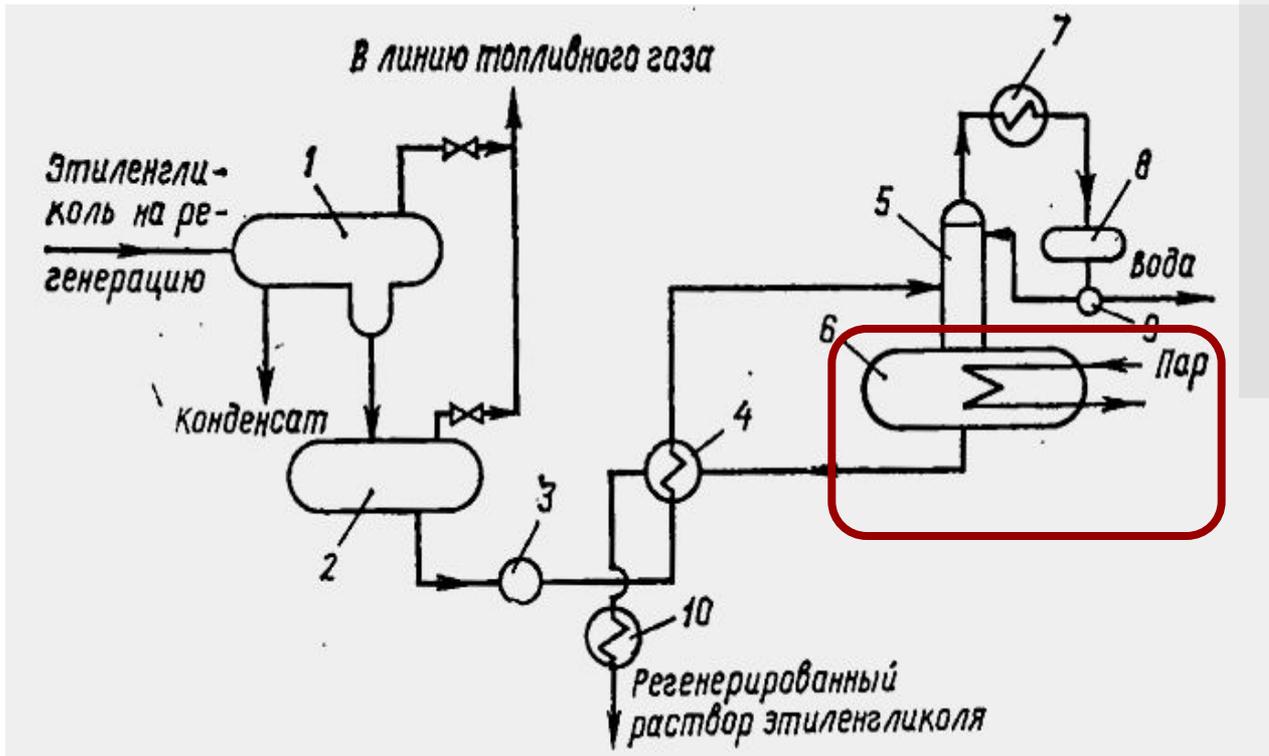
При такой температуре низа десорбера и атмосферном давлении в колонне **максимальная концентрация регенерированных растворов ДЭГ и ТЭГ составит 96,7 и 98,1 %.**

Растворы гликолей с такой концентрацией в условиях производства **не обеспечивают достаточно глубокую осушку газа.**

Поэтому регенерация при атмосферном давлении **чаще всего применяется на промышленных и заводских установках НТК и НТС** для выпаривания воды из 70 %-ных растворов этиленгликоля и доведения их концентрации до 80 % мас.

Раствор гликоля подогревается в паровых или огневых испарителях. В случае если требуемая точка росы осушаемого газа не превышает минус 10 °С, возможны осушка газа гликолем концентрацией 97,5 % и регенерация гликоля при атмосферном давлении.

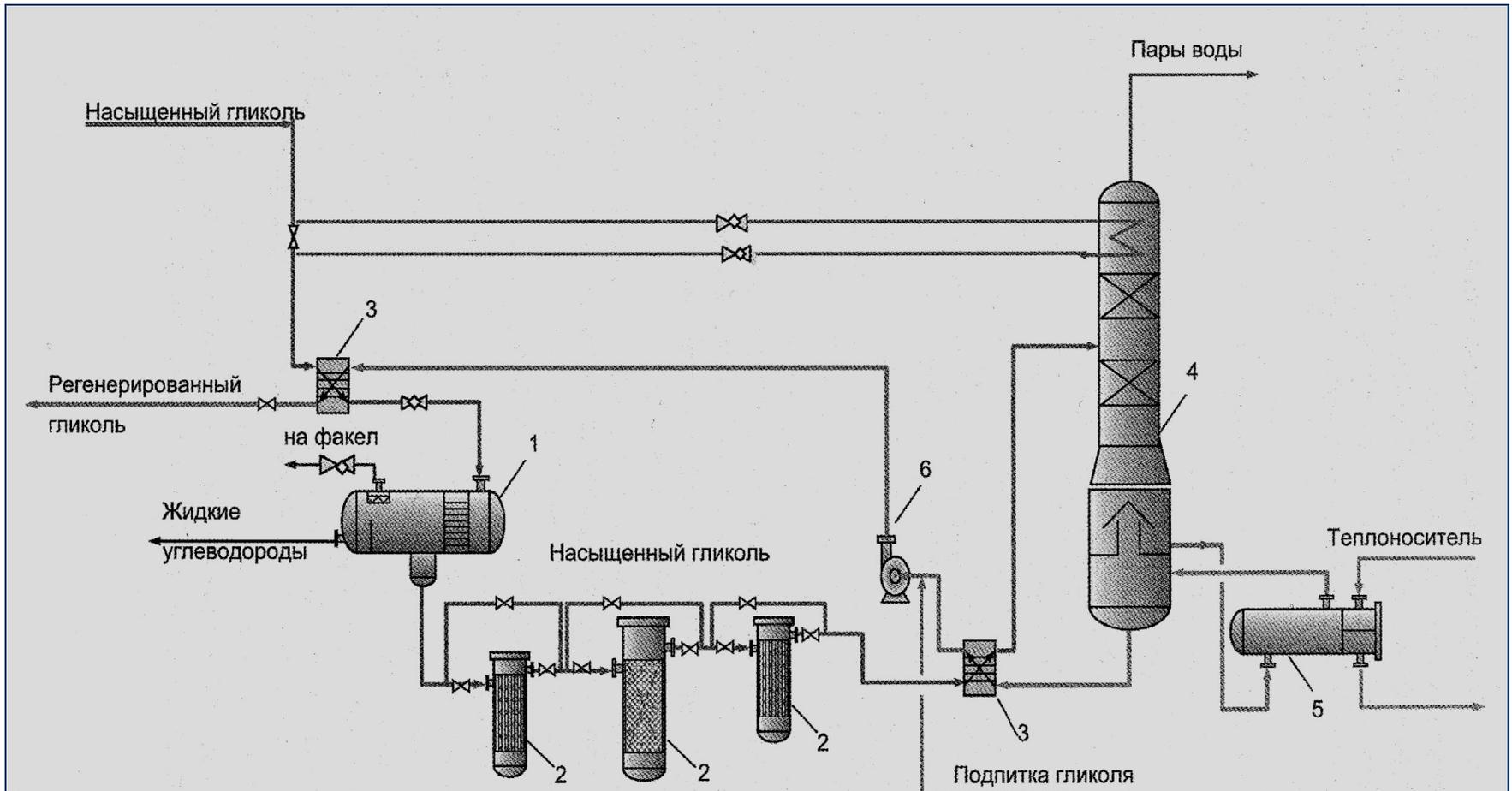
# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ



Регенерация под атмосферным давлением и ребойлерным подводом тепла в куб десорбера

1 – фазовый разделитель, 2 – сепаратор, 3 – фильтр, 4 – теплообменник, 5 – десорбер, 6 – испаритель, 7 – конденсатор-холодильник, 8 – емкость орошения, 9 – насос орошения, 10 – холодильник

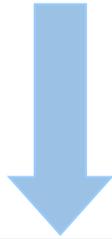
# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ



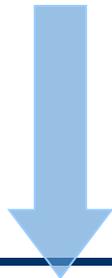
**Технологическая схема подготовки и регенерации гликоля при атмосферном давлении:**  
1 — фазный разделитель; 2 — фильтр; 3 — теплообменник; 4 — десорбер; 5 — испаритель; 6 — насос

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ ОТДУВОЧНЫМИ ГАЗАМИ

## Отдувочный газ



Влажный газ, насыщенный водяными парами при температуре окружающего воздуха и избыточном давлении 170—690 кПа.



Целесообразно применять только для повышения концентрации регенерированного гликоля выше **98,5—98,9 %**



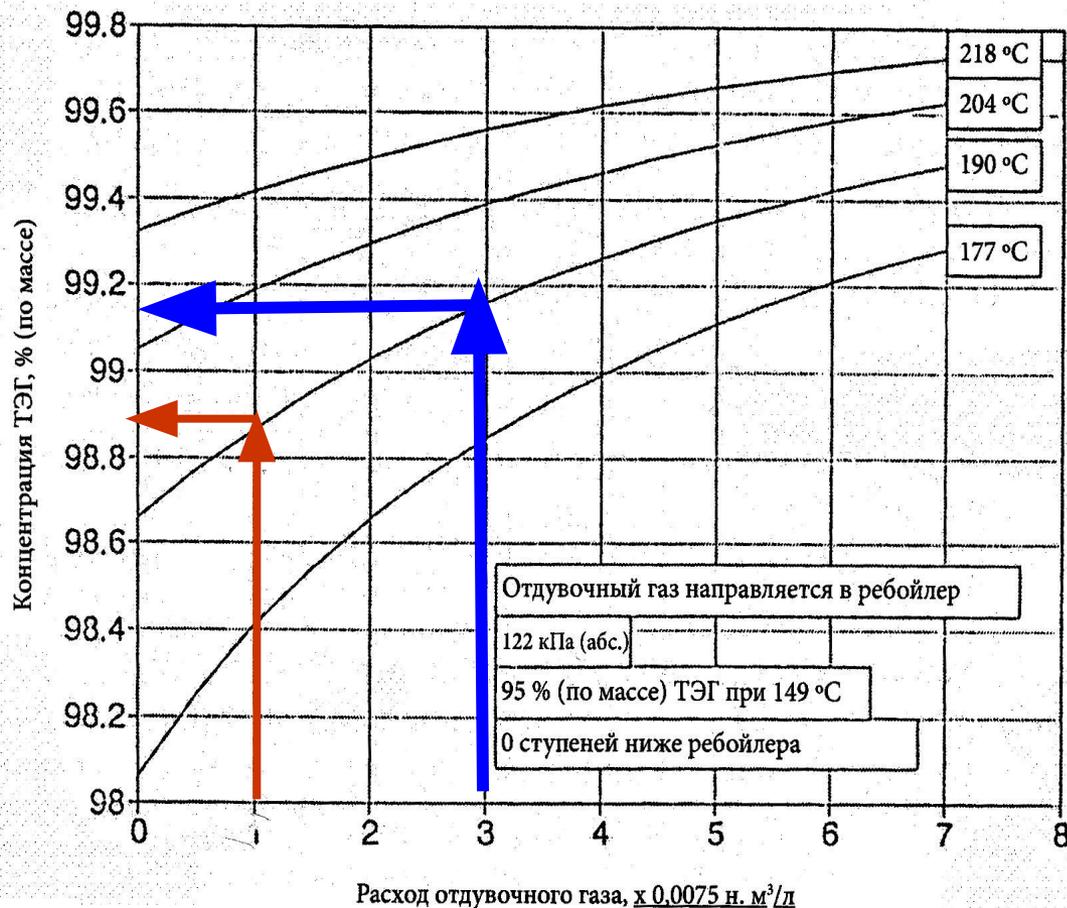
Отбирается из потока топливного газа или газового потока на входе в абсорбер и затем направляется в ребойлер

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ ОТДУВОЧНЫМИ

## ГАЗАМИ

Влияние расхода отдувочного газа на концентрацию гликоля при различных температурах в десорбере и допущении, что газ впрыскивается непосредственно в десорбер.

Более высокой концентрации можно достичь, если перед входом в десорбер отдувочный газ контактирует с регенерированным гликолем в колонне, имеющей одну или более ступеней насадки



# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ ОТДУВОЧНЫМИ ГАЗАМИ

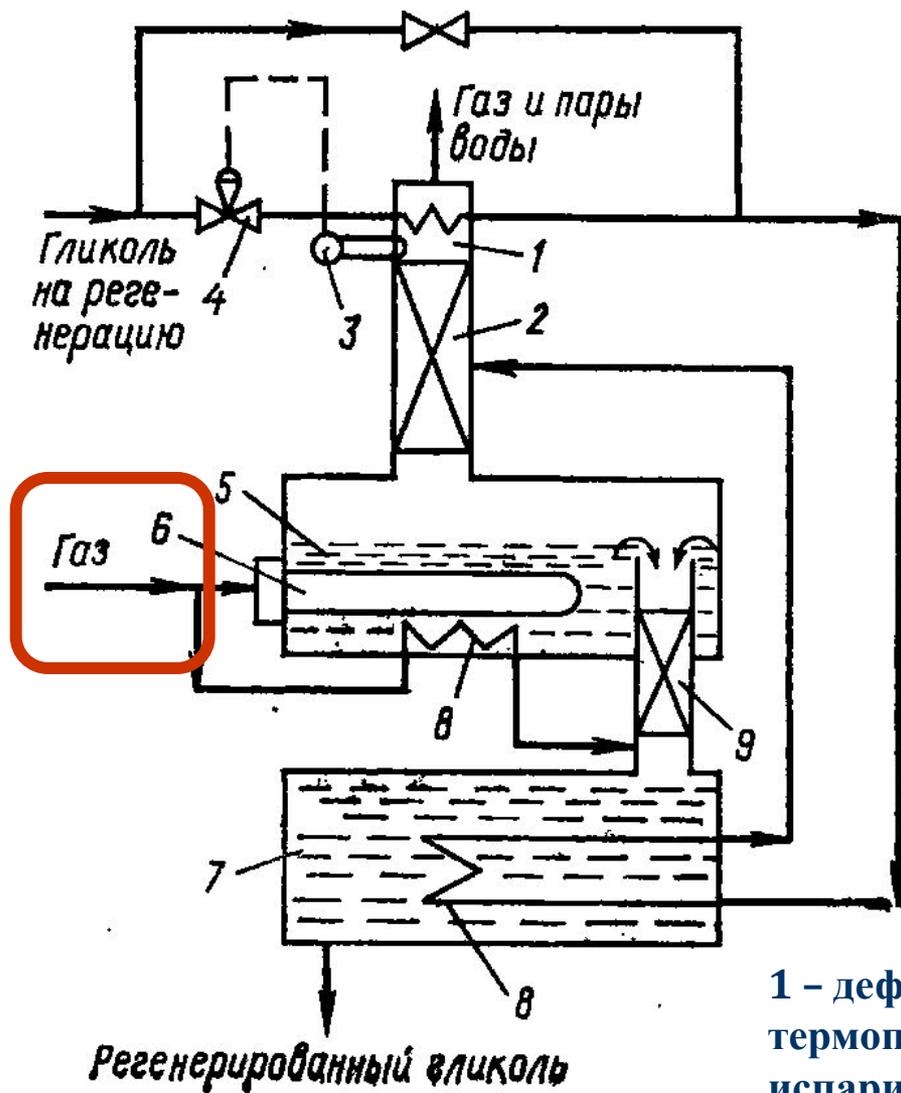
Отдувочный газ поглощает воду из гликоля путём снижения парциального давления водяных паров в ребойлере

Отдувочный газ покидает отпарную колонну вместе с водяными парами

При необходимости этот газ может быть утилизирован путём конденсации водяных паров и направления этого газа к компрессору установки утилизации паров

Рекомендуемое количество отдувочного газа **20...50 м<sup>3</sup> газа на 1 м<sup>3</sup> гликоля.**

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ ОТДУВОЧНЫМИ ГАЗАМИ



**В промышленных газовых установках десорберы редко работают под вакуумом вследствие дополнительной сложности, а также потому, что любые подсосы воздуха приводят к разложению гликоля**

1 - дефлегматор, 2 - выпарная колонна, 3 - термопара, 4 - регулирующий клапан, 5 - испаритель, 6 - топка, 7 - буферная емкость, 8 - теплообменник, 9 - отпарная колонна

# ВАКУУМНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ

## Условия

- Давление **0,006–0,008 МПа**
- Температура регенерации **ДЭГ** составляет **120–150 °С**  
достигается **98,5–99,3%-я**  
концентрация
- При температуре регенерации **ТЭГ** не выше **204 °С** достигается концентрация раствора до **99,5 %**.

- Депрессия точки росы достигает

**50–70 °С**

- Вакуум в десорбере или испарительной камере создается с помощью

**вакуум-насоса или пароструйного эжектора**

# ВАКУУМНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ

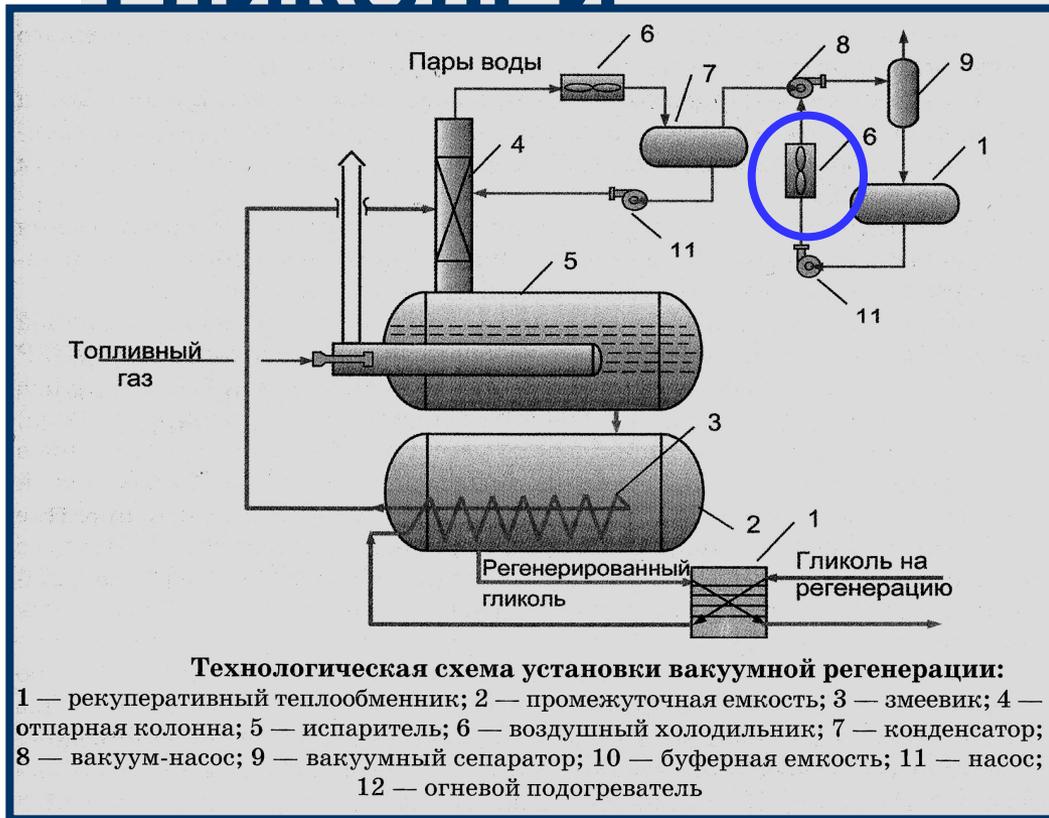
## Температуры регенерации гликолей

Показатели	ДЭГ	ТЭГ	Тетраэтилен гликоль
Температура, °С:			
кипения при давлении 760 мм рт.ст.	245	288	314
начала разложения	164	206	238
регенерации	149-163	178-196	204-224
Наибольшая депрессия точки росы, °С	56	69	—

P, мм рт. ст.	Гликоль	
	ДЭГ	ТЭГ
1	91,8	114,0
5	120,0	144,0
10	133,8	158,1
20	148,0	174,0
40	164,3	191,3
60	174,0	201,5
100	187,5	214,6
200	207,0	235
400	226,5	256,6
760	244,8	287,3

**Зависимость температуры  
кипения гликолей от давления**

# ВАКУУМНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ



Для создания вакуума используется вакуум-насос.

Пары с верха конденсатора поступают в вакуум-насос.

В качестве затворной жидкости в насос подается обратная вода.

Водногазовая смесь после насоса поступает в вакуумный сепаратор, где разделяется на фазы.

Паровая фаза с верха сепаратора отводится на факел.

Жидкая фаза — гидрозатворная жидкость с низа сепаратора поступает в буферную емкость.

Оттуда вода забирается насосом и через аппарат воздушного охлаждения подается на вакуум-насос в качестве затворной жидкости.

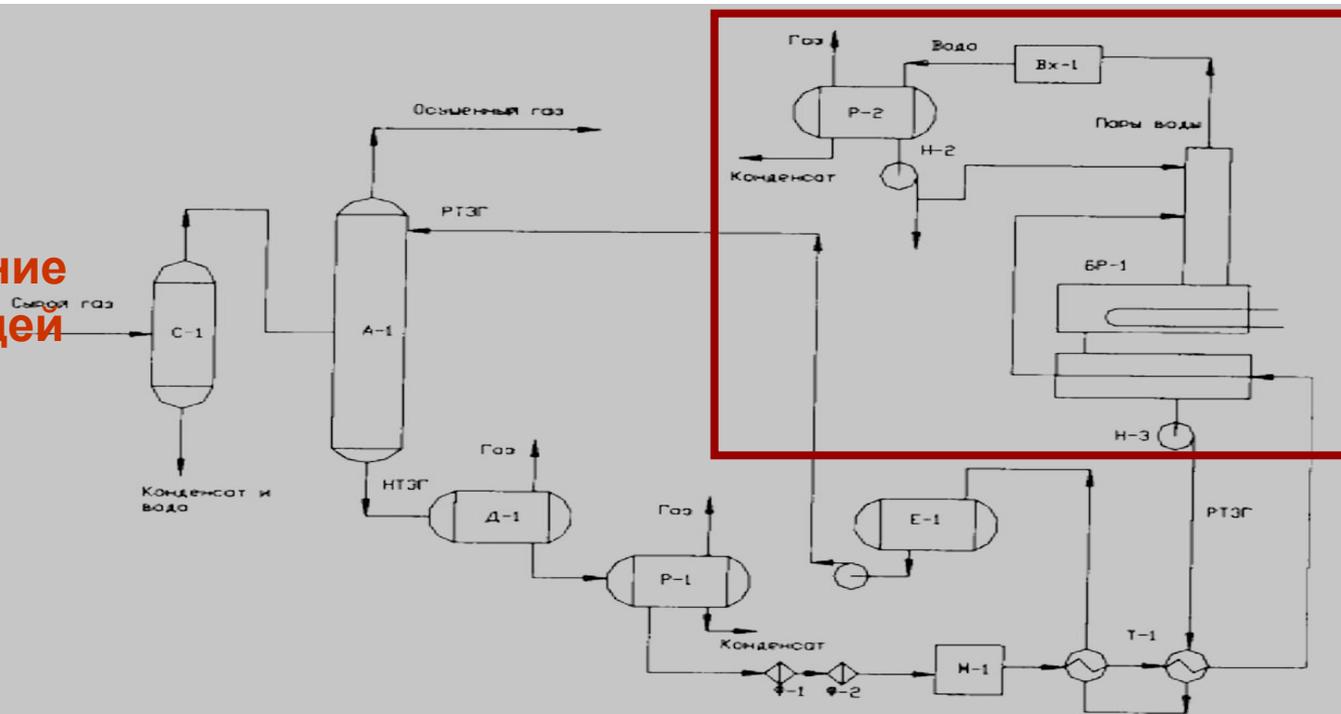
Потери воды в контуре циркуляции наполняются путем подачи новой порции воды из обратной системы в буферную емкость.

Вакуум в системе создается при конденсации водяных паров в конденсаторе, а неконденсирующиеся газы отсасываются вакуум-насосом. Наличие избыточного давления гликоля и газа, теряемое в процессе регенерации, позволяет использовать их энергию для получения вакуума.

# ВАКУУМНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ

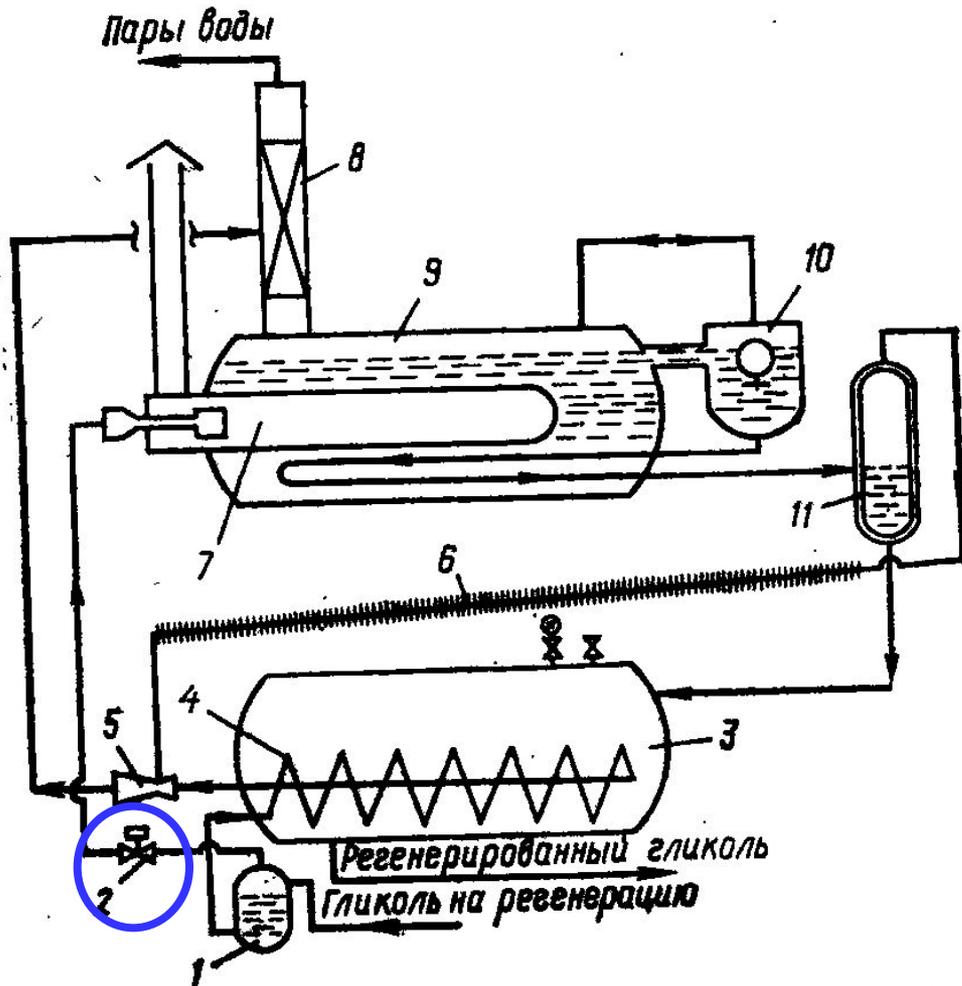
Принципиальная технологическая схема УКПГ Западно-Таркосалинского газового месторождения

Создание вакуума в десорбере помогает продлить использование существующей гликолевой системы



А-1 – абсорбер; БР-1 – блок регенерации гликоля; С-1 – сепаратор; Д-1, Р-1 – дегазаторы; Е-1 – буферная емкость; Р-2 – рефлюксная емкость; Т-1 – рекуперативный теплообменник; ВХ-1 – воздушный холодильник; М-1 – магнитный фильтр; Ф-1 и Ф-2 – фильтры; Н-1, Н-2, Н-3 — насосы

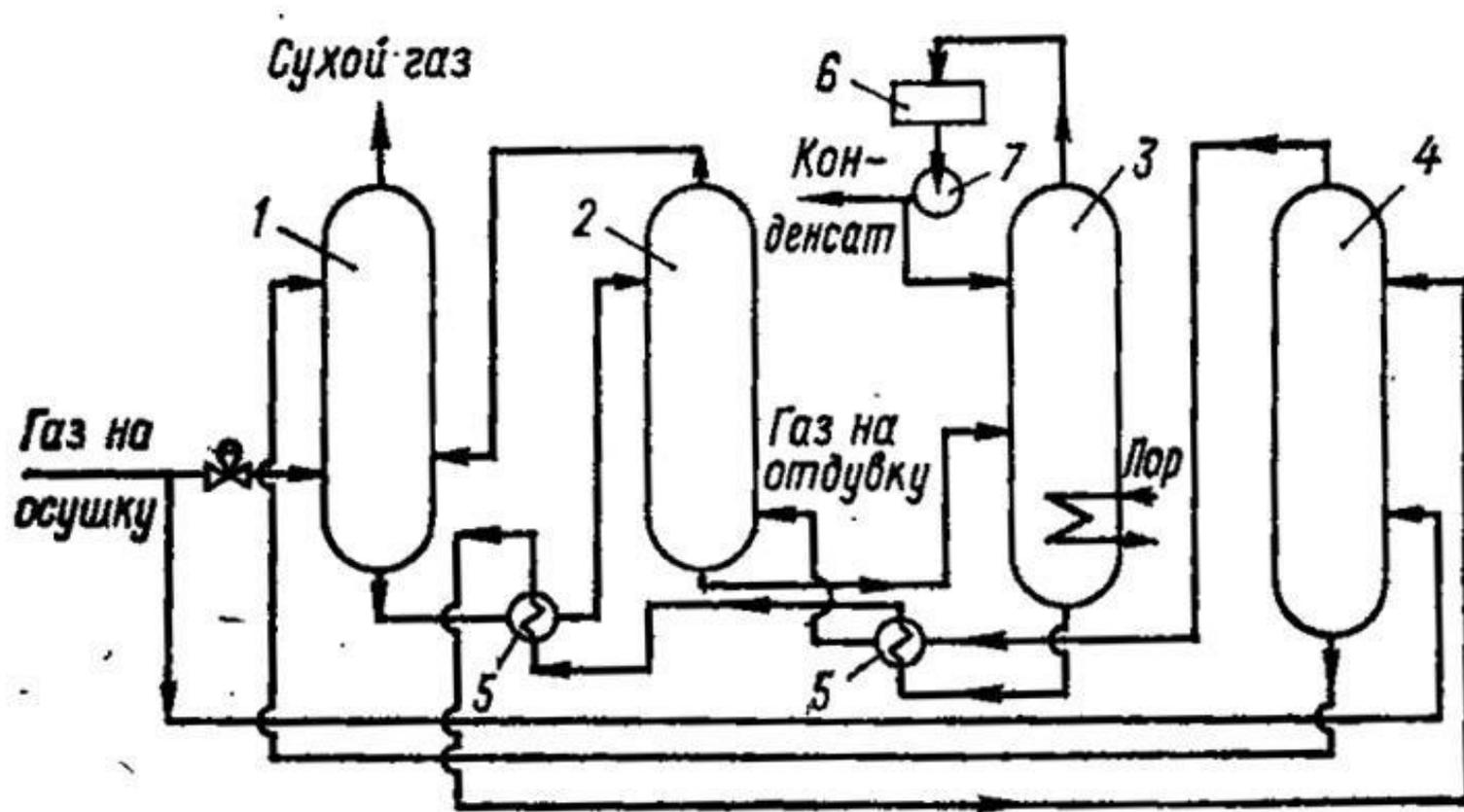
# ВАКУУМНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ



Если требуются концентрации регенерированного гликоля в районе 99,5 %, иногда используют вакуум совместно с отдувочным газом

1 - сепаратор, 2 - клапан, 3 - промежуточная емкость, 4 - змеевик, 5 - эжектор, 6 - АВО, 7 - огневой подогреватель, 8 - отпарная колонна, 9 - испаритель, 10 - поплавковая камера, 11 - испарительная камера

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ НАСЫЩЕННЫХ $H_2S$



1 – абсорбер, 2 – отпарная колонна, 3 – десорбер, 4 – очистная колонна, 5 – теплообменники, 6 – конденсатор, 7 – насос

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ

- Для снижения затрат на регенерацию абсорбентов вместо газа отпарки применяют **низкокипящие вещества, образующие с водой азеотропные смеси**

- Концентрация абсорбента достигает **99,99 %**,
- Точка росы осушенного газа достигает **-75 °С**

- Ввод осуществляется через перфорированную трубу под уровень горячего раствора гликоля **в количестве не более 10 %** от общей массы абсорбента.

- Равномерно распределяясь по сечению и поглощая влагу, введенное вещество образует азеотропную смесь, кипящую **при температуре более низкой, чем вода**

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ

## Разделяющие агенты,

используемые в процессах азеотропной ректификации, ДОЛЖНЫ

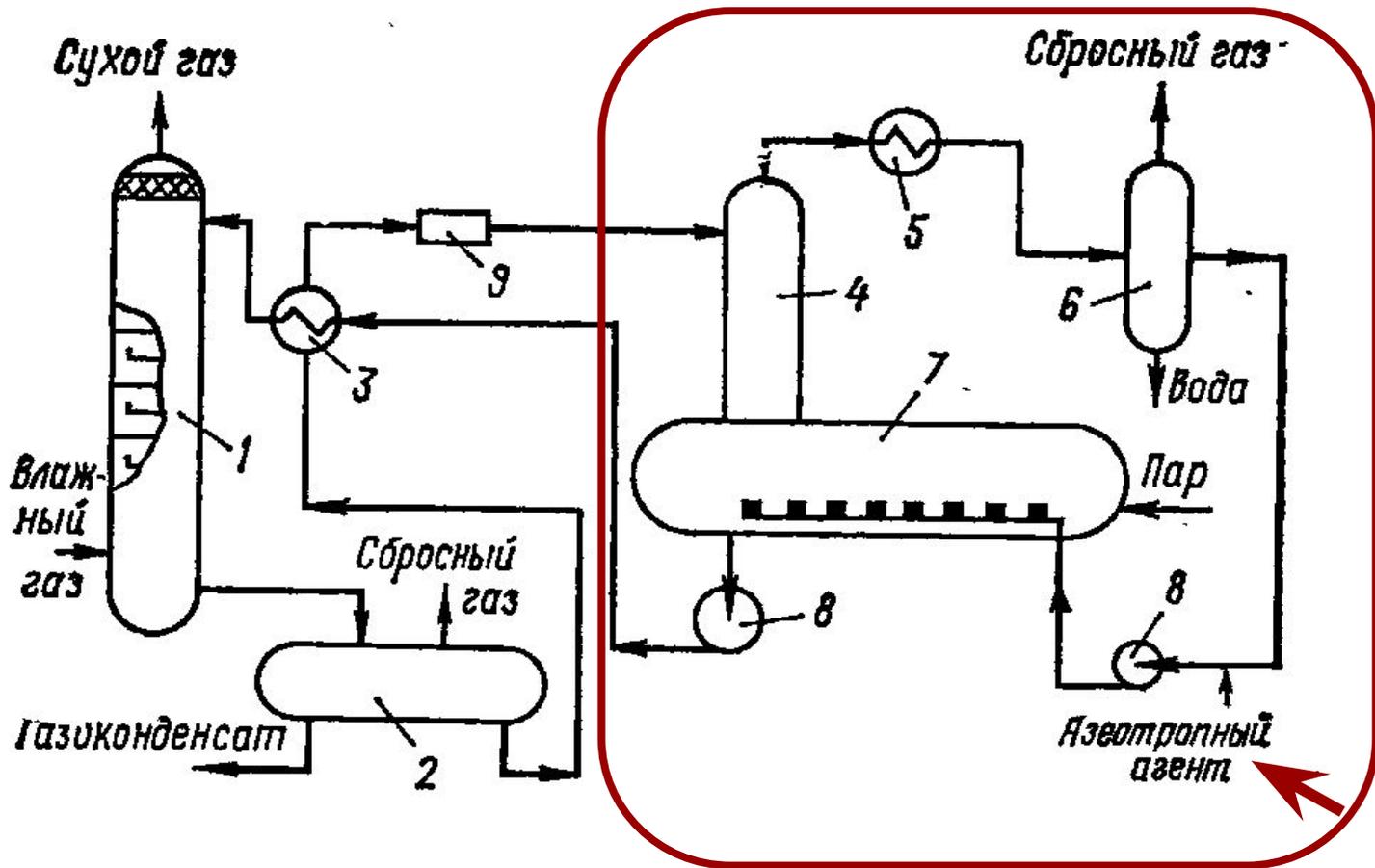
1. Изменять относительную летучесть компонентов заданной смеси в желательном направлении
2. Легко регенерироваться из смесей с компонентами системы, подвергаемой разделению
3. Быть безопасными в обращении, доступными и по возможности дешевыми
4. Иметь относительно низкое давление насыщенных паров
5. Практически не растворяться в гликолях
6. Иметь высокую активность при извлечении воды
7. Иметь низкую теплоту парообразования

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ

**Типы азеотропных растворителей,  
применяемых на установках абсорбционной осушки газа гликолями**

- **Бензол, толуол, ксилол или их смесь, а также прочие ароматические углеводороды**
- **Индивидуальные предельные углеводороды, например пентан, гексан, октан, циклогексан, циклопентан диметилциклогексан, и т.п.**
- **Бензиновая фракция с пределами кипения 35-235 °С**
- **Бензиновая фракция с пределами кипения 40-160 °С**
- **Изооктан**

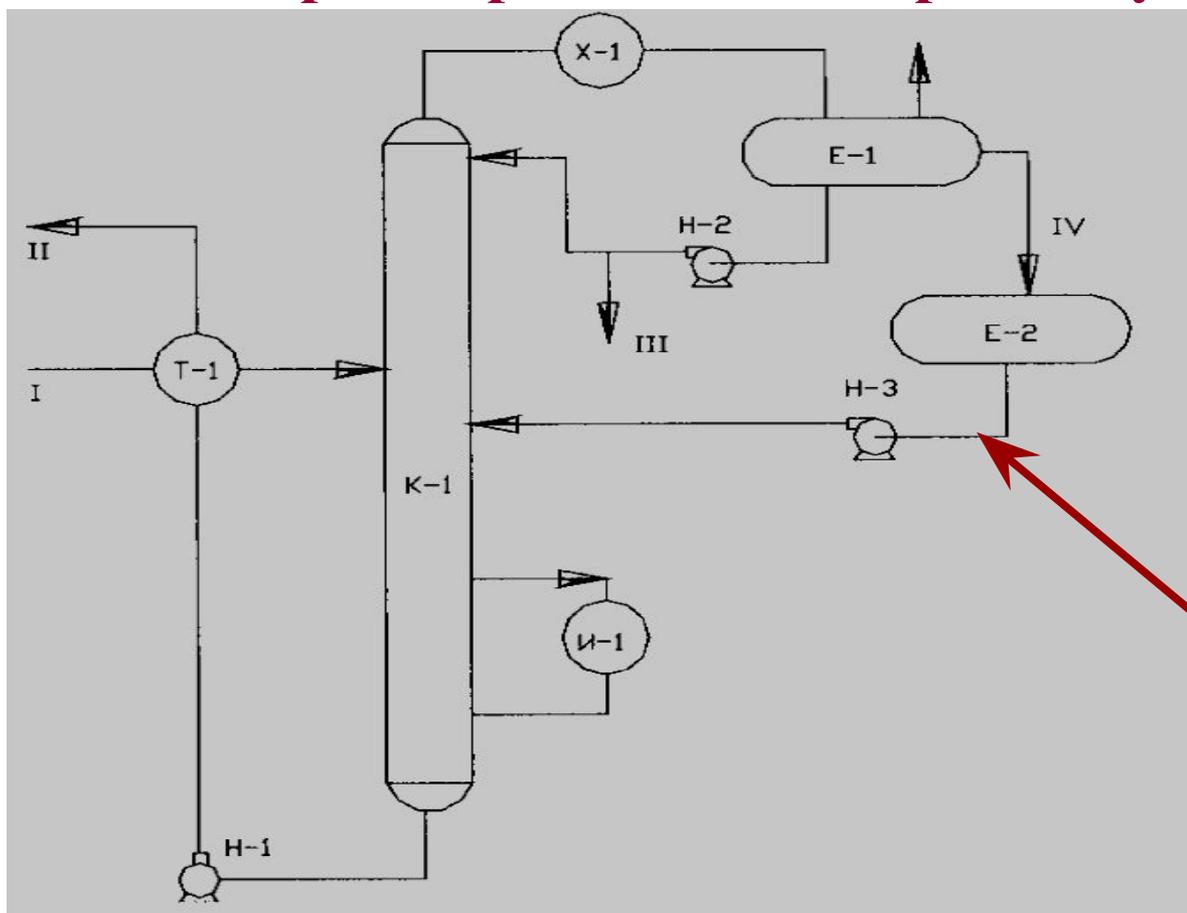
# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ



1 – абсорбер, 2 – трехфазный сепаратор, 3 – теплообменник, 4 – десорбер, 5 – конденсатор, 6 – сепаратор, 7 – испаритель, 8 – насосы, 9 – фильтр

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ

Принципиальная технологическая схема блока  
регенерации по азеотропному способу



колонна К-1  
холодильнике X-1  
сепаратор E-1  
буферная емкость E-2  
насос H-3

толуол

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ

лицензиаром является фирма  
Prosernat IFP Group Technologies



Технологическая схема процесса Drizo для глубокой осушки углеводородных газов:

- 1 — гликолевый контактор; 2 — испарительная камера; 3 — стриппинг-колонна;
- 4 — подогреватель растворителя; 5 — коагулятор; 6 — термический регенератор;
- 7 — конденсатор; 8 — насос; 9 — рекуперативный теплообменник; 10 — емкость

**В настоящее время в мире эксплуатируется 60 установок с технологией Drizo.**

**(установка осушки на платформе 2/4J норвежского шельфового месторождения Ekofisk)**

Азеотропный процесс Drizo основан на введении толуола или другого аналогичного азеотропного агента в систему регенерации.

Вода, удаленная вместе с толуолом, конденсируется, отделяется и сбрасывается в канализацию.

Азеотропный агент подвергается рециркуляции в замкнутой системе для дополнительного контактирования с гликолем.

Современная схема процесса позволяет достигать **депрессию точки росы газа до 100 °С**, в процессе Drizo HP, когда схема дополнена узлом обезвоживания растворителя, возможно уменьшение более чем на 110 °С.

Установка Drizo **обходится примерно на 20 % дешевле**, чем аналогичные установки с отпаркой воды из гликоля

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ГЛИКОЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ РЕКТИФИКАЦИЕЙ

Процесс азеотропной регенерации  
**эффективен** для концентрирования  
растворов гликолей, содержащих  
**от 2 до 6 % воды**

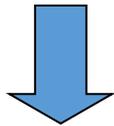


При содержании воды **больших**  
количествах процесс становится  
невыгодным из-за **значительной**  
**энергоёмкости.**

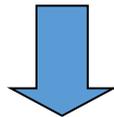
- **Требует добавочного оборудования: емкостей, насосов и т. д**
- **Создает повышенную токсичность выбросов**
- **Трудности, связанные с транспортированием и хранением**

# Очистка растворов гликолей от различных примесей

Во входных сепараторах УКПГ не происходит полного отделения капельной жидкости от газа



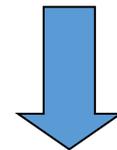
Часть жидкости с газом поступает в абсорбер, где поглощается раствором гликоля, используемым в качестве абсорбента для извлечения паров воды из газа.



Происходит накопление в растворе ДЭГа **минеральных солей и механических примесей**



В растворе гликоля накапливаются также продукты, образующиеся при его циркуляции в системе, так называемые **вторичные продукты**



К ним относятся **продукты коррозии оборудования** установок осушки и разложения и **осмоления** самих гликолей. (Наличие последних в системе связано с перегревом раствора гликоля)

# Очистка растворов гликолей от различных примесей

Наличие примесей в циркулирующем растворе гликоля оказывает ряд негативных влияний на работу установок осушки газа

## При регенерации насыщенного раствора

- Происходит отложение солей и механических примесей (частиц глины, песка и окалины, смолистых продуктов и т.д.) на поверхностях оборудования и труб теплообменников
- Повышается интенсивность коррозии
- Ухудшается теплообмен
- Увеличиваются энергозатраты
- Преждевременный выход из строя аппаратов из-за прогара теплопередающих поверхностей
- Эрозия оборудования

# Очистка растворов гликолей от различных примесей

## В абсорберах

- ❑ Забиваются контактные элементы, в результате чего происходит ухудшение массообмена между фазами, снижается эффективность процессов
- ❑ Одновременно увеличивается перепад давления на установке
- ❑ Забивание механическими примесями сечения контактных устройств приводит к увеличению скорости газа, что, в свою очередь, способствует пенообразованию и уносу гликоля в виде капель
- ❑ К таким же последствиям приводит загрязнение сепарационных элементов абсорбера
- ❑ Накопление примесей в гликолях снижает также их поглотительную способность.

# Очистка растворов гликолей от различных примесей

## Состояние разработок

Несмотря на многочисленные исследования в области очистки растворов гликолей от солей, практически **ни одна** промышленная установка **не была построена и освоена**



Предусмотренная проектами промышленных установок очистка растворов гликолей от механических примесей фильтрацией практически не дает желаемых результатов. Это связано с **быстрым загрязнением фильтров**. Их регенерация связана с большими трудозатратами

Отдельные попытки по очистке растворов гликолей на полупромышленных установках на месторождениях **Туркмении** (ионообменный способ) и **Украины** (выпарка раствора), на **Уренгойском ГКМ** (высаливание с ацетоном), **Ямбургском** (с боковым отводом при температурах 190 °С) **не были доведены до логического завершения**

# Очистка растворов гликолей от различных примесей

## Основные причины не внедрения в промышленности разрабатываемых процессов:

- а) По причине одновременного растворения многих солей в гликоле процессы очистки раствора с использованием ионообменных и химических реагентов по своей технологической схеме более сложны, чем сам процесс регенерации насыщенного раствора гликоля от воды
- б) Существующие методы хозяйствования не стимулировали (и не стимулируют) снижение потерь гликоля из-за его относительно низкой доли в себестоимости добычи газа
- в) Отсутствие типового малогабаритного оборудования для установок очистки раствора гликоля от различных примесей
- г) Не идентифицированы статьи потерь гликоля на промышленных установках; до сих нет подробных исследований по определению составных частей общих

# Очистка растворов гликолей от различных примесей

**Выход**

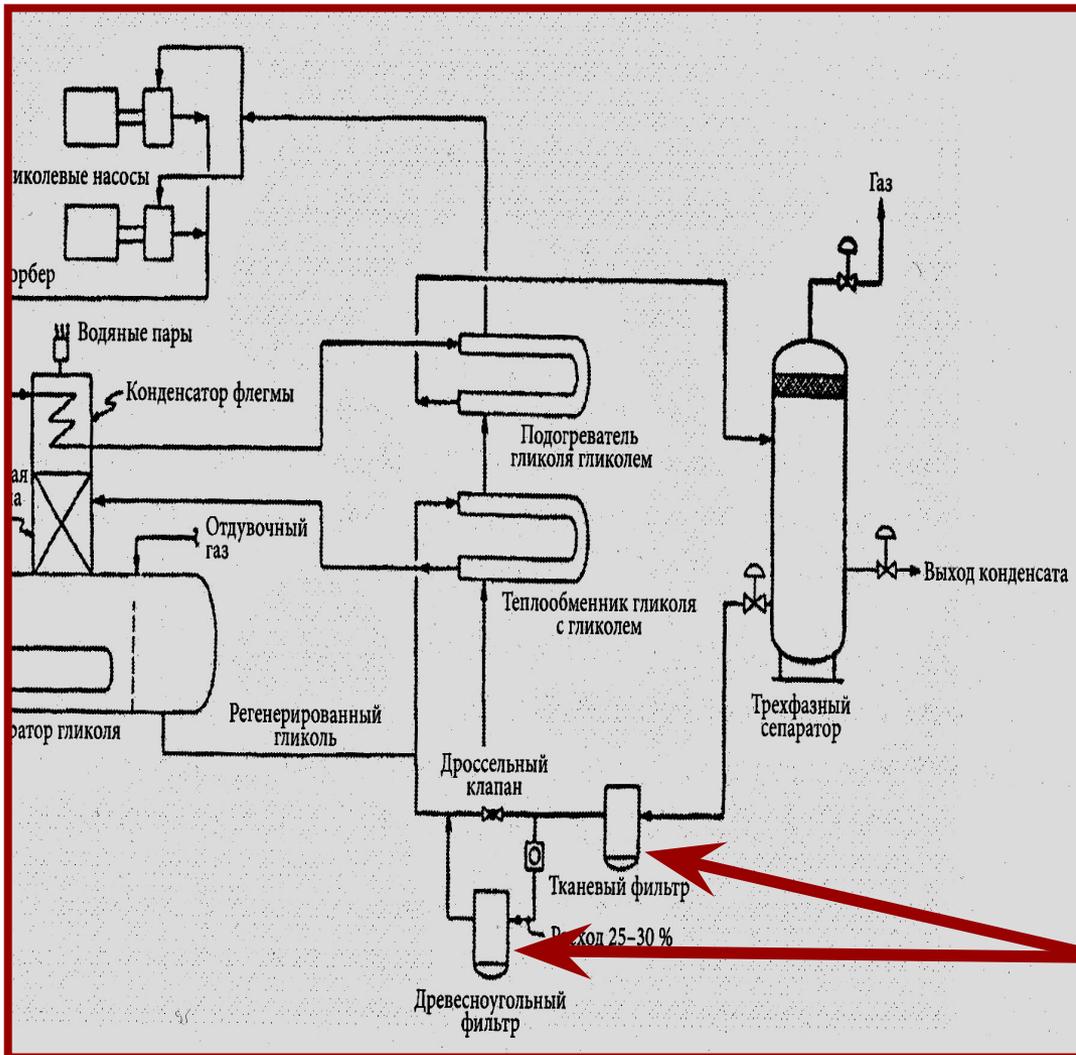


- Технология регенерации насыщенных растворов аминов установок переработки сернистых газов
- Обязательным элементом технологических схем этих установок является наличие в них блока фильтрации раствора для выделения из него продуктов коррозии и разложения
- При этом, учитывая различия свойств примесей в растворе, производится фильтрация раствора в несколько ступеней



Необходимо добиться **аналогичного подхода** и в отношении блоков регенерации насыщенного раствора гликоля установок абсорбционной осушки газа

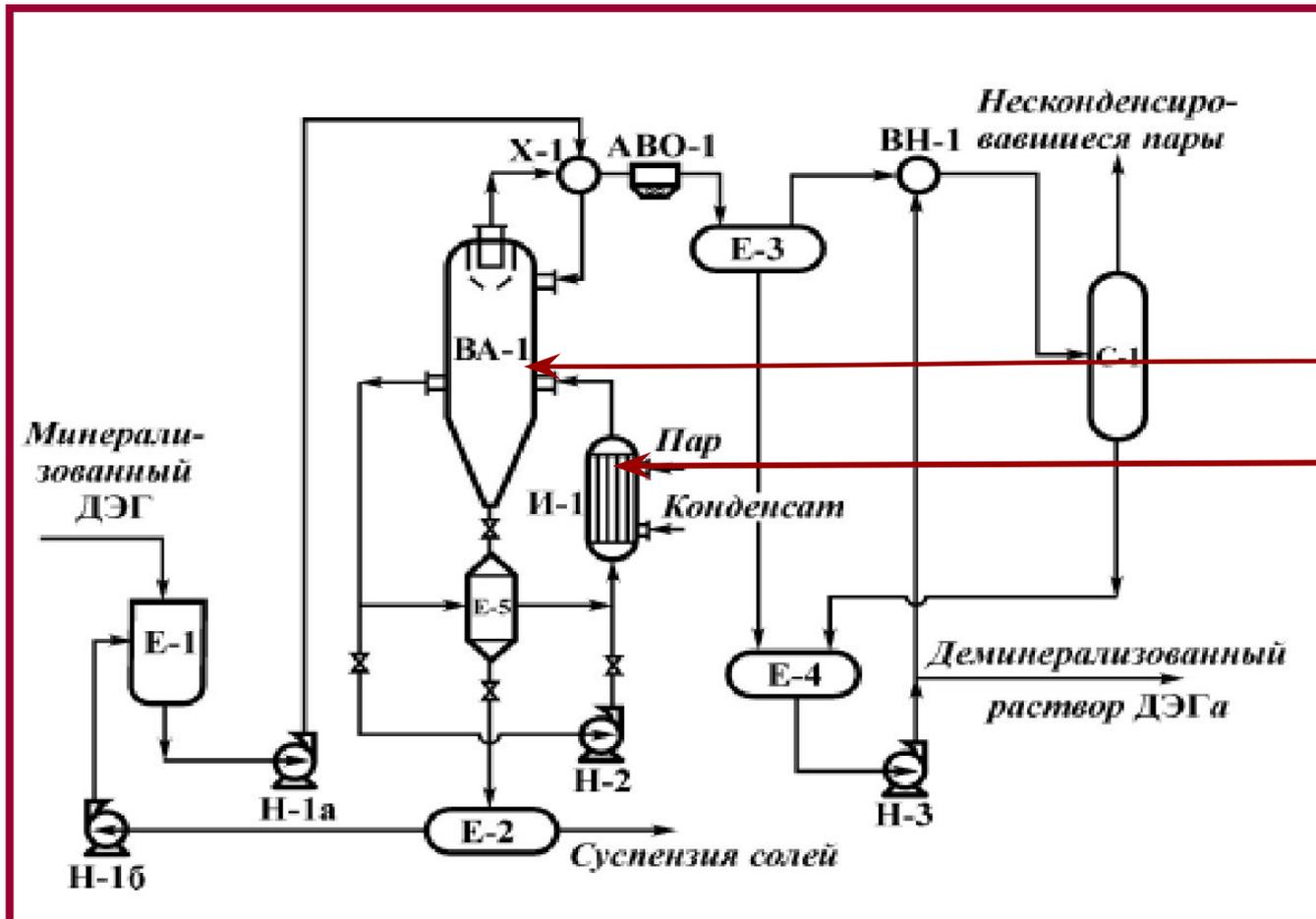
# Очистка растворов гликолей от различных примесей



- **Насыщенный гликоль** из сепаратора проходит через тканевый фильтр, в котором удаляются твёрдые частицы
- **Древесноугольный фильтр** для поглощения небольших количеств углеводородов, которые могут накапливаться в циркулирующем гликоле
- **Тканевые фильтры** обычно проектируются на удаление 5-мкм твёрдых частиц
- На установках с расходом циркулирующего гликоля больше 38 л/мин через древесноугольный фильтр обычно пропускают **только 10-50 % полного расхода гликоля**.
- **Фильтры помогают свести к минимуму вспенивание и образование шлама в десорбере**

# Очистка растворов гликолей от различных примесей

Принципиальная технологическая схема установки очистки раствора гликоля от различных примесей



Использование вакуумного сепаратора и выносного испарителя

Вакуум в системе создается с помощью насоса ВН-1

# ОСУШКА ГАЗОВ АБСОРБЦИЕЙ.

## Преимущества



возможность осушки газов, которые содержат вещества, отравляющие сорбенты

непрерывность процесса

простота автоматической системы управления

осушка газа до точки росы  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$

# Основные недостатки абсорбционной осушки

- Недостаточная глубина десорбции воды, снижающая эффективность абсорбции
- Вспенивание гликоля в абсорбере
- Коррозия оборудования кислотами, образующимися в процессе разложения гликоля
- Потери гликоля с парами воды при десорбции.

# КОРРОЗИЯ АППАРАТУРЫ



Марка стали	Коррозия в паровой фазе	Коррозия в жидкой фазе
Углеродистая	До 2,86*	0,5144*
X5M	0,162*	0,0243**
OX13	0,0232	0,0025
X18H10T	0,038	0,340

\* – язвенная коррозия

\*\* – точечная коррозия

# ПОТЕРИ ГЛИКОЛЯ

Потери гликоля слагаются из следующих составляющих

Испарение осушенным газом в абсорбере

Механический унос осушенным газом в абсорбере

С водным конденсатом десорбера

Термическое разложение в испарителе

Утечки через сальники насосов и в комунникациях

Отбор проб на анализ

С газом дегазации раствора в сепараторе

Промывка циркуляционной системы, ремонт

Аварийные остановки

# ПОТЕРИ ГЛИКОЛЯ

Потери гликоля при осушке газа слагаются из следующих составляющих:

- Испарение осушенным газом в абсорбере (7–8%);
- *Капельный унос осушенным газом* из абсорбера (70–75 %);
- Испарение в дистиллят при десорбции (8–10%);
- Термическое разложение в испарителе (1–2 %);
- Унос с газом дегазации раствора в сепараторе (1–2 %);
- Утечки через сальники насосов и в коммуникациях (0–3%);
- При отборе проб, ремонте, аварийных остановках (0,5–3%).

В эксплуатационных затратах на осушку газа потери гликоля составляют от 40 до 75 %.

# ПОТЕРИ ГЛИКОЛЯ

## Меры для снижения потерь гликолей

Для снижения потерь ДЭГ с сухим газом за счет механического уноса иногда применяются **антивспениватели** (триалкилфосфат, октиловый спирт, силиконы)

- ❑ При огневом подогреве **в системе регенерации необходимо контролировать условия работы топливных форсунок**, чтобы исключить местный перегрев, вызывающий разложение гликолей и повышение кислотности раствора
- ❑ Кислотность следует поддерживать на уровне  $\text{pH} = 7,3$  путем периодической добавки тетрабората натрия, меркаптобензотиазола или МЭА. Повышение  $\text{pH}$  выше 8-8,5 за счет ввода избытка указанных реагентов вызывает вспенивание раствора и повышение потерь

# Хранение и транспортировка гликолей

Длительно хранить гликоли следует при и возможно более низкой температуре во избежание их окисления

ЭГ, ДЭГ и ТЭГ рекомендуется хранить при температуре не ниже  $-4^{\circ}\text{C}$ ,

тетраэтиленгликоль, пропиленгликоль и ди-пропиленгликоль - не ниже  $+2^{\circ}\text{C}$ .

Сроки хранения, согласно действующим стандартам и техническим условиям, для гликолей, не имеющих добавок антиокислителей, установлены в зависимости от сорта или марки, для ЭГа 5-12 мес, ДЭГа 36 мес и ТЭГа - 6 мес.

Емкости для хранения гликолей должны иметь теплоизоляцию и устройство для обогрева, так как гликоли при низких температурах обладают большой вязкостью, что затрудняет их перекачивание.

Эти емкости могут быть изготовлены из обычной стали. При этом **стены емкостей должны быть покрыты лаком** на основе фенольных или винильных смол.

При длительном хранении гликолей емкости рекомендуется изготавливать из нержавеющей стали или алюминия.

Трубопроводы, арматуру и насосы для перекачивания гликолей выполняют из легированной стали или алюминия и его сплавов.

# АППАРАТУРА УСТАНОВОК АБСОРБЦИОННОЙ ОСУШКИ



# Колонное оборудование - Абсорберы

Абсорберы обычно включают в себя три секции:

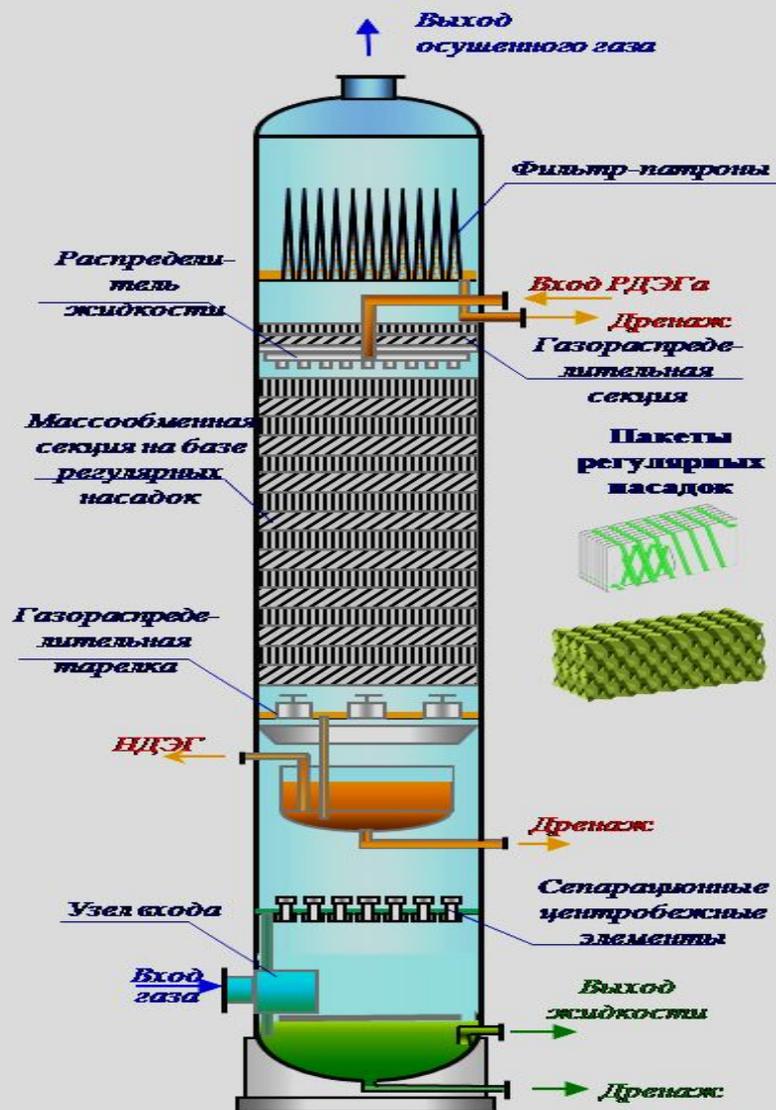
- ❑ **Входную сепарационную с установкой высокоэффективных центробежных элементов,**
- ❑ **Массообменную контактную секцию**
- ❑ **Секцию очистки газа от абсорбента, снабженную также центробежными элементами.**

**Центробежные элементы обладают высокой эффективностью очистки газа, являются быстроръемными, самоочищающимися, сохраняют эффективность в условиях меняющейся производительности.**

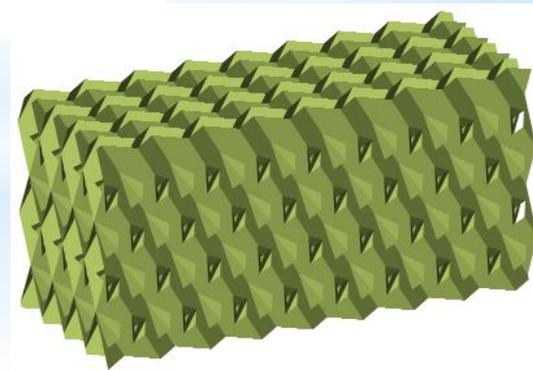
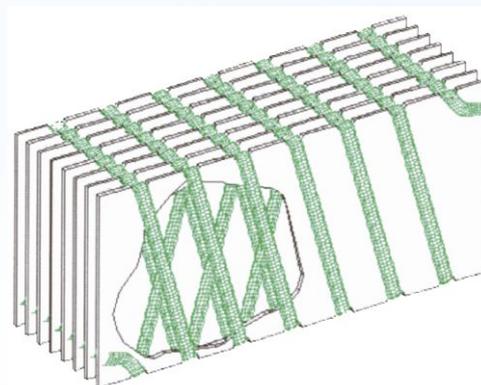
В качестве контактных устройств в абсорберах могут применяться ситчато-клапанные тарелки с переливами

В качестве контактных устройств в десорбере могут использоваться трехслойные провальные тарелки с сеткой

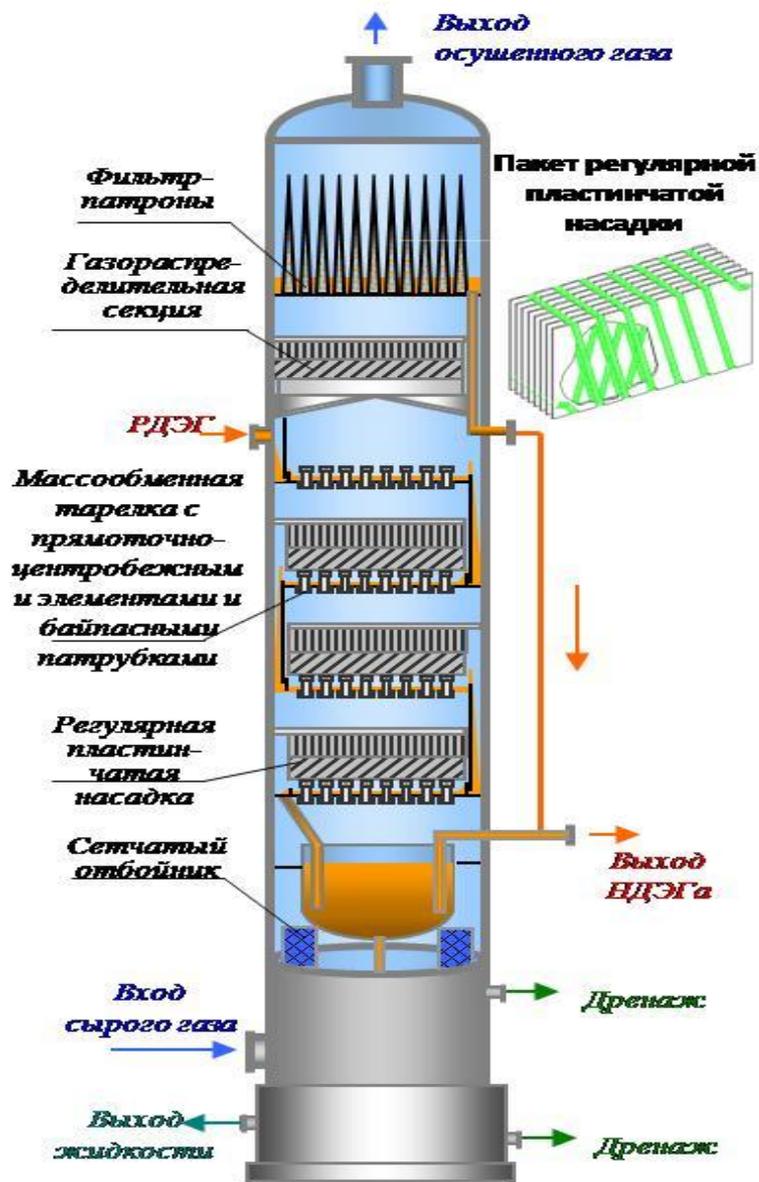
# \* АППАРАТУРА УСТАНОВОК ОСУШКИ



Абсорбер осушки газа с регулярной насадкой



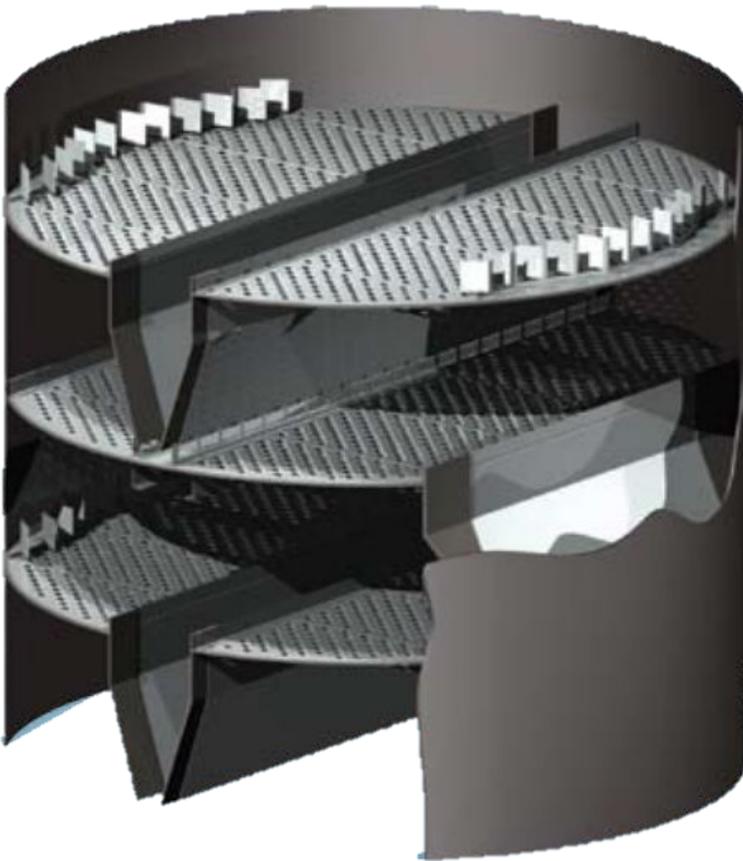
# \* АППАРАТУРА УСТАНОВОК ОСУШКИ



Абсорбер осушки газа  
с комбинированными  
контактными  
устройствами

# Контактные элементы абсорбера

## ТИПЫ ТАРЕЛОК



- Струйные
- Клапанные
- Колпачковые
- Из S-образных элементов
- Провального типа

# \* Контактные элементы абсорбера

- \* Общий коэффициент полезного действия ректификационных тарелок в абсорбере находится в пределах **25–40 %**.

- \* **Наилучшими контактными элементами** гликолевых абсорбентов являются **колпачковые тарелки**, т. к. они устойчиво работают при изменяющейся производительности установки по газу

**Количество тарелок в абсорбере составляет 4–20 штук.**

- \* Насадочные абсорберы имеют узкий диапазон устойчивой работы и **обычно применяются на небольших промышленных установках**, где величина депрессии точки росы, равная 28–34 °С, вполне достаточна

- \* Клапанные тарелки различных конструкций, в которых величина сечения для прохода газа увеличивается с увеличением скорости потока, **имеют высокую по сравнению с колпачковыми тарелками производительность**, но они **малоэффективны при скоростях газа ниже расчетной** из-за провала абсорбента через отверстия под клапаны

# Сепарационное и фильтрационное оборудование

## Фазный разделитель (выветриватель)

- Перед регенерацией насыщенный раствор гликоля направляется в фазный разделитель, где из него отделяются поглощенный углеводородный газ и тяжелые углеводороды.
- Предварительное отделение газов от гликоля снижает количество паров в кодовые и склонность раствора к вспениванию при регенерации.
- Большая часть поглощенного газа при снижении давления до 0,4...0,6 МПа выделяется из гликоля

### В качестве фазного разделителя используется трехфазный сепаратор

Разделение диэтиленгликоля и конденсата в фазном разделителе происходит за счет разности плотностей.

Тяжелая фракция — гликоль отводится из нижней части секции отстаивания, а легкая фракция — конденсат переливается через разделительную перегородку и отводится из накопительной секции аппарата.

Образовавшийся в процессе разделения гликоля и конденсата газ отводится из штуцера, предусмотренного в верхней части аппарата.

Для обеспечения качества разделения фаз время отстоя смеси должно составлять 20...45 мин в зависимости от количества углеводородного конденсата.

# Фильтры

Для предотвращения износа насосов, забивания теплообменников, загрязнения тарелок, а также для исключения отложений на трубах огневого нагрева и вспенивания гликоля доля твердых частиц в гликоле не должна превышать 0,1 % мас.

На фильтрах тонкой очистки удаляются механические примеси размером до 3...5 мкм. Допустимое гидравлическое сопротивление фильтра - до 0,08 МПа, при достижении которого аппарат отключают для замены фильтр-патронов. Частота замены фильтр-патронов определяется в ходе пусконаладочных работ и эксплуатации установки.

Фильтры, заполненные активированным углем, позволяют удалять растворенные примеси, например высококипящие углеводороды, поверхностно-активные вещества, химические реагенты, применявшиеся для обработки скважин, смазочные материалы из компрессоров и продукты термохимического и окислительного разложения гликоля,

# Фильтры

Комбинации фильтров тонкой очистки и угольных могут быть различными в зависимости от количества и природы примесей, состава газа и степени его подготовки.

Для увеличения срока службы активированного угля целесообразно процесс фильтрации осуществлять в две ступени:

сначала в фильтре тонкой очистки очищать раствор гликоля от твердых примесей, а

затем в угольном фильтре доочищать раствор от пенообразующей органики. Фильтр тонкой очистки после фильтра угольной необходим для очистки от угольной пыли.

Замена угля обычно проводится в соответствии с составленным заранее графиком. При увеличении гидравлического сопротивления до 0,08 МПа фильтр отключают для пропарки. Так как на активированном угле адсорбируются в основном смолистые вещества, растворимые в воде, их десорбция проводится паром.

# Теплообменное оборудование

В технологической схеме установки осушки в качестве рекуперативных теплообменников рекомендуется использовать пластинчатые теплообменные аппараты производства ведущих компаний — Alfa Laval, Швеция, GEA, Германия, VANTERUS, Финляндия и отечественных производителей. Возможно использование и кожухотрубчатых аппаратов.



отсутствует  
непосредственный  
Теплообменники

контакт  
поверхностные  
теплоносители,

а  
передача

тепла  
происходит  
через  
твёрдую  
стенку

теплоносители  
смесительные

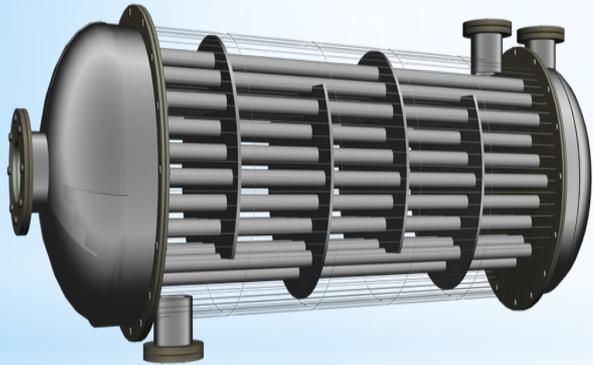
контактируют

непосредственно



# РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

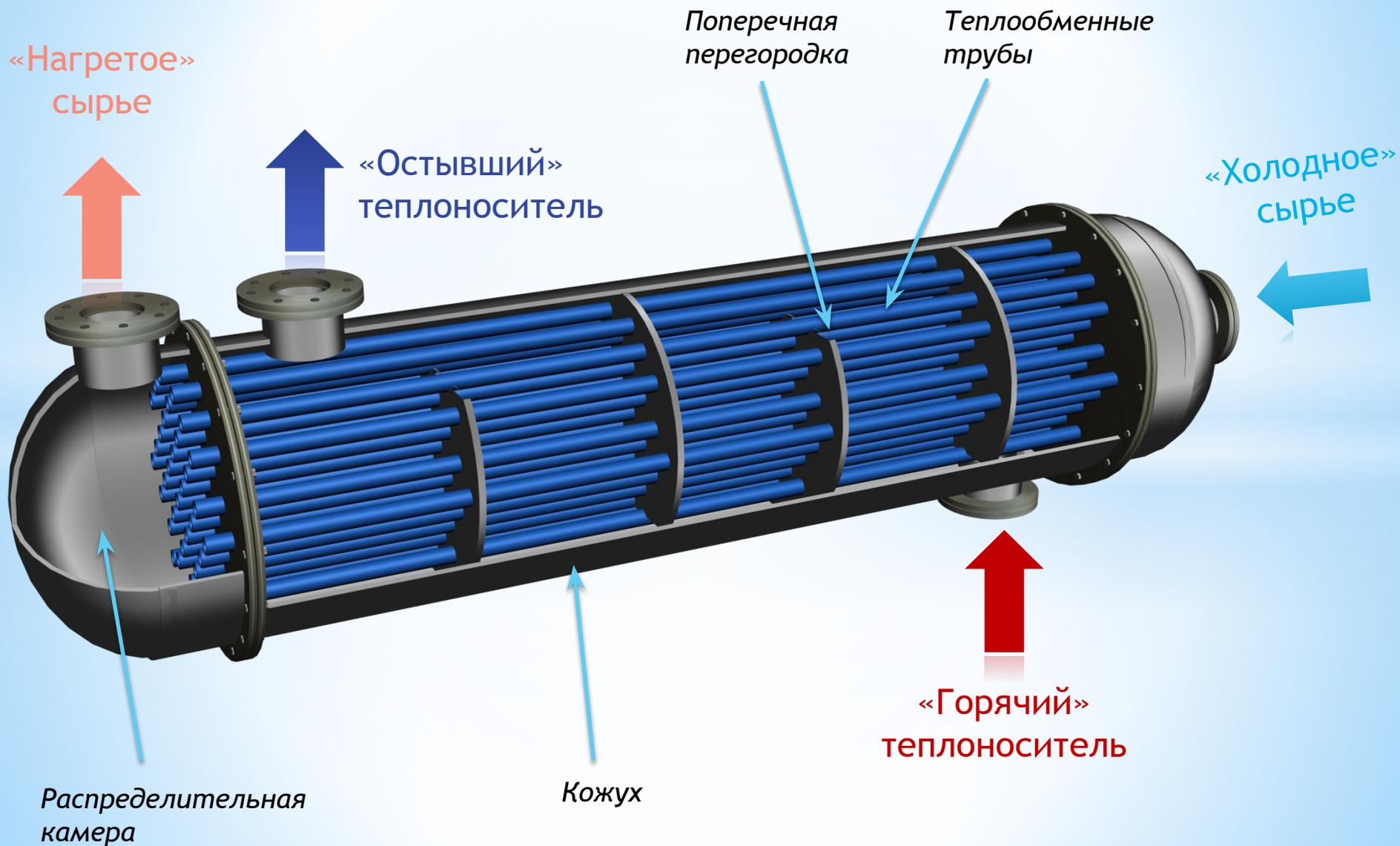
Рекуперативный теплообменник — теплообменник, в котором горячий и холодный теплоносители движутся в разных каналах, в стенке между которыми происходит теплообмен.



- Кожухотрубные теплообменники
- Двухтрубные теплообменники типа "труба в трубе"
- Погружные теплообменники
- Оросительные теплообменники
- Ребристые теплообменники
- Оребренные пластинчатые теплообменники
- Спиральные теплообменники



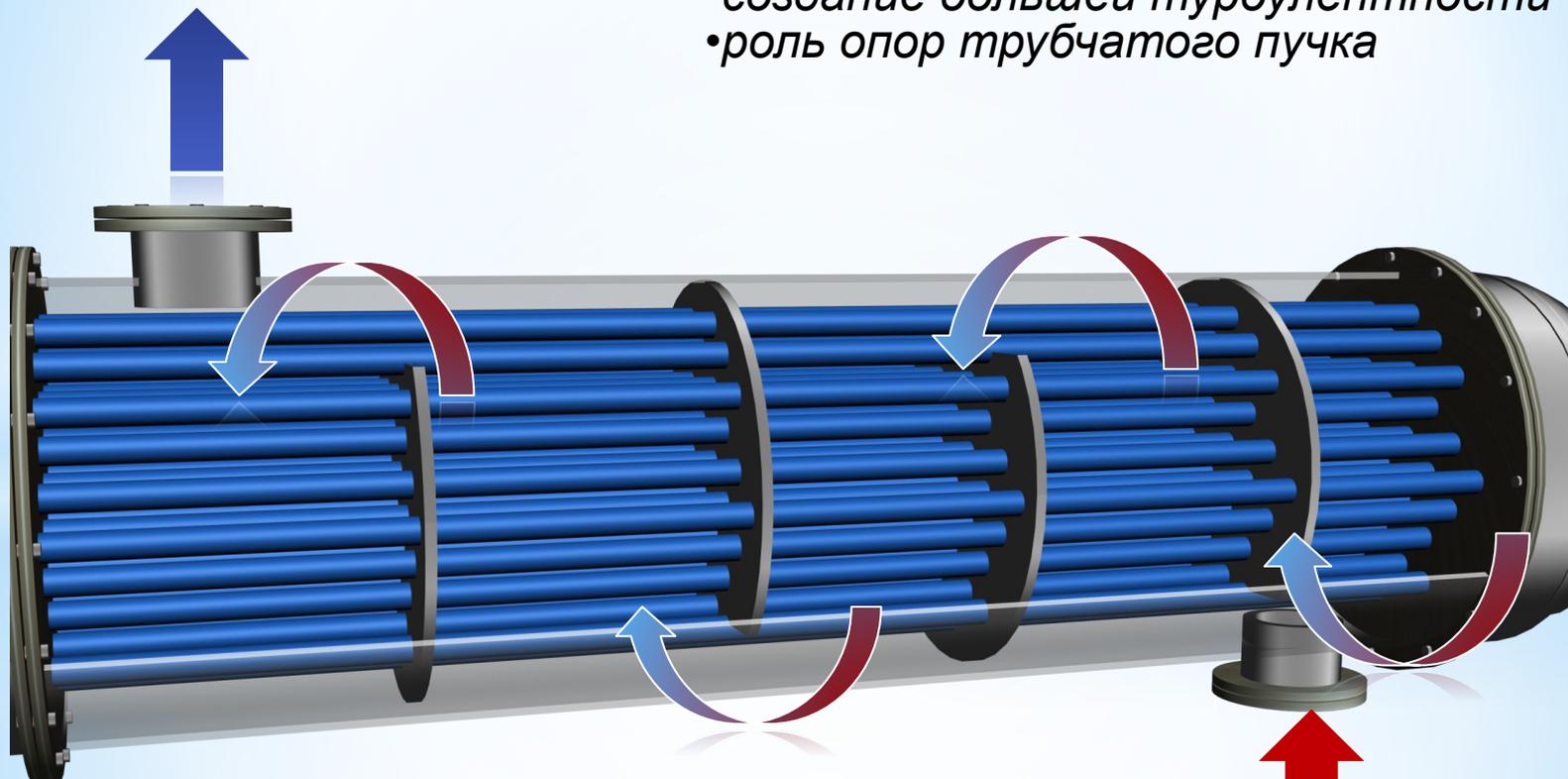
# УСТРОЙСТВО КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА



# УСТРОЙСТВО КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

«Остывший»  
теплоноситель

- Назначение поперечных перегородок:
  - повышение скорости движения потоков
  - создание большей турбулентности
  - роль опор трубчатого пучка



«Горячий»  
теплоноситель

# СПОСОБЫ ПОДВОДА ТЕПЛА В НИЖНЮЮ ЧАСТЬ КОЛОННЫ

Чтобы создать поток паров, в нижнюю часть колонны необходимо подводить тепло. При этом часть флегмы испаряется и создается необходимый для ректификации поток паров.

- Вследствие недостаточного объема нижней части ректификационных колонн тепло обычно подводят в специальные выносные аппараты:
  - подогреватели с паровым пространством
  - теплообменники
  - трубчатые печи

# Способы нагрева гликоля

По способу подвода теплоты к регенерированному гликолю, конструктивным особенностям и времени пребывания его в горячей зоне (эти характеристики взаимосвязаны) все установки регенерации можно разделить на две основные группы:

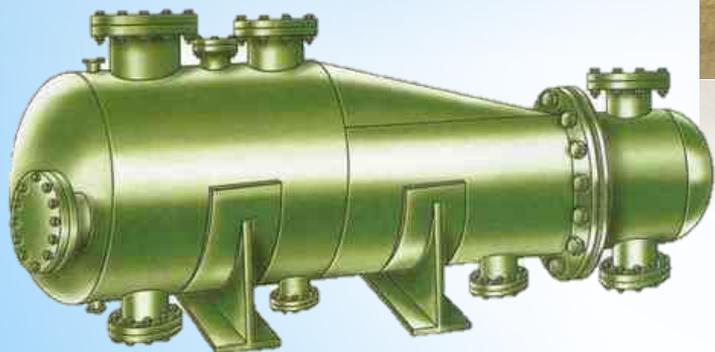
## 1. Паровая, огневая жаротрубная, с тепловыми патрубками и с промежуточными теплоносителями регенерации.

Теплота в регенерируемый гликоль подводится посредством теплообмена с внешним теплоносителем (дымовые газы, водяной пар, промежуточный теплоноситель), причем гликоль находится в кубе колонны регенерации практически в статическом состоянии (движение жидкости относительно теплопередающей поверхности осуществляется в основном за счет естественной конвекции)

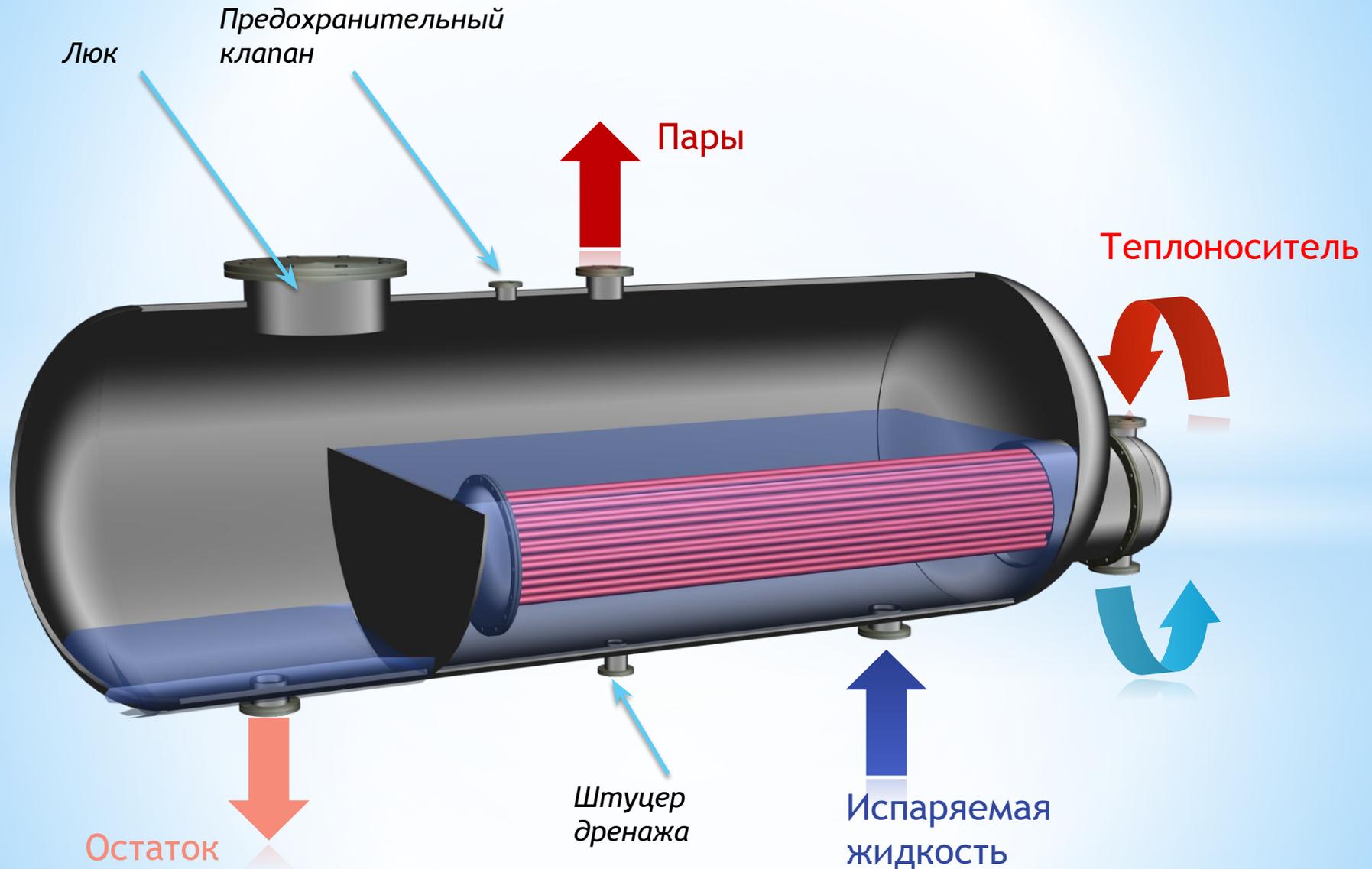
- Заметный локальный перегрев гликоля;
- Время пребывания гликоля в кубе колонны не ограничивается;
- Куб колонны регенерации из-за длительного времени пребывания и низких скоростей движения гликоля относительно теплопередающей поверхности работает практически как отстойник, где выпадают соли, механические примеси, продукты деструкции гликоля и углеводородов. Поэтому для обеспечения нормальной работы регенераторов данной группы требуется тщательная очистка гликоля
- Даже при «мягком режиме» нагрева (паровая регенерация), имеют место деструкция гликоля и коррозия элементов системы, работающей при высоких температурах

# Испаритель с паровым пространством (рибойлер)

Рибойлеры это теплообменники, расположенные вблизи днища колонны регенерации (или дистилляции), предназначенные для выпаривания части физических или химических растворов с помощью пара. Выпаренный раствор представляет паровое орошение. Рибойлеры Кетла это трубчатые горизонтальные теплообменники, которые имеют обширную паровую камеру, позволяющую разделить произведенный пар и жидкость.



# Испаритель с паровым пространством (рибойлер)



# Способы нагрева гликоля

## **2 С использованием различных модификаций трубчатых печей.**

**Здесь осуществляется принудительное движение регенерируемого гликоля по трубкам через печь, где к нему и подводится теплота, т. е. имеет место принудительное движение относительно теплопередающей поверхности**

**Включает в себя установки с трубчатыми печами двух видов:**

- с испарением воды в печи (с образованием двухфазной смеси в зоне нагрева);**
- с жидкофазным (однофазным) нагревом гликоля в печи с испарением воды в кубе колонны.**

# Способы нагрева гликоля

В печах с испарением воды на начальных участках змеевиков из-за низких скоростей происходит отложение солей, на выходе имеет место перегрев гликоля, образуются газожидкостные пробки, что и приводит в итоге к разрушению конечных участков змеевика в результате эрозии и прогаров трубок.

Для улучшения работы установок регенерации гликоля с использованием трубчатых печей необходимо:

- использовать режим жидкофазного (однофазного) нагрева гликоля;
- поддерживать оптимальные скорости гликоля в трубках для предотвращения отложений на теплопередающей поверхности и минимизации его температуры на внутренней стенке;
- применять змеевики витой конструкции, что улучшает теплообмен внутри него за счет более равномерного распределения поверхностной плотности теплового потока по длине змеевика и обеспечивает полное опорожнение трубок при остановках.

# ТРУБЧАТЫЕ ПЕЧИ



При подводе тепла в низ колонны трубчатой печью часть кубового продукта прокачивается через трубчатую печь, и подогретая парожидкостная смесь (горячая струя) вновь поступает в низ колонны. Этот способ применяют при необходимости обеспечения сравнительно высокой температуры низа колонны, когда применение обычных теплоносителей (водяной пар и др.) невозможно или нецелесообразно (например, в колоннах отбензинивания нефти).



В колоннах отбензинивания нефти  
возможно применение

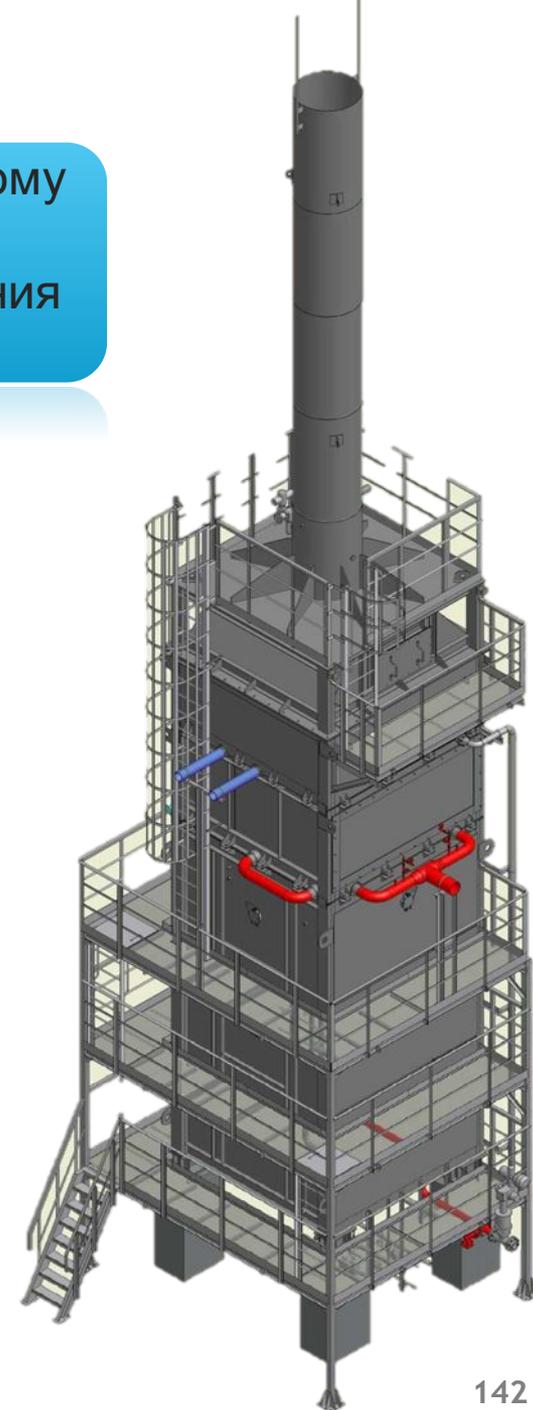


# ТРУБЧАТЫЕ ПЕЧИ

Тепловая энергия, подводимая в печи к обрабатываемому материалу, получается за счет сжигания соответствующего топлива или за счет преобразования электрической энергии в тепловую.



При этом часть тепловой энергии расходуется непосредственно на проведение технологического процесса (на нагрев обрабатываемого материала, на его физико-химическое преобразование), а часть затрачивается на компенсацию тепловых потерь (тепло отходящих газов и продуктов, тепло, теряемое через футеровку).



# Разновидности трубчатых печей

коробчатыми с  
горизонтальными радиантным  
и конвективным змеевиками:



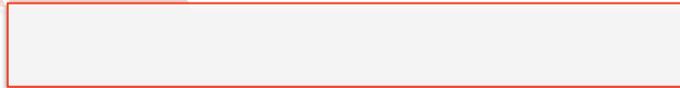
коробчатыми с вертикальным  
радиантным и горизонтальным  
конвективным змеевиком:



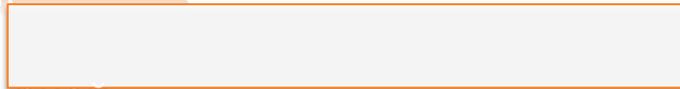
вертикальным радиантным и  
горизонтальным конвективным



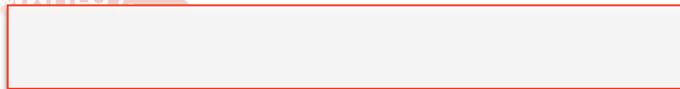
вертикальным радиантным и  
вертикальным конвективным  
змеевиком (с кольцевой



коробчатыми или  
цилиндрическими с витым  
радиантным змеевиком:



коробчатыми с коллекторной  
системой змеевиков  
(например, печь риформинга)



# Конструкция печей

Конструктивно трубчатые печи состоят из

- камеры радиации,
- камеры конвекции, продуктового змеевика,
- газосборника
- дымовой трубы или газохода.

Трубчатые печи снабжены горелками. Для обслуживания трубчатых печей

предусматриваются лестницы и площадки, стремянки, выхлопные окна, гляделки, двери,

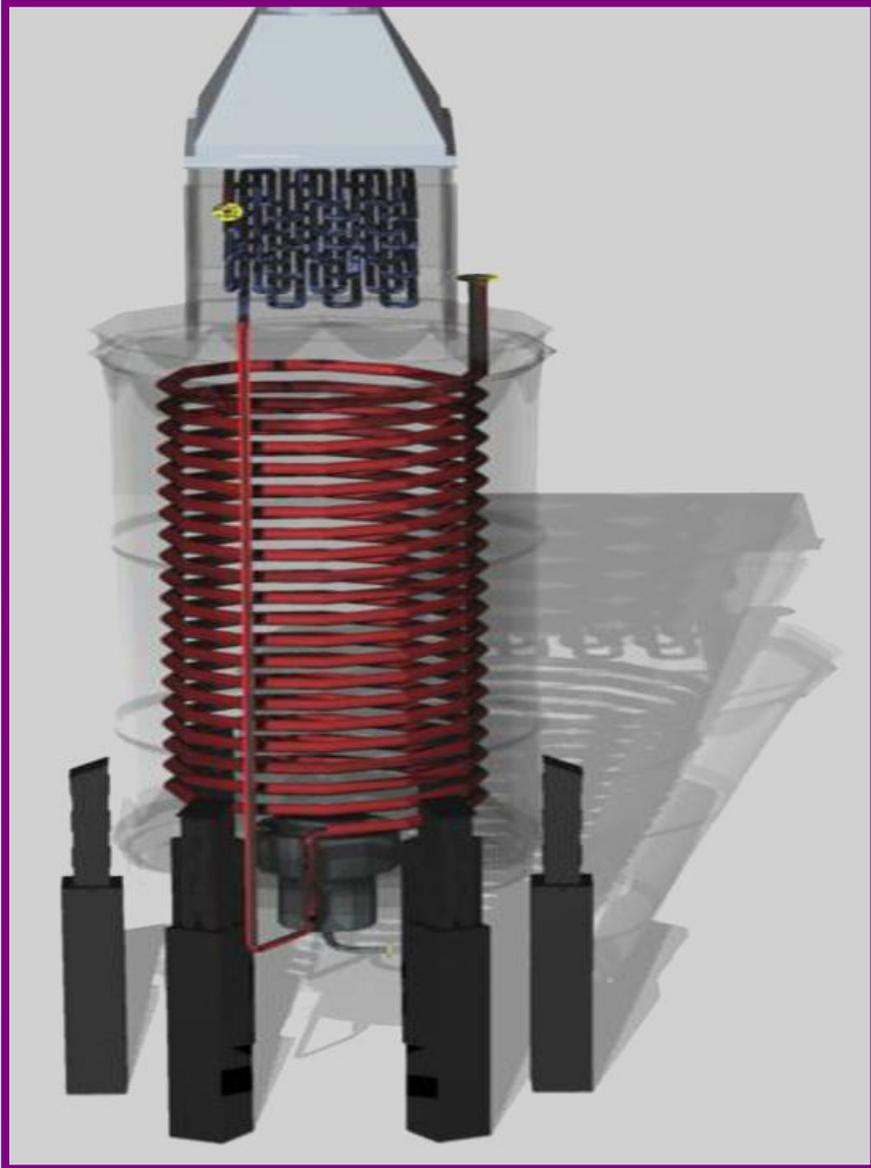
Для футеровки внутренней поверхности печи применяются легковесные бетоны и

волокнистые муллитокремнеземистые материалы. Для повышения КПД печей предусматривается

изготовление печей с оребренными трубами в конвективной части печи, а так же оборудование печей системой утилизации тепла.



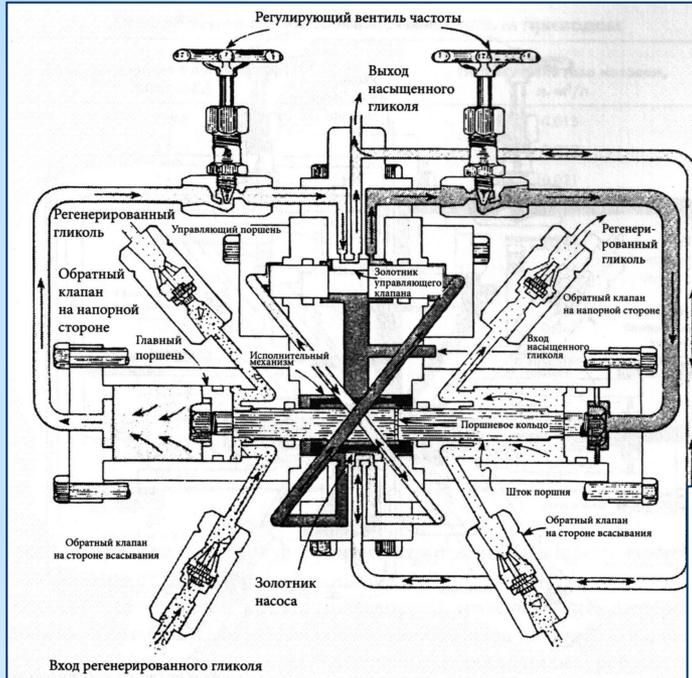
# Трубчатые печи



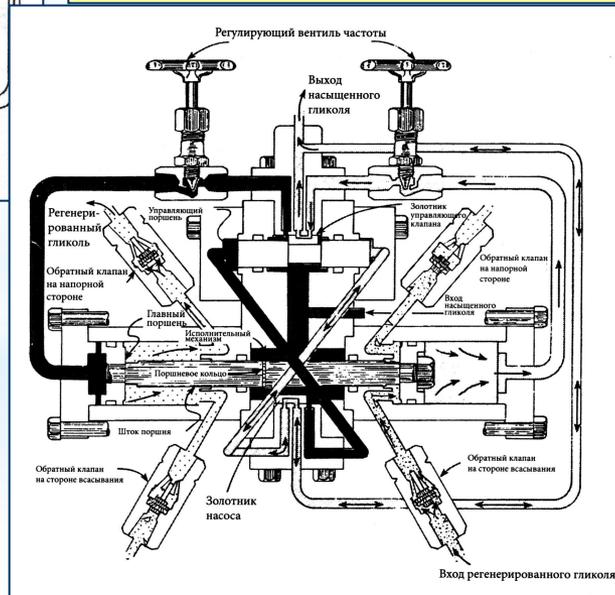
## Вертикально-цилиндрическая трубчатая печь с витым радиационным змеевиком

Реконструкции существующих и проектировании новых объектов промышленной подготовки газа рекомендуется применять установки регенерации с трубчатыми печами. Именно этот тип оборудования наиболее пригоден и для перевода системы на режим повышенных температур регенерации. При жидкофазном нагреве гликоля (без испарения) в трубчатой печи изменение температуры и давления носит линейный характер (поэтому максимальная температура гликоля будет достигнута на конечном участке за небольшой интервал времени), а за счет повышения скорости гликоля в змеевике температура стенки со стороны продукта будет превышать температуру осушителя не более чем на 10...15 °С.

# \* Насосы с гликолевым приводом



- Недороги
- Легко ремонтировать в условиях промьсла.
- Имеют много движущихся деталей, и в связи с их постукивающим возвратно-поступательным движением требуют к себе постоянного внимания.
- Всегда следует иметь один насос в резерве.



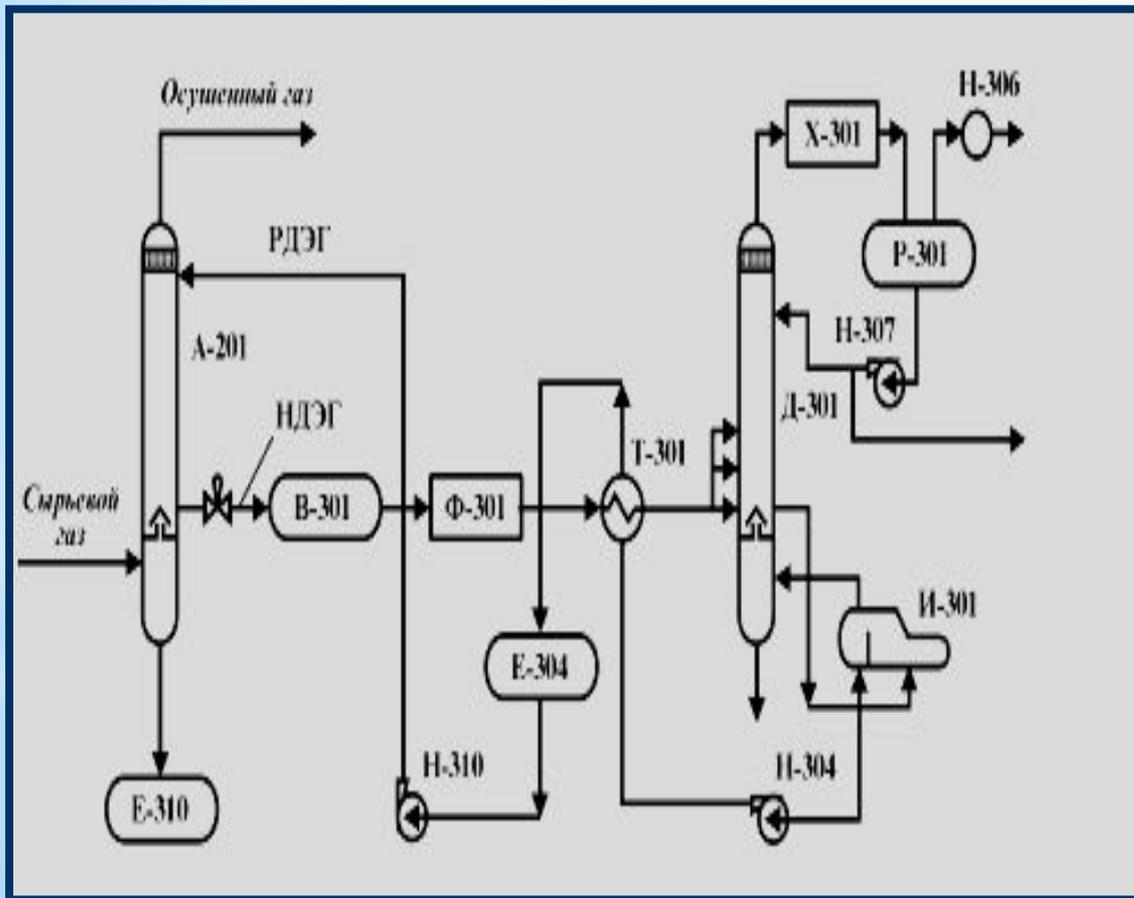
Гидравлическая энергия насыщенного гликоля используется для перекачки в контактор регенерированного (тощего) гликоля

# УСТАНОВКИ АБСОРБЦИОННОЙ ОСУШКИ ГАЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

- Наиболее крупные установки абсорбционной осушки газа эксплуатируются на месторождениях Медвежье, Уренгой и Ямбург.
- Принципиальные технологические схемы установок осушки газа Уренгойского и Медвежьего месторождений близки, их отличие касается аппаратного оформления. На этих установках в блоках регенерации теплоносителем служит водяной пар.

# \* Принципиальная технологическая схема установки осушки газа Уренгойского месторождения

Состоят из двух блоков:  
осушки и регенерации  
насыщенного раствора  
гликоля



**Блоки осушки газа**  
включают в себя  
абсорберы и сепараторы.  
Абсорберы включают в  
себя сепарационные  
секции, что обеспечивает  
компактность УКПГ.  
**Блоки регенерации**  
включают в себя  
дегазатор, десорбер,  
рефлюксную емкость,  
систему вакууммирования  
и т.д.



# \* Принципиальная технологическая схема установки осушки Ямбургского месторождения

## Строение абсорберов

**Входная сепарационная секция** состоит из тангенциальной перегородки с сетчатым отбойником и тарелок с центробежными сепарационными элементами ГПР 353 (11 5 шт.).

**Массообменная секция** включает четыре сетчатые контактные тарелки, между которыми установлены тарелки с центробежными сепарационными элементами ГПР 202 (по 204 элемента на каждой). Сепарационные тарелки снабжены центробежными элементами ГПР 353 (105 шт.). Массообменная секция от входной сепарационной секции отделена полуглухой тарелкой

**Фильтрующая секция** состоит из тарелки с фильтр- патронами (120 шт.) и тарелки с центробежными сепарационными элементами ГПР 353 (92 шт.).

# \* Принципиальная технологическая схема установки осушки Ямбургского месторождения

## Охлаждение газа

24 аппарата воздушного охлаждения

9 блочных турбодетандерных агрегатов (БТДА)

В зимний период необходимая температура газа достигается за счет использования АВО.

В летний период для охлаждения газа используются АВО и турбодетандерные агрегаты марки

## Регенерация ДЭГа

производится с применением огневых подогревателей

Подогрев гликоля осуществляется в трубчатых печах

## Очистка ДЭГа

Производится в блоке гидроциклонов-фильтров. Происходит за счет отделения механических примесей в центробежном поле с последующей фильтрацией гликоля через слой фильтрующей насадки.

Очищенный НДЭГ поступает в емкость сбора и далее насосом подается на регенерацию.

Мехпримеси накапливаются в бункере в нижней части аппарата, сбрасываются в емкость сбора и далее поступают на горизонтальную факельную установку





**Установка гликолевой осушки на о. Сахалин, НК «Роснефть»**



# ОСУШКА ГАЗА АДСОРБЦИЕЙ



# \* АДСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА

## Адсорбционные процессы применяют

- Для подготовки “тощих” газов к транспортированию
- Для глубокой осушки газа, т.е. перед подачей газа на низкотемпературную переработку газа, например, на установках получения гелия.

- \* Широко применяют при осушке сжиженных газов, используемых в качестве моторного топлива или хладагента

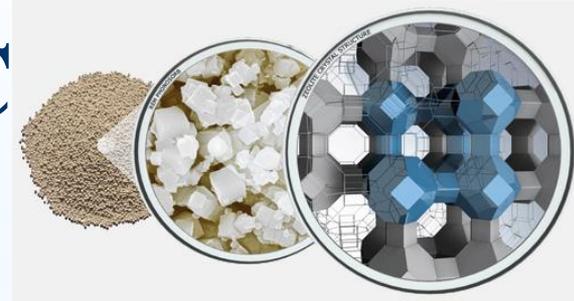
# АДСОРБЦИОННАЯ

ЭС

## Сущность адсорбционной осушки

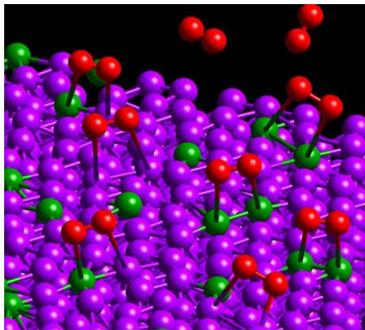
состоит в

- Избирательном **поглощении** поверхностью пор твердого адсорбента молекул воды
- С последующим **извлечением** их из пор внешними воздействиями (повышением температуры адсорбента или снижением давления среды).



Осушка газа  
твердыми  
осушителями  
осуществляется в  
аппаратах  
периодического  
действия с  
неподвижным  
слоем осушителя

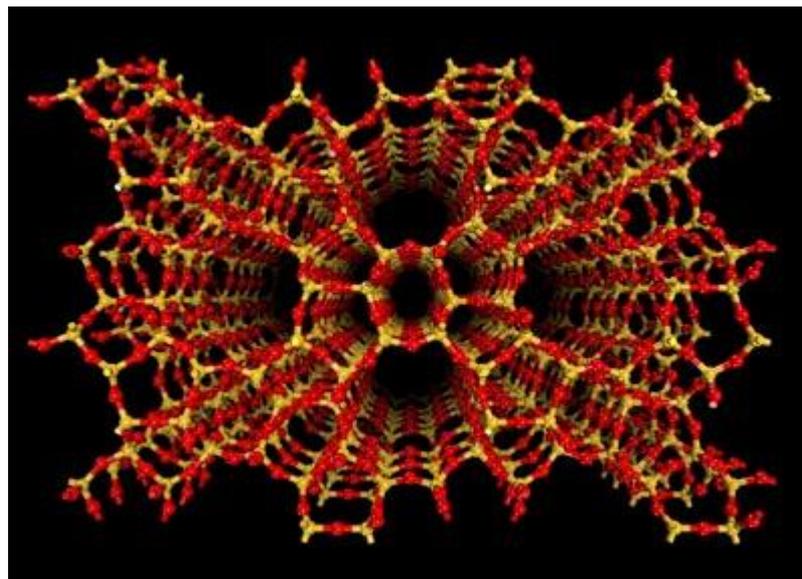
# ПРОЦЕСС АДСОРБЦИИ



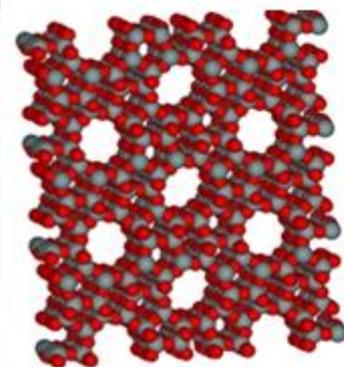
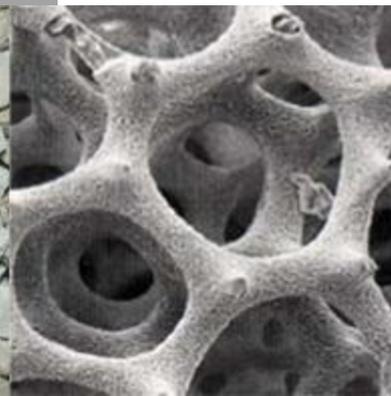
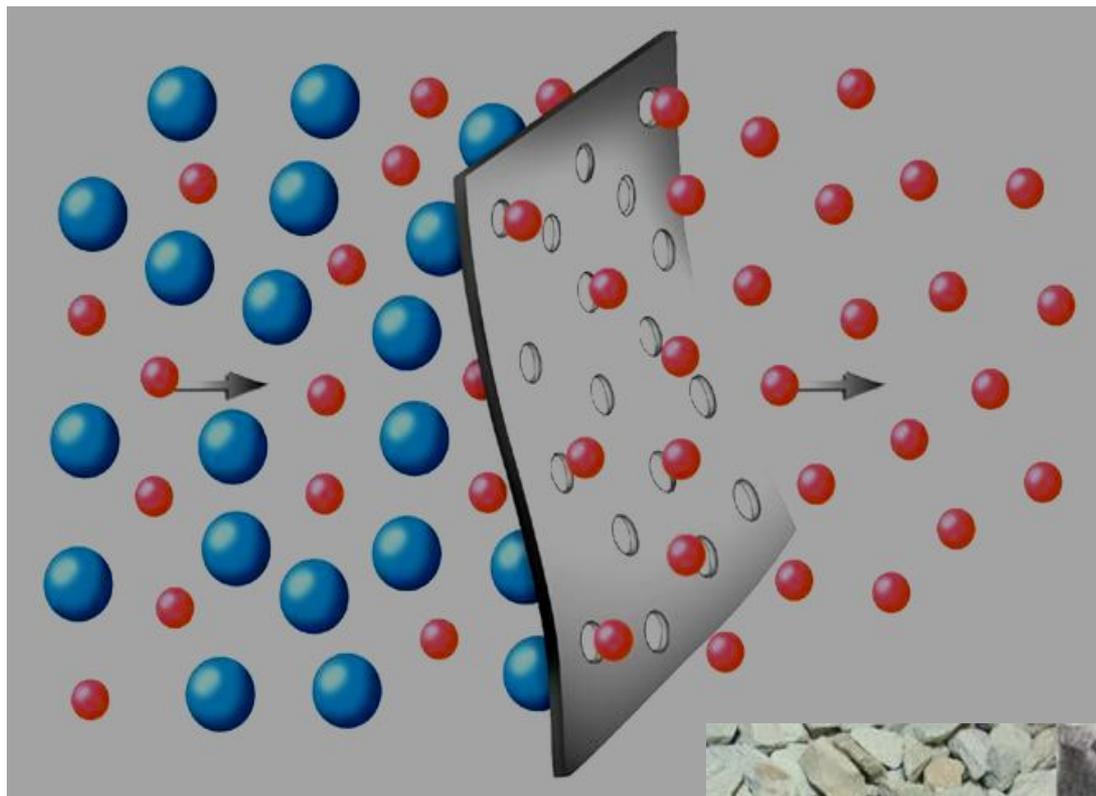
Адсорбция – это процесс концентрирования вещества на поверхности или в порах твердого тела адсорбента

❖ **Возможность поглощения обуславливается соответствием размеров пор адсорбента с размерами молекул адсорбата;**

❖ **Молекулы адсорбата, размер которых превышает размер пор адсорбента, поглощаться порами не будут**



# АДСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА

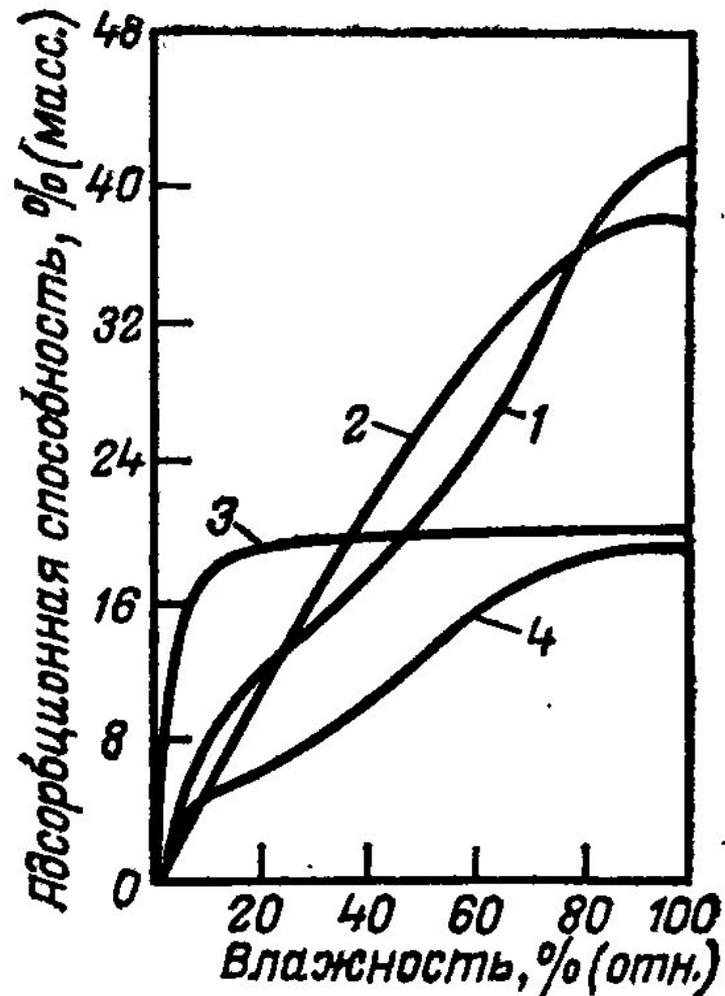


# СВОЙСТВА АДСОРБЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

-осушители, применяемые в промышленных установках должны обладать следующими свойствами:

- высокой поглотительной способностью, зависящей от величины поверхности и объема пор;
- высокой емкостью поглощения влаги, зависящей от размера пор;
- простотой и скоростью регенерации;
- механической прочностью — не разрушаться под действием массы слоя;
- устойчивостью к истираемости — не измельчаться от движения газа в слое адсорбента;
- стабильностью упомянутых показателей при многоцикловой работе.

# ИЗОТЕРМЫ АДсорбЦИИ ВОДЫ РАЗНЫМИ АДсорБЕНТАМИ ПРИ 25<sup>o</sup>C



1 –  
алюмогель



2 –  
силикагель



3 –  
цеолит



4 – активный  
оксид  
алюминия

# ОСУШКА СИЛИКАГЕЛЯМИ

**Силикагели** - продукты обезвоживания **геля кремниевой кислоты**, промытые от примесей, высушенные и прокаленные при определенных температурах



- ❑ В зависимости от использованного для производства сырья содержат некоторое количество **окислов алюминия, железа, кальция и других металлов**
- ❑ Технический силикагель содержит около **99,5 %  $\text{SiO}_2$** .
- ❑ Силикагелевые адсорбенты изготавливаются в виде зерен **размерами 0,2-7,0 мм**

# ОСУШКА СИЛИКАГЕЛЯМИ

- Силикагель имеет пористую структуру и сильно развитую внутреннюю поверхность
- Внешне представляет собой **стекловидные или матовые овальные или сферические зерна**



**Силикагели не рекомендуется использовать для осушки газов, в состав которых входят**

- **Непредельные углеводороды.** Они так же, как и масла, гликоли и амины, легко сорбируются силикагелем и при регенерации его, частично разлагаясь, образуют смолы, закупоривающие поры, что снижает влагоемкость адсорбентов.
- **Бутаны и высшие углеводороды** сорбируются силикагелем, а при регенерации не полностью десорбируются, что также приводит к снижению влагоемкости адсорбентов.

**Метанол сорбируется приблизительно в том же количестве, что и вода, и легко удаляется при десорбции.**

# ОСУШКА СИЛИКАГЕЛЯМИ

- Отечественная промышленность выпускает два сорта силикагеля: **мелкопористый и крупнопористый.**
- В зависимости от размера зерен из каждого сорта изготавливают силикагели нескольких марок



## Основные преимущества силикагелей:

- Низкая температура, требуемая для регенерации (до 200 °С)
- Более низкие энергозатраты, чем при регенерации других промышленных минеральных сорбентов (окись алюминия, цеолиты)
- Относительно низкая себестоимость при крупнотоннажных процессах

# Характеристика силикагеля фирмы BASF

Показатели	Марка А	Марка В
Объем пор, см <sup>3</sup> /г	0,4	0,8
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	710	(3-3,5) 10
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	1047	1047
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,2	0,2
Плотность, кг/м <sup>3</sup> :		
насыпная	700-750	440-470
кажущаяся	1200	800
действительная	2200	2200
Зернистость, мм	3-6 (95 %)	
Потери, % в том числе:		
от нагрева при 200 °С	1,0	1,0
от обжига при 300 °С	5-6	4,0

# АДСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА

- Для уменьшения сопротивления движению газа адсорбенты изготавливают **в виде шариков или гранул**

- Для регенерации осушителя используют **нагретый газ**

- Иногда применяют комбинацию двух осушителей в одном аппарате, например, силикагеля и активированного оксида алюминия, что позволяет сочетать высокую поглотительную способность силикагеля с высокой степенью осушки газа оксидом алюминия

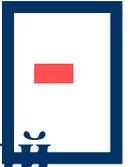
**Полный цикл** процесса осушки состоит из стадий

- Адсорбции
- Регенерации
- Охлаждения адсорбента

# АДСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА

- ◆ Для осушки газа на промышленных установках наиболее эффективно применение мелкопористого **силикагеля марки КСМ**
- ◆ Обладает наибольшей адсорбционной емкостью по сравнению с другими марками силикагеля
- ◆ Имеет более высокую механическую прочность как от истирания, так и от раздавливания.

Мелкопористый силикагель **быстро измельчается** при наличии в газе капельной влаги.



Предусматривают защиту слоя мелкопористого силикагеля слоем инертного к капельной влаге адсорбента

# АДСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА

## Адсорбированные углеводороды

Адсорбированные углеводороды, начиная с бутанов, **легко сорбируются силикагелем**, но их частично вытесняет вода

Легкие углеводороды (до бутанов) **полностью выделяются** при регенерации силикагеля и не влияют на адсорбционную способность силикагеля в последующих циклах

- Десорбция влаги из силикагеля **заканчивается к 150—160 °С**,
- Присутствие тяжелых углеводородов требует более высокой температуры нагрева слоя сорбента.
- Тяжелые углеводороды **C<sub>5</sub> и выше** более прочно удерживаются силикагелем и при регенерации **удаляются не полностью**.
- **Нагрев силикагеля выше 220 °С** ведет к **деструктивным изменениям** поверхности силикагеля, что снижает его адсорбционную емкость
- **Нагрев выше 250 °С** ведет к резкому падению активности силикагеля

# АДСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА

## Адсорбированные углеводороды

- Неполная десорбция тяжелых углеводородов,
- Постепенное измельчение гранул силикагеля
- и другие неблагоприятные факторы приводят к



постоянному снижению адсорбционной активности

- В **начальный период** загрузки силикагель имеет высокую активность **15—20 %** вес. В этот период адсорберы можно эксплуатировать в более длительном цикле, если ставится задача извлечения только воды из газа, при этом поглощаемая вода постепенно вытесняет из слоя другие сорбированные компоненты, например, метанол и углеводороды, облегчая условия последующей регенерации силикагеля.
- В процессе эксплуатации активность сорбента понижается и **к концу эксплуатационного срока** ее можно принять, равной **7 %** мас. (по практическим данным).

# АДСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА

Скорость газа

Повышение скорости газа



Динамическая **активность сорбента падает**

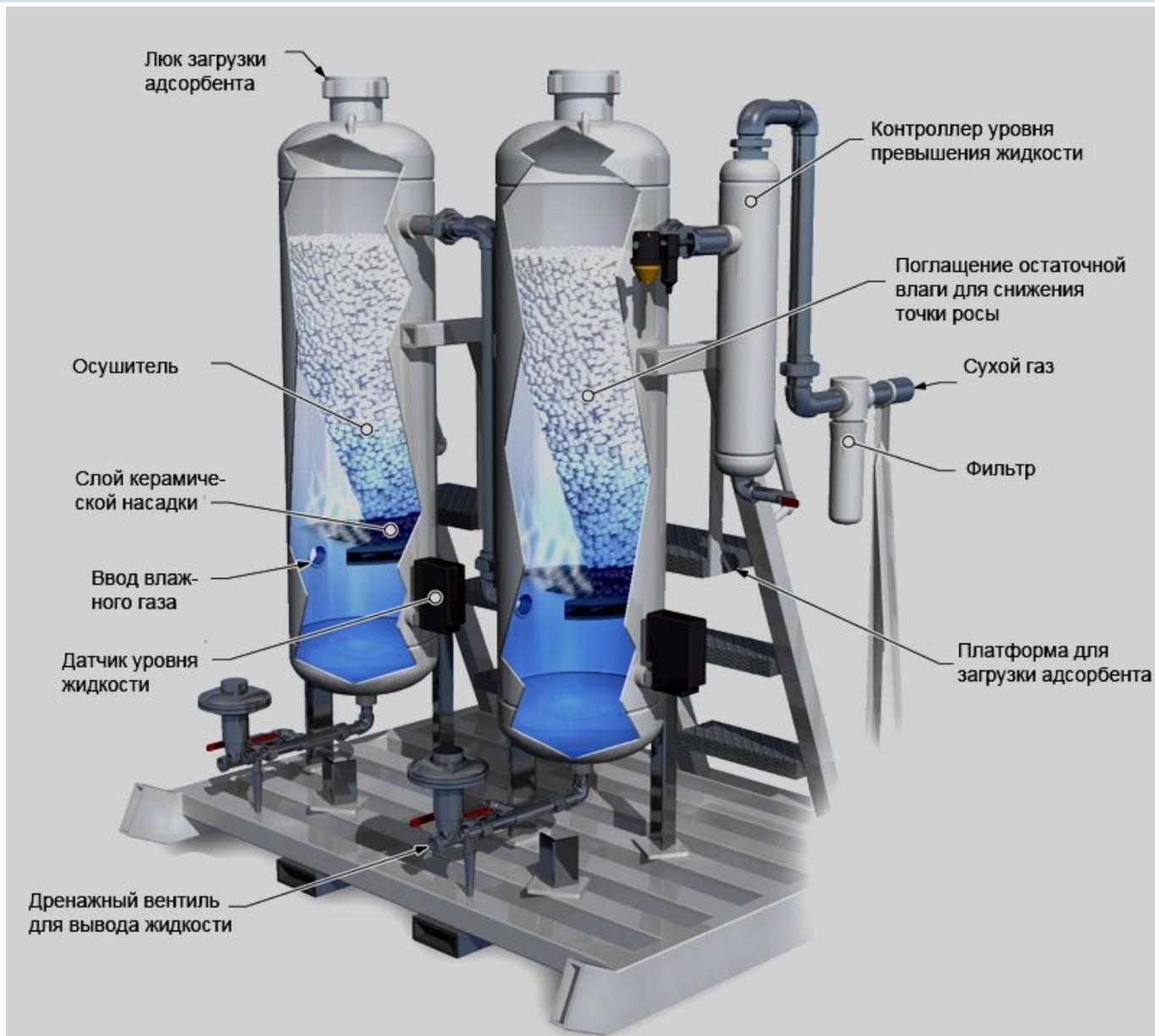


В эксплуатационных условиях, это **отрицательно** сказывается на глубине осушки

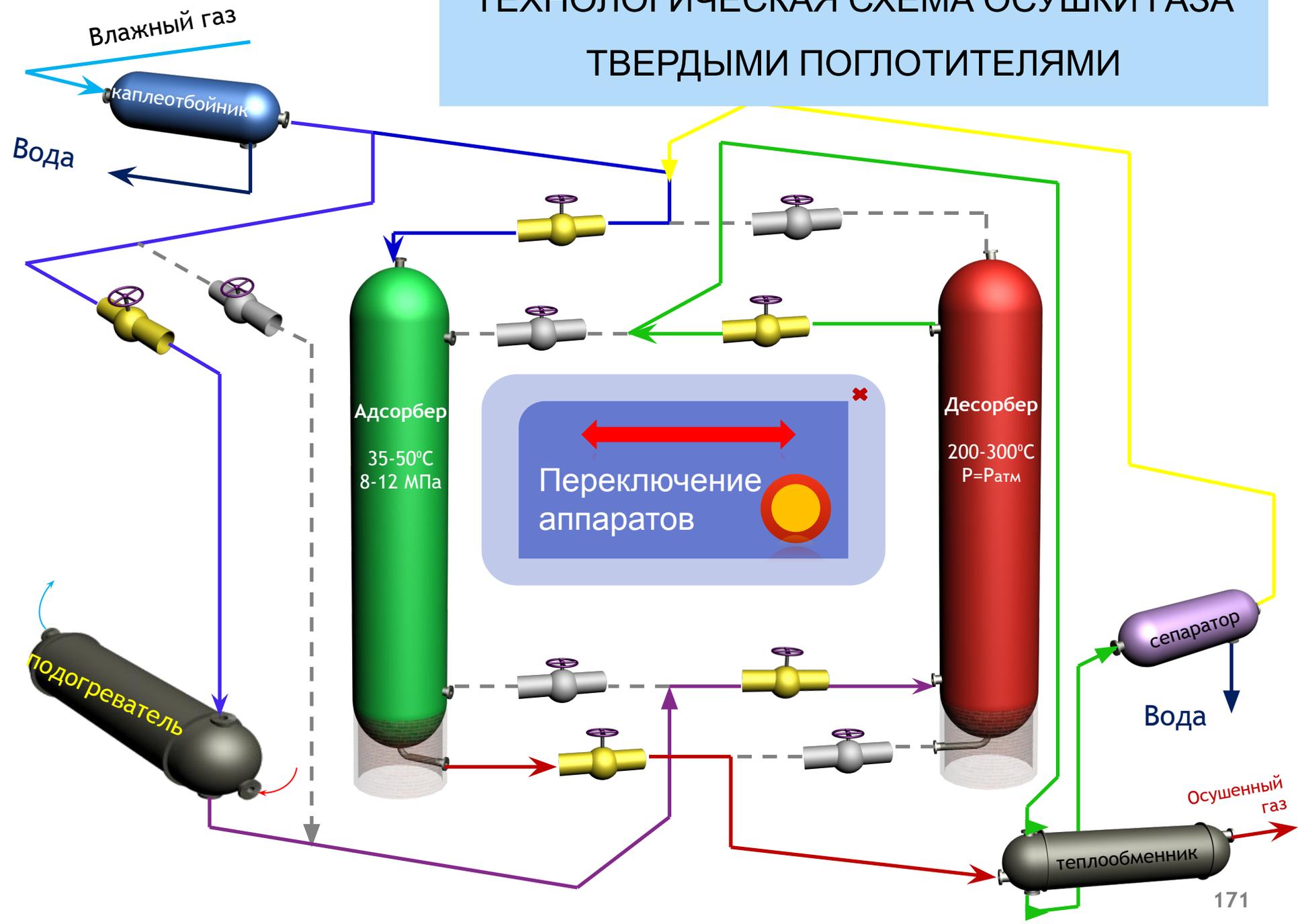


Происходит постоянное увеличение содержания влаги в осушенном газе в течение цикла адсорбции и тем самым **не удастся получить стабильную глубину осушки потока газа**

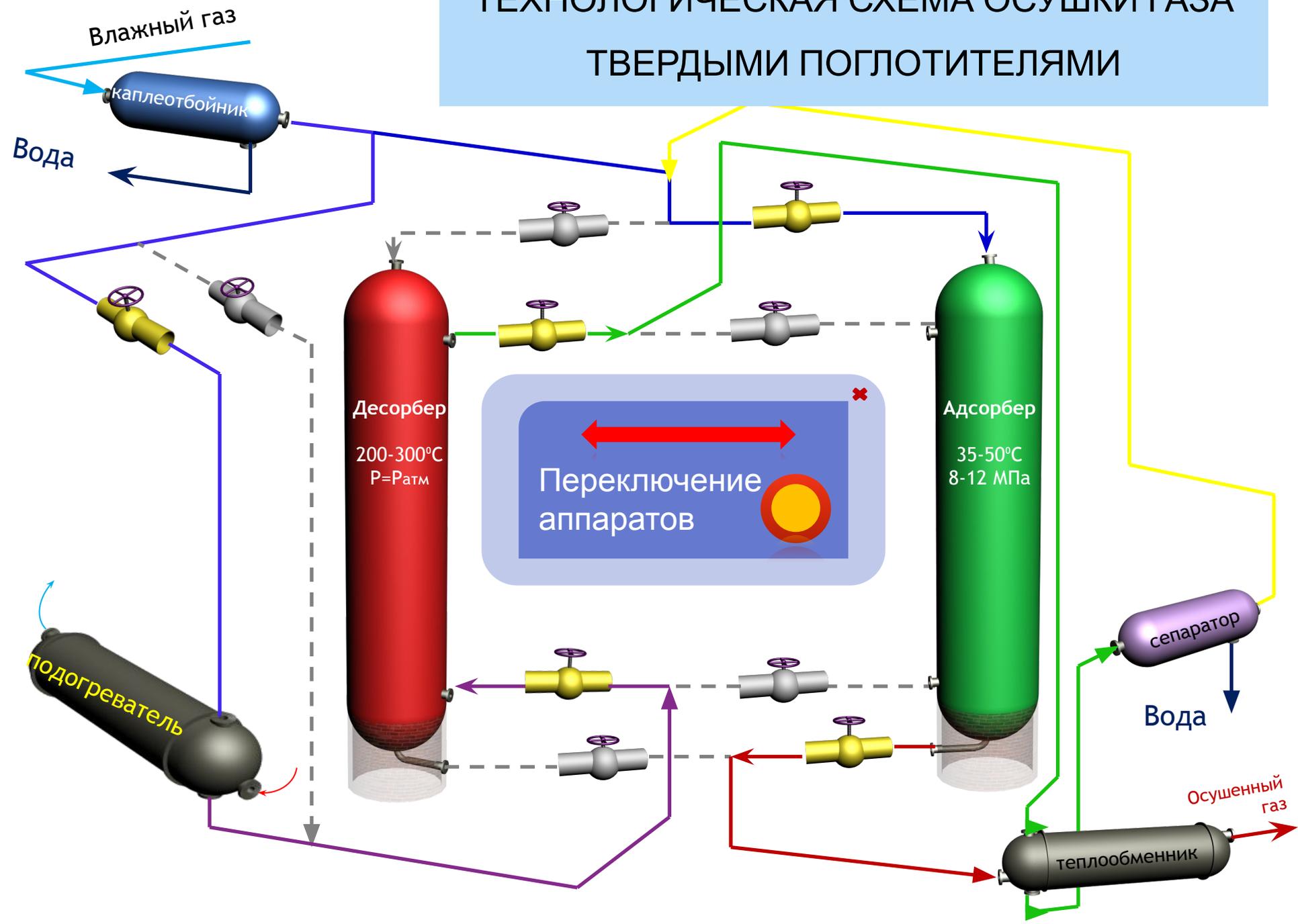
# ТЕХНОЛОГИЯ АДСОРБЦИОННОЙ ОСУШКИ



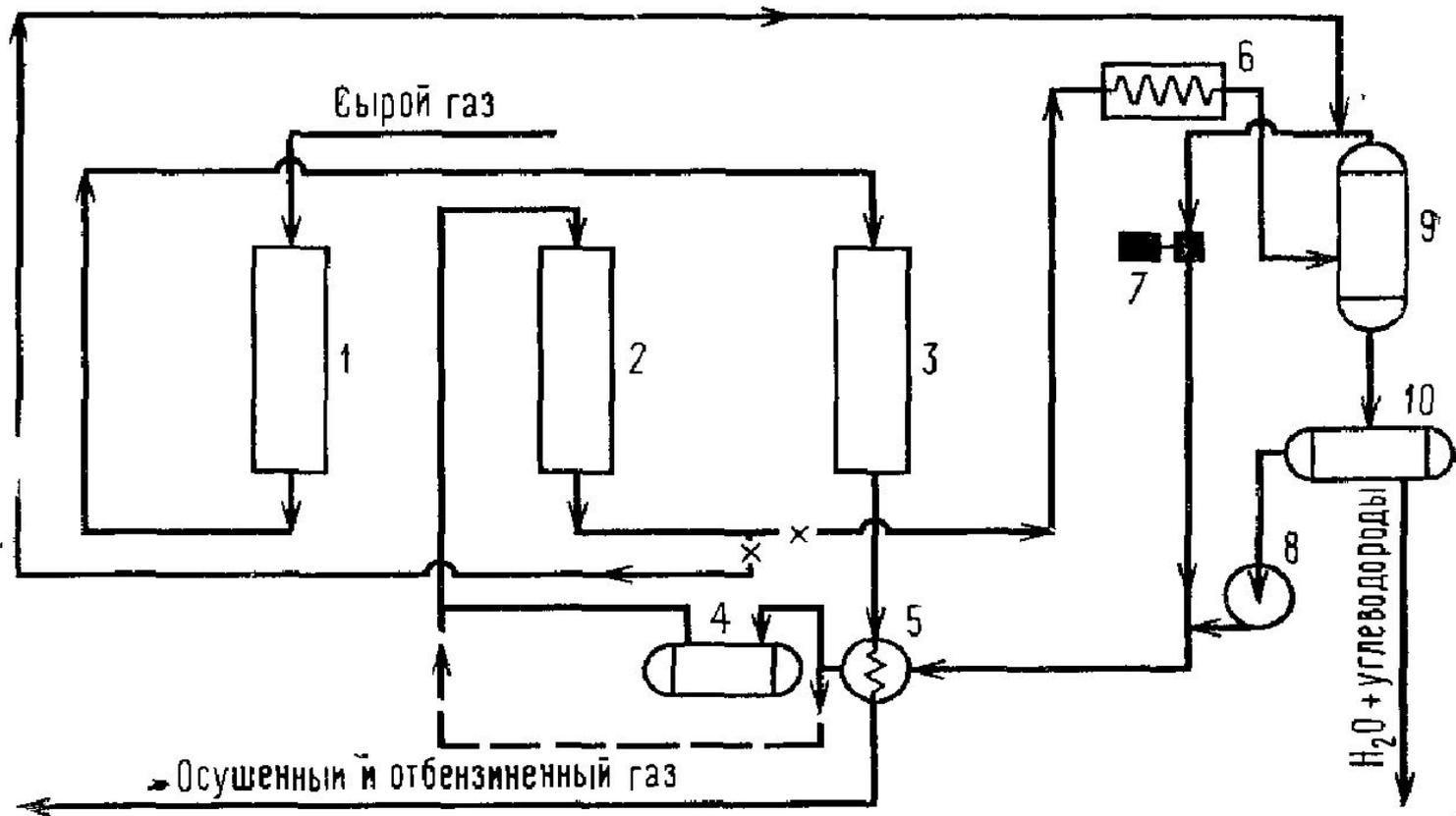
# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОСУШКИ ГАЗА ТВЕРДЫМИ ПОГЛОТИТЕЛЯМИ



# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОСУШКИ ГАЗА ТВЕРДЫМИ ПОГЛОТИТЕЛЯМИ



# СХЕМА ТРЕХАДСОРБЕРНОЙ УСТАНОВКИ ОСУШКИ

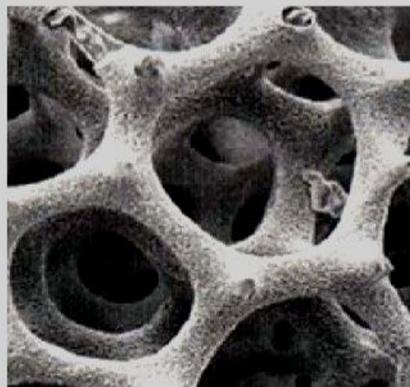


1-3 – адсорберы, 4 – соляная ванна, 5 – теплообменник, 6 – холодильник, 7 – компрессор, 8 – насос, 9 – сепаратор, 10 – сборник конденсата



# ОСУШКА ЦЕОЛИТАМИ

## Цеолит пористый природный материал.



- Минерал из группы водных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных элементов с тетраэдрическим структурным каркасом, известен своей способностью отдавать и вновь поглощать воду в зависимости от температуры и влажности. Другим важным свойством цеолитов является способность к ионному обмену — они способны селективно выделять и вновь впитывать различные вещества, а также обменивать катионы.
- Общим для всех цеолитов является пористая структура строения, что определяет неограниченные возможности минерала по впитыванию.

**Синтетические  
цеолиты -  
самый дорогой  
адсорбент**

# ОСУШКА ЦЕОЛИТАМИ

Основной состав природных цеолитов Сокирницкого месторождения в %:

◆ **SiO<sub>2</sub> - 71,5; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 13,1;**  
**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,9; MnO - 0,19;**  
**MgO - 1,07; CaO - 2,1;**  
**Na<sub>2</sub>O - 2,41; K<sub>2</sub>O - 2,96;**  
**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0,033; SO<sub>3</sub> – следы**

◆ **микропримеси:**  
**никель, ванадий,**  
**молибден, медь,**  
**олово, свинец, кобальт**  
**и цинк**

Химический состав цеолитов в обобщенном виде может быть представлен формулой:

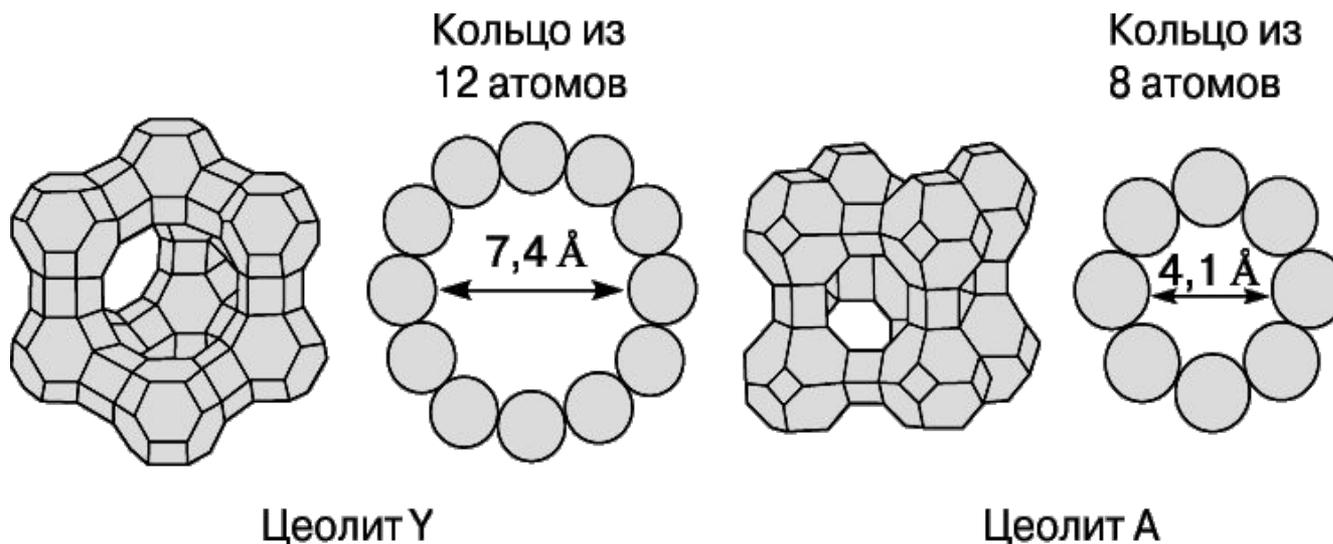


где M - катионы с валентностью n (обычно это Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Si<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>),

z - число молекул воды,

*отношение y/x может изменяться от 1 до 5 для различных видов цеолитов*

# ОСУШКА ЦЕОЛИТАМИ



- Общим для всех минералов из группы цеолитов является **наличие трехмерного алюмокремнекислородного каркаса**, образующего **системы полостей и каналов**, в которых расположены щелочные, щелочноземельные катионы и молекулы воды
- Катионы и молекулы воды слабо связаны с Каркасом и могут быть частично или полностью замещены (удалены) путем ионного обмена и дегидратации, причем обратимо, без разрушения каркаса цеолита.

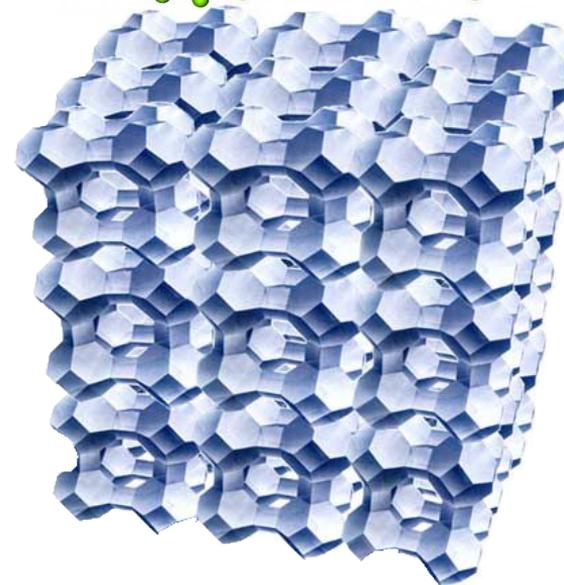
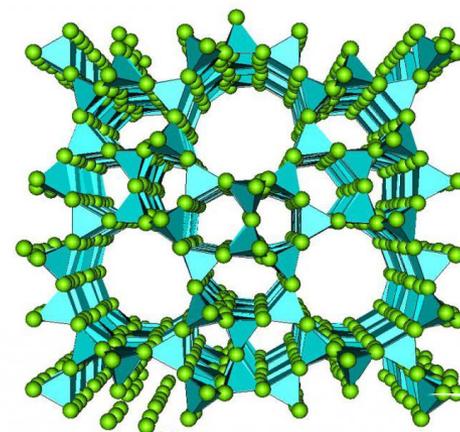
# ОСУШКА ЦЕОЛИТАМИ

Лишенный воды цеолит представляет собой микропористую **кристаллическую «губку»**, объем пор в которой составляет до 50% объема каркаса цеолита.

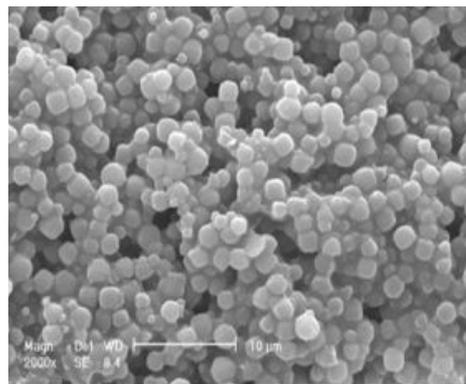
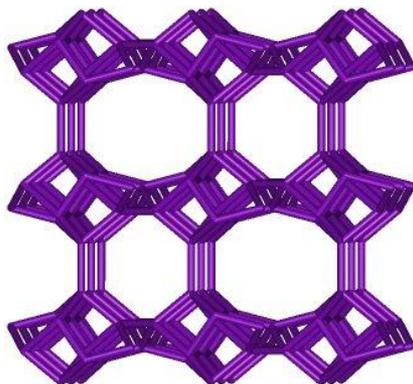
Такая «губка», имеющая диаметр входных **отверстий от 0,3 до 1 нм** (в зависимости от вида цеолита) является высокоактивным адсорбентом.

Диаметр входных отверстий «губки» имеет **строго определенные размеры**. В связи с этим происходит так называемый молекулярно-ситовый отбор при сорбции молекул из газа в жидкости.

Свойства цеолитов позволяют разделять молекулярные смеси даже в тех случаях, когда **разница в размерах молекул составляет 10-20 пм**.



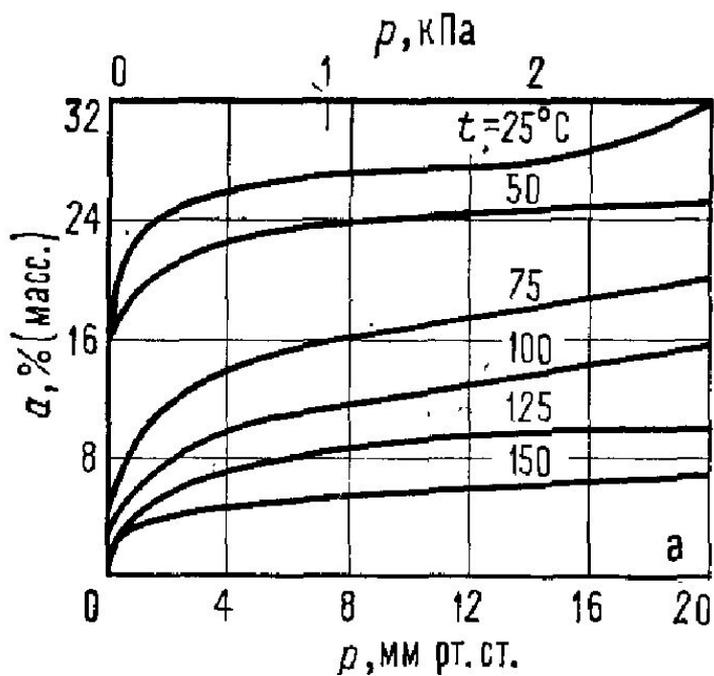
# СВОЙСТВА ЦЕОЛИТОВ



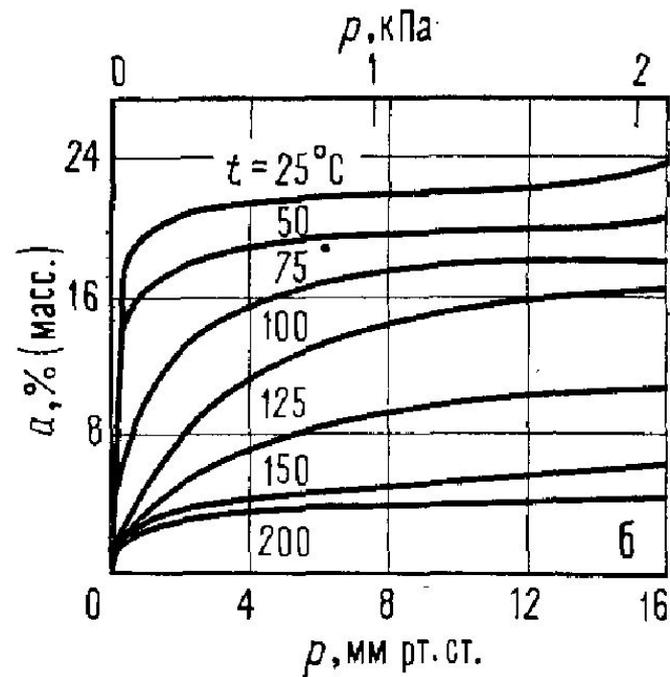
**Адсорбционная способность (в г/100 г) гранулированных цеолитов NaA при малых давлениях**

Давление		Температура, °С							
Па	мм рт. ст.	0	25	50	100	150	200	300	350
$10^{-3}$	$10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10^{-2}$	$10^{-4}$	2,0	1,6	0,4	0	0	0	0	0
$10^{-1}$	$10^{-3}$	4,8	3,2	2,0	1,0	0,4	0	0	0
$10^0$	$10^{-2}$	14,0	6,0	3,8	3,0	2,2	1,8	1,0	0,2
$10^1$	$10^{-1}$	18,0	15,0	8,0	3,6	3,2	2,0	1,8	0,4
$10^2$	$10^0$	18,0	18,0	16,0	6,0	3,6	3,0	2,4	1,0

# ИЗОТЕРМЫ АДсорбЦИИ ПАРОВ ВОДЫ НА ЦЕОЛИТАХ NaX и NaA



Na  
X



NaA

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ АДСОРБЕНТЫ

**Адсорбционная способность (в г/100 г) промышленных адсорбентов по парам воды при 25°C**

Адсорбент	Давление, Па (мм рт. ст.)				
	10 <sup>-1</sup> (10 <sup>-3</sup> )	10 <sup>0</sup> (10 <sup>-2</sup> )	10 <sup>1</sup> (10 <sup>-1</sup> )	10 <sup>2</sup> (10 <sup>0</sup> )	10 <sup>3</sup> (10 <sup>1</sup> )
Цеолит NaX	3,5	9,0	18,0	20,0	25,0
Оксид алюминия	1,5	2,0	3,0	5,0	14,0
Силикагель мелкопори- стый	0,2	0,4	1,2	5,0	25,0



# ОСУШКА ЦЕОЛИТАМИ

- Обеспечивают очень низкую точку росы при высокой адсорбционной способности
- Прочны при контакте с капельной влагой.
- Эксплуатационные расходы при их использовании наиболее низкие

В отличие от силикагелей имеют **высокую активность при низких парциальных давлениях** паров воды

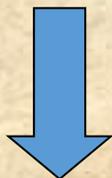
Следовательно  могут применяться для осушки газов с низким содержанием воды, при этом показывая высокую активность.

Сохраняют высокую активность в широком интервале температур.

Благодаря этому можно уменьшить продолжительность времени охлаждения адсорбента

# ОСУШКА ЦЕОЛИТАМИ

- Скорость адсорбции на цеолитах велика



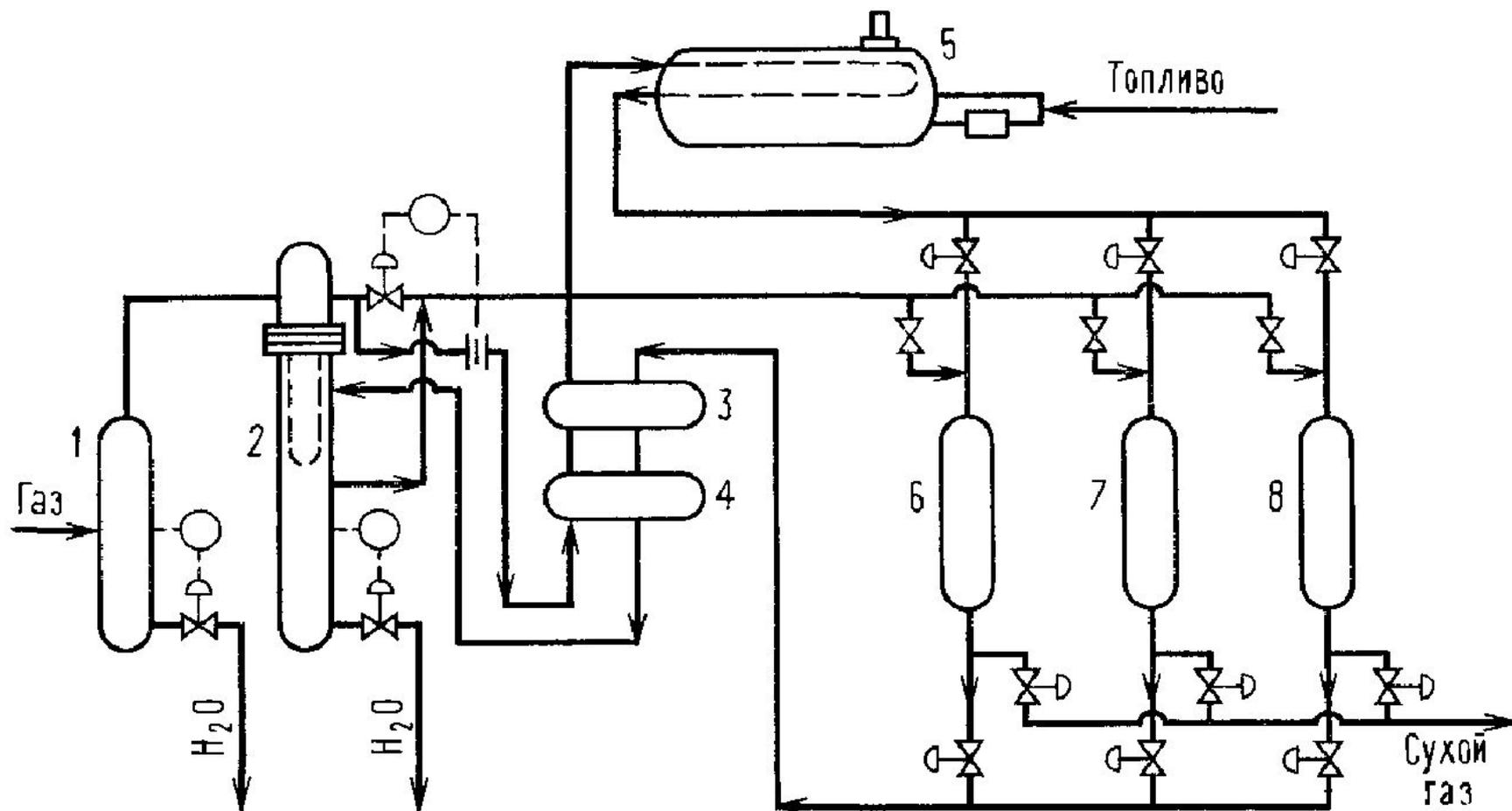
- Обуславливает **малую длину рабочей зоны** слоя сорбента



- Способны работать **при более высоких скоростях газа (до 0,3 м/с)** без заметного изменения динамической активности и качества обработки газа.



# АДСОРБЦИОННАЯ УСТАНОВКА БЕЗ СТАДИИ ОХЛАЖДЕНИЯ АДСОРБЕНТА НА ГПЗ



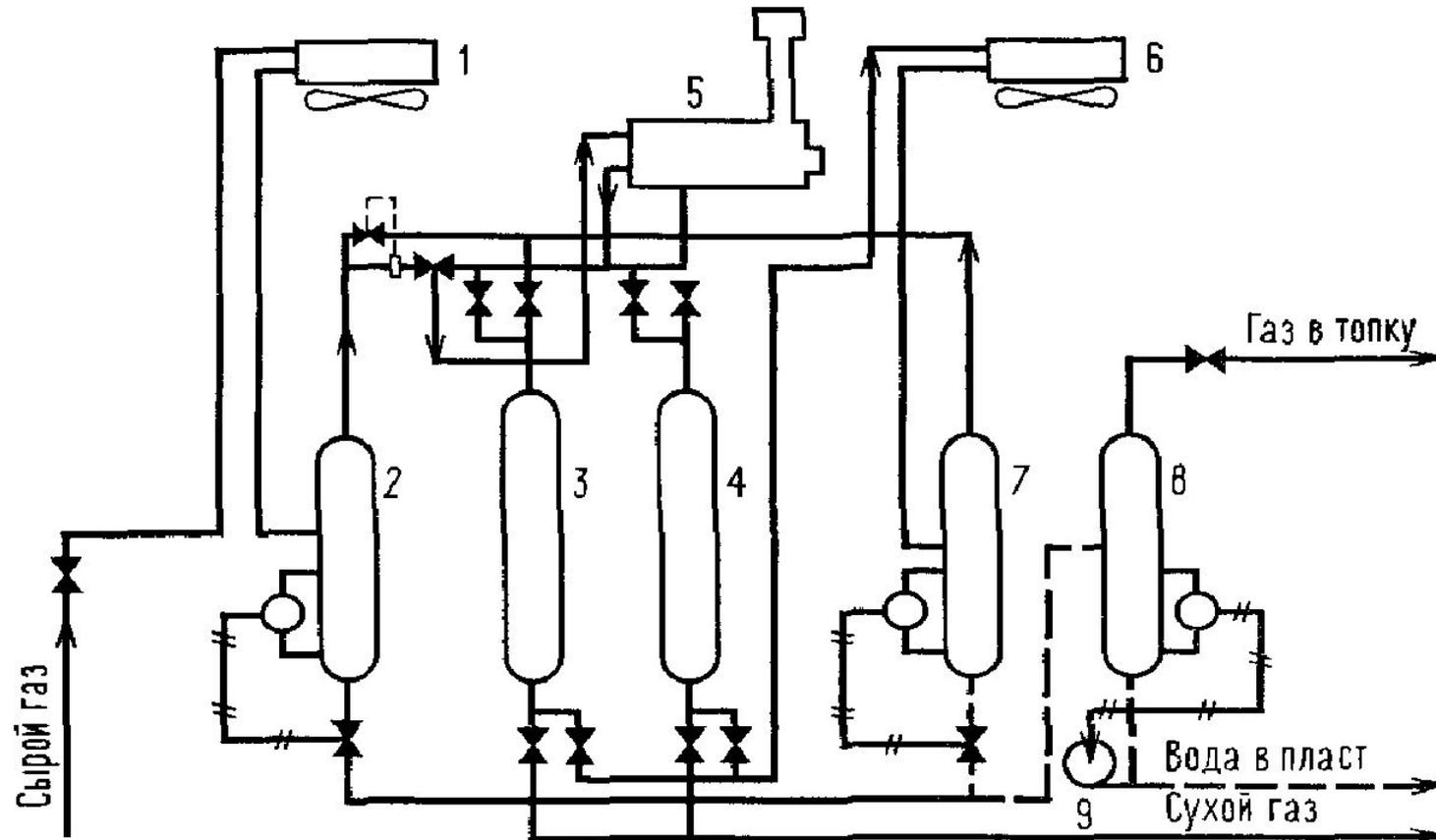
1 – первичный сепаратор, 2 – конденсатор, 3,4 – теплообменники, 5 – нагреватель газа регенерации, 6-8 – адсорберы

# ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ НА ОСУШКУ ГАЗА

Виды затрат	Тип установки			
	Без охлаждения	Обычная двухадсорберная	Обычная трехадсорберная	Гликолевая
Капиталовложения	100	116	143	45
Стоимость химикатов	100	108	188	303
Эксплуатационные затраты	100	139	222	207



# СХЕМА ОСУШКИ ГАЗА ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

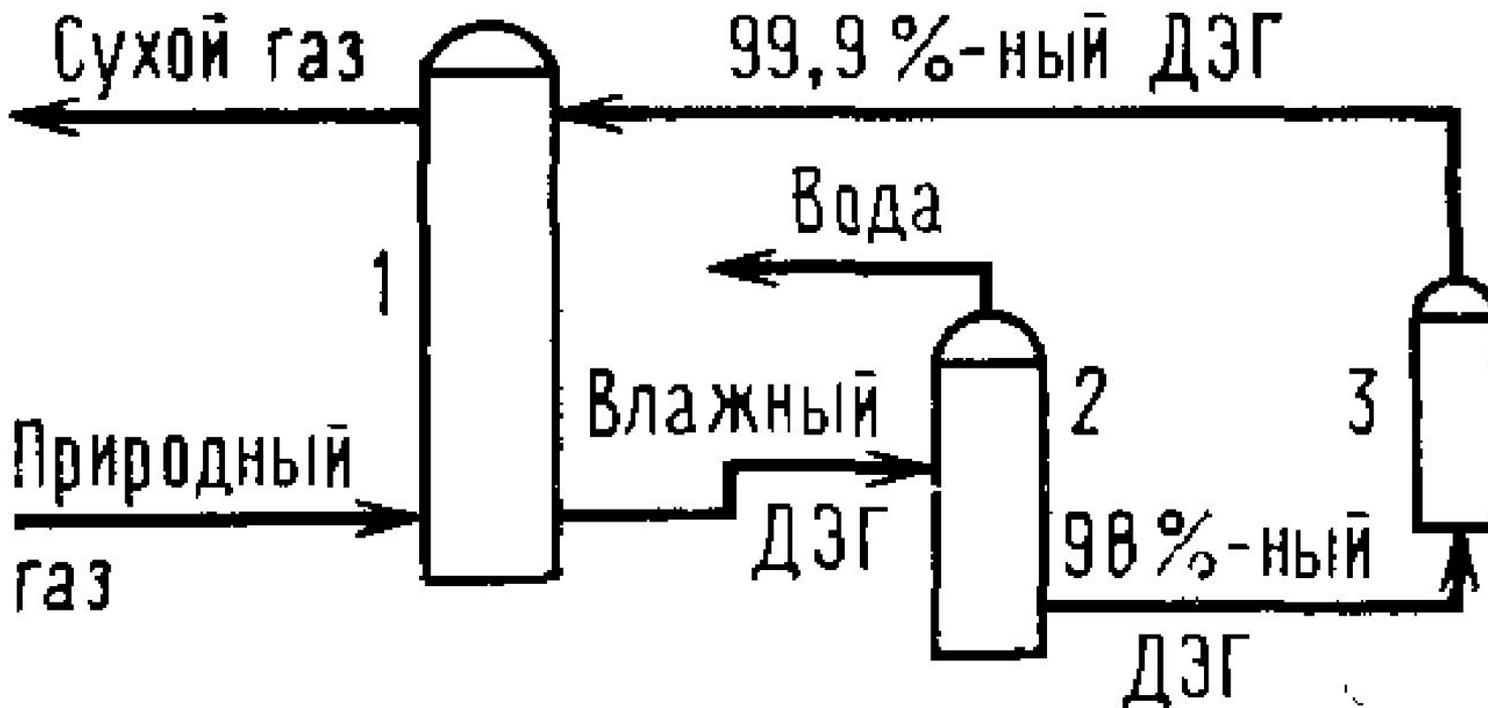


1,6 – АВО, 2 – первичный сепаратор, 3 – адсорбер на стадии осушки, 4 – адсорбер на стадии регенерации, 5 – солевая ванна, 7,8 – сепараторы, 9 - насос

# СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДсорбЕНТОВ-ОСУШИТЕЛЕЙ

Влажность исходного газа по точке росы, °С	Температура при осушке, °С	Время защитного действия слоя адсорбента, мин			
		цеолит NaA	силикагель КСМ	шихта силкагель—цеолит (3 : 1)	порода с содержанием клиноптилолита 90%
+10	25	168	102	150	100
	50	160	57	—	82
	75	150	42	63	75
—1	25	353	145	200	190
	50	343	128	—	150
	75	275	45	80	133
—10	25	680	322	450	505
	50	664	263	—	405
	75	480	100	137	305

## СХЕМА КОМБИНИРОВАННОЙ ОСУШКИ ГАЗА



1 – абсорбционная колонна, 2 – регенератор, 3 – адсорбер с цеолитом

# Промышленные установки адсорбционной осушки газа

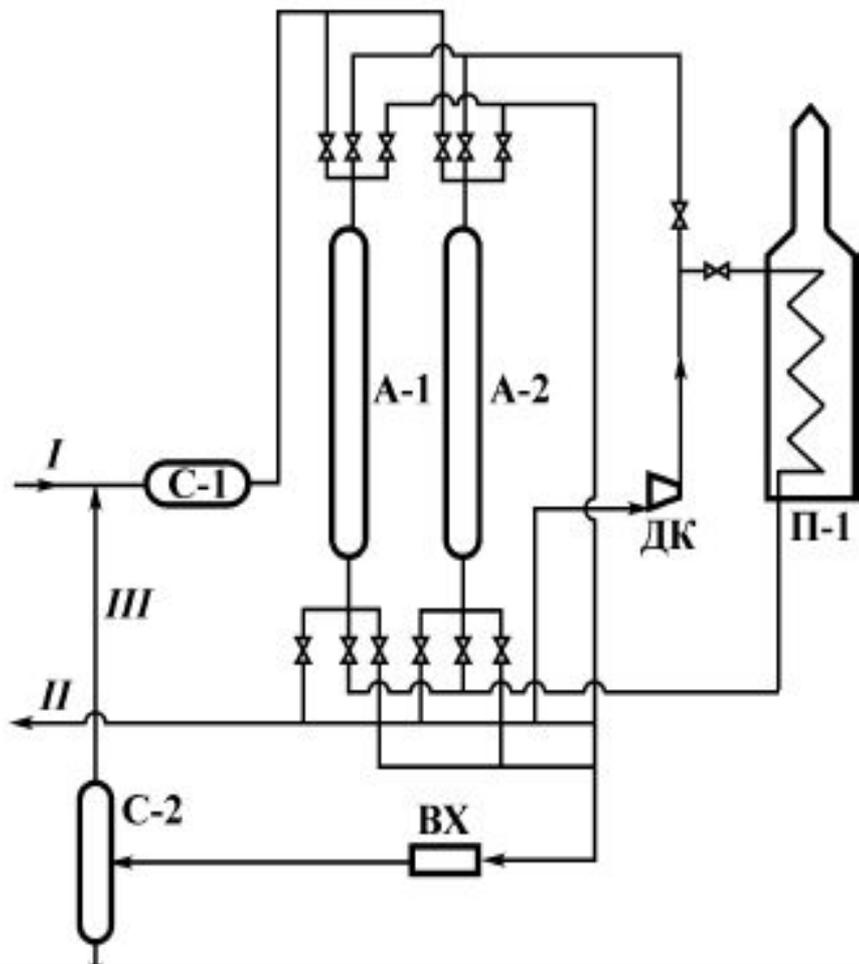
- Самые крупные построены и эксплуатируются на месторождении **Медвежье**

- Номинальная производительность каждой УКПГ составляет **8 млрд. м<sup>3</sup>** в год или **24 млн. м<sup>3</sup>/сут**

- Всего построены **5 УКПГ**. Каждая технологическая нитка этих установок включает в себя **до двух адсорберов**

- Каждая УКПГ состоит из 4-х технологических ниток пропускной способностью одной нитки **2 млрд. м<sup>3</sup>** в год или **6 млн. м<sup>3</sup>/сут** при давлении **7,7 МПа**.

# Промышленные установки адсорбционной осушки газа



**I** влажный газ: **II**  
осушенный газ: **III**  
отработанный газ  
регенерации: **A 1, A 2** -  
адсорберы: **П-1** -  
печь; **С-1, С-2** -  
сепараторы: **ВХ** -  
воздушный  
холодильник; **ДК**  
дожимной  
компрессор  
(газодувка)

# Проектные показатели адсорбционной установки Медвежьего месторождения

Показатели	Стадии процесса <sup>**</sup>		
	Адсорбция	Десорбция	Охлаждение
Расход газа	250	8,1	8,1
Давление, ата	77	78,5	78,5
Температура, °С	14-16	180-210	До 50
Длительность цикла, ч	12 <sup>1</sup> -35	8 <sup>1</sup> -20	4 <sup>1</sup> -6
Скорость газа в адсорбере, м/с	0,15		

<sup>1</sup> В конце срока эксплуатации силикагеля (через 2 года).  
<sup>\*\*</sup> Направление потока сверху вниз.



# МЕМБРАННАЯ ОСУШКА ГАЗА



# ПРЕИМУЩЕСТВА МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ

Никаких движущихся частей, могут работать автоматически на далеких расстояниях без участия человека.

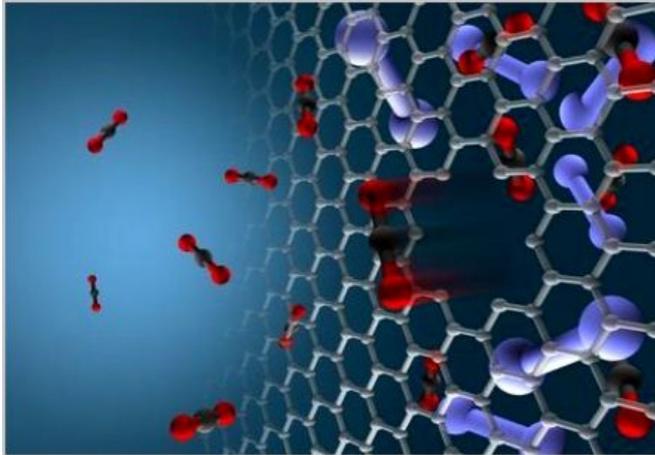
Эффективная компоновка минимизирует занимаемую площадь и вес (идеальна для морских платформ)

Оптимизированная конструкция позволяет выделять углеводороды в максимальном объеме.

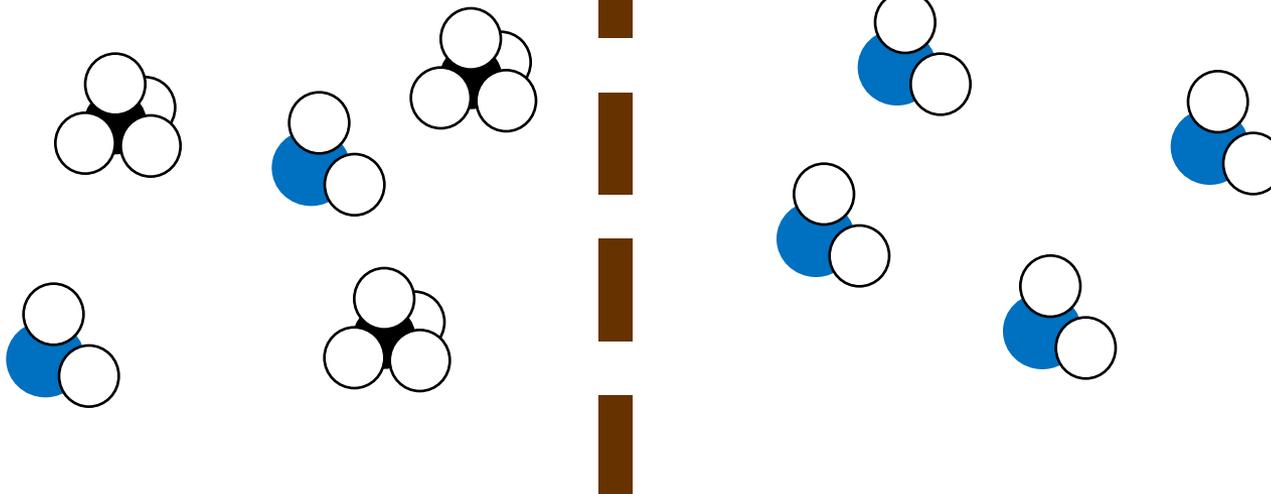
Понижает содержание CO<sub>2</sub> до регламентируемых параметров.

Простота монтажа: установленная на раме система может быть смонтирована на месте эксплуатации в течении нескольких часов.

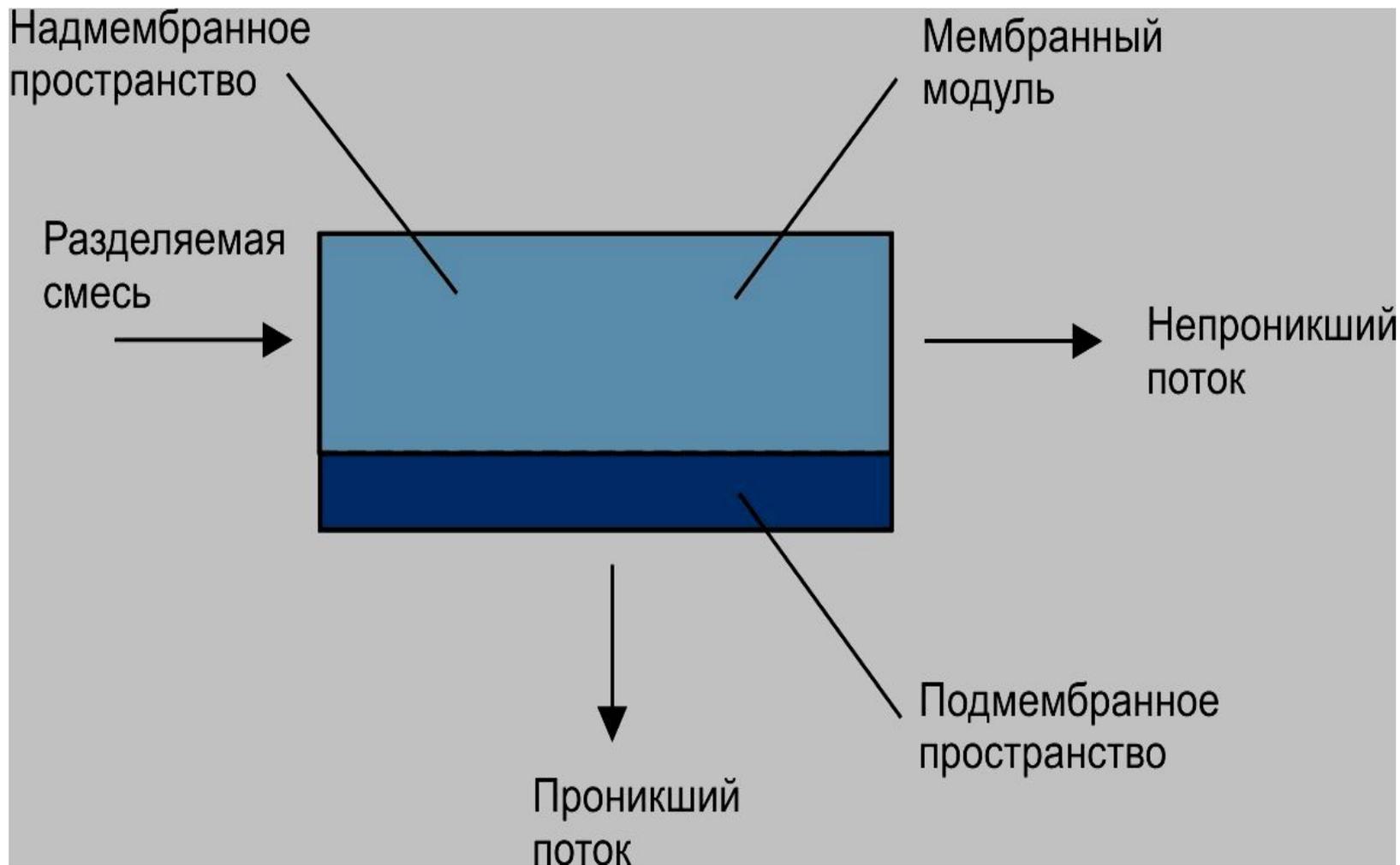
# ПРИНЦИП МЕМБРАННОЙ ОСУШКИ



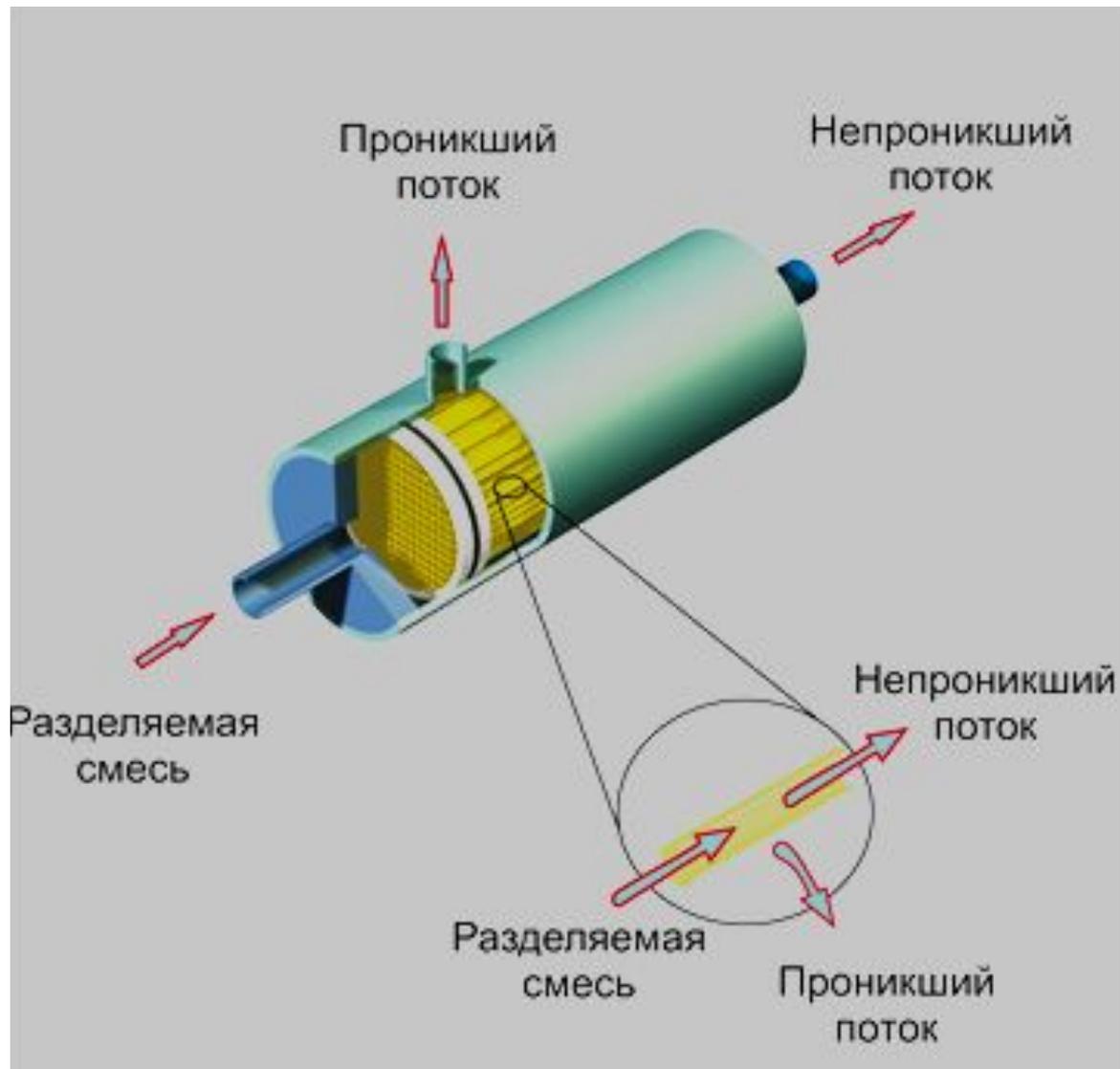
Процессы мембранного разделения газовых смесей основаны на различной проницаемости компонентов газов через жесткую селективно-проницаемую перегородку, разделяющую массообменный аппарат на две рабочие зоны.



# Принципиальная схема мембранного газоразделительного процесса

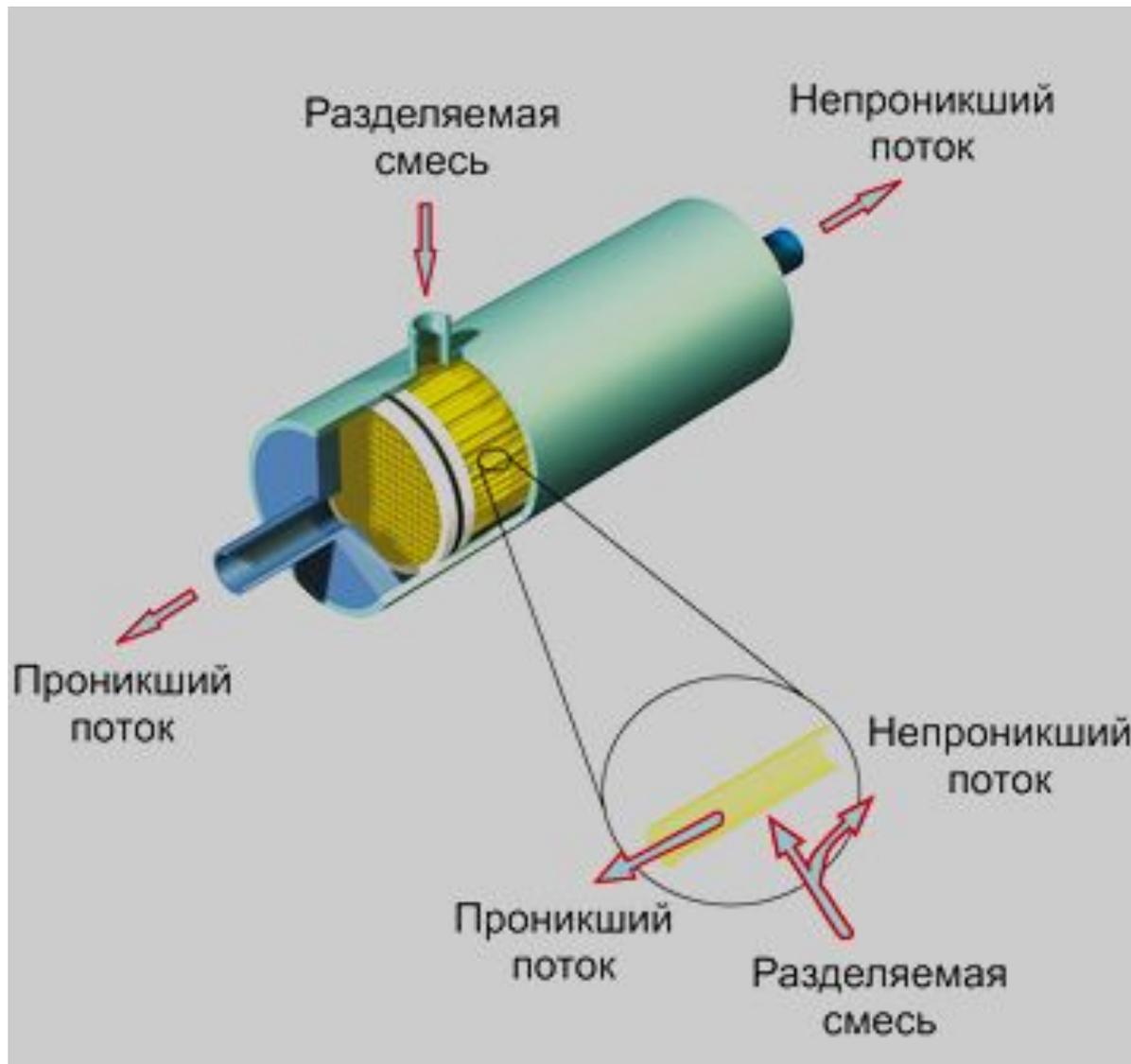


# СХЕМА ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ В МЕМБРАННОМ МОДУЛЕ



С подачей  
разделяемой  
смеси  
**внутри**  
**волокна**

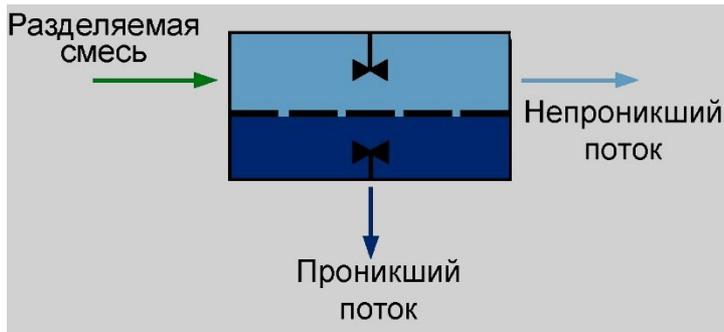
# СХЕМА ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ В МЕМБРАННОМ МОДУЛЕ



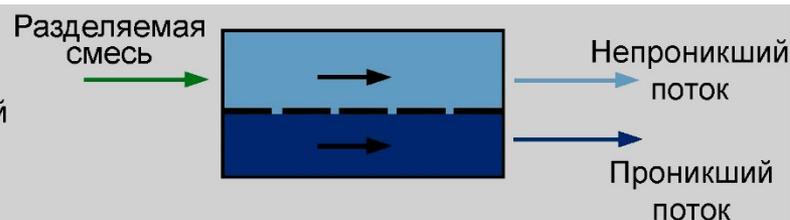
**С подачей  
разделяемой  
смеси  
В  
межволоконное  
пространство**

# СХЕМЫ МОДЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОТОКОВ В МЕМБРАННЫХ МОДУЛЯХ

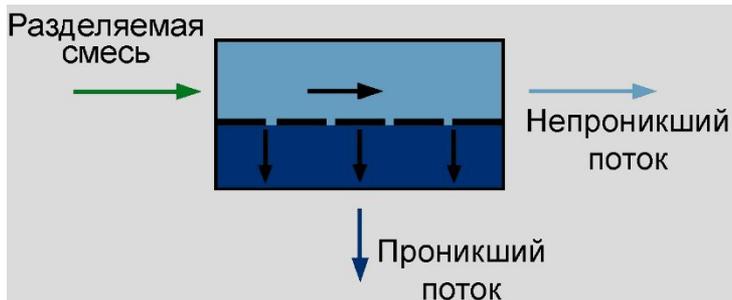
## модель полного смешения



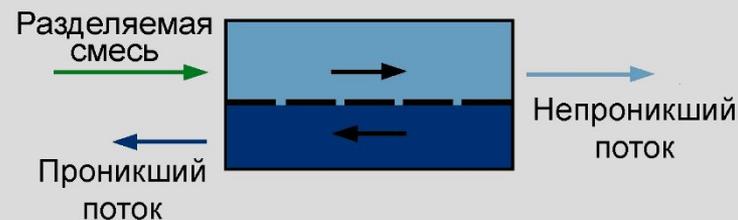
## модель параллельного тока



## модель перпендикулярного тока



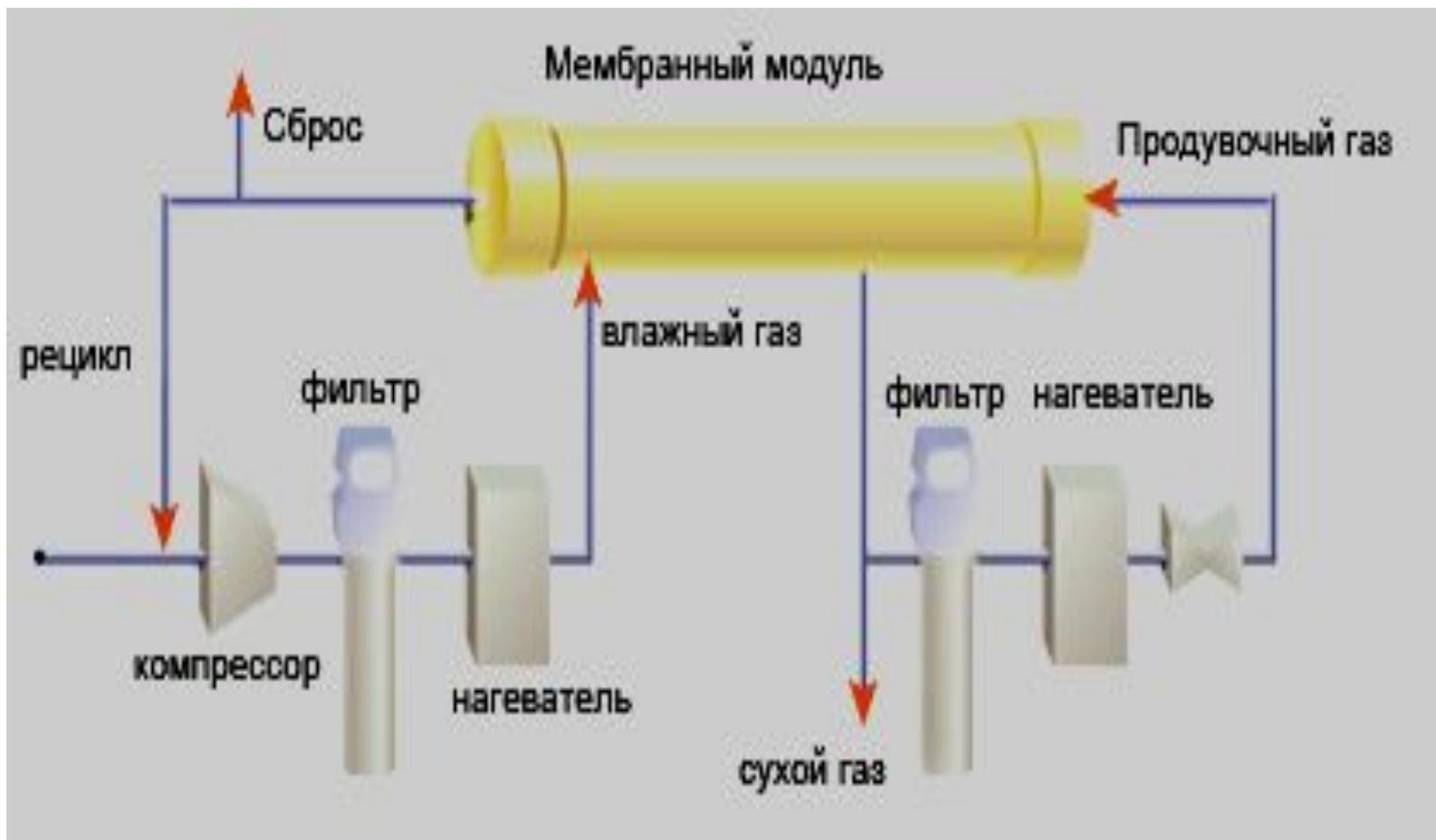
## модель противотока



# КОМПАНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛИ МЕМБРАН

- Air Products
- Air Liquide (MEDAL)
- Grace Membrane System
- Monsanto (PRISM)
- Ube Industries
- Union Carbide (Linde)
- UOP

# ТЕХНОЛОГИЯ МЕМБРАННОЙ ОСУШКИ



# МЕМБРАННЫЕ МОДУЛИ ОСУШКИ



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

