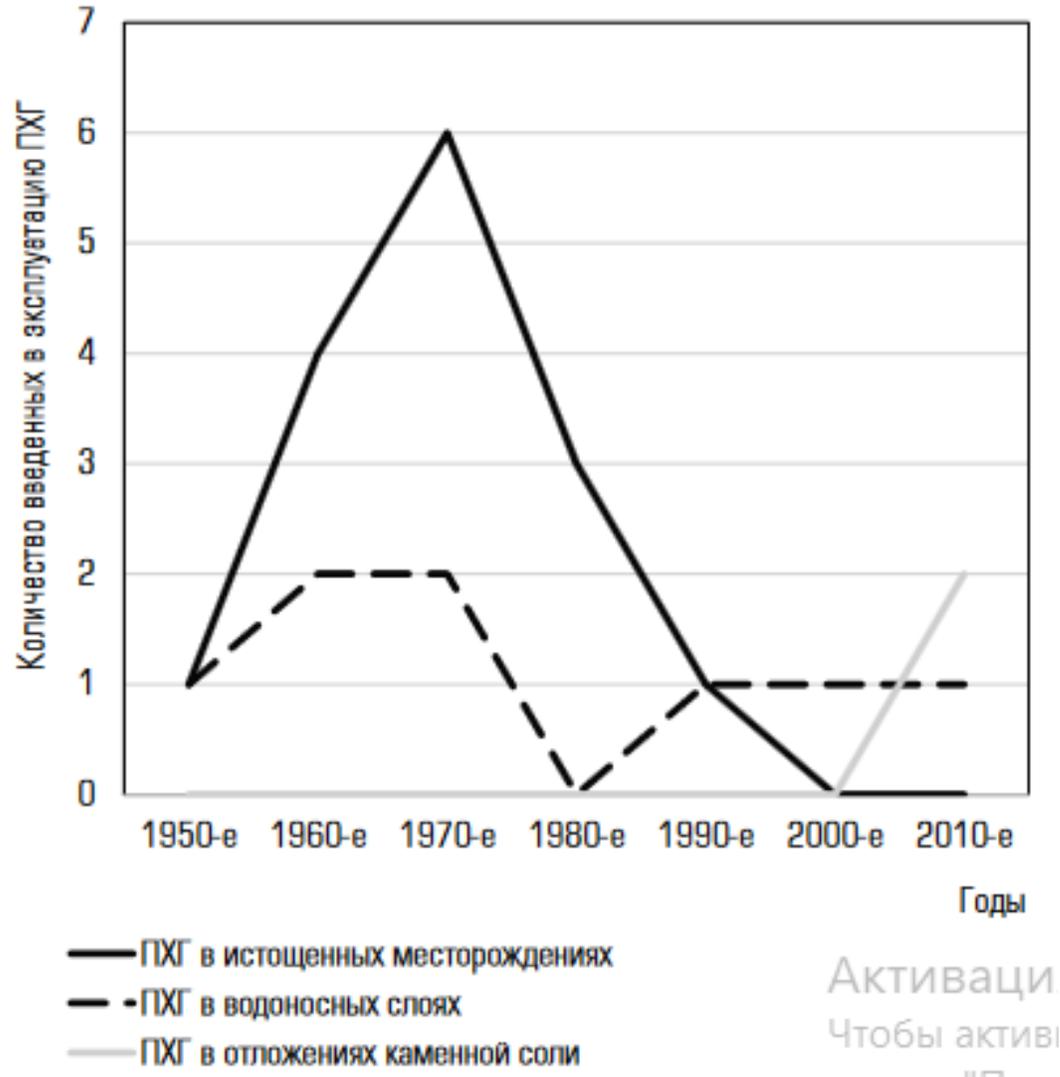


# Подземное хранение газа (ПХГ)

# Основные положения

- ✓ ПХГ – геологическая структура или искусственный резервуар, используемый для хранения газа
- ✓ ПХГ – одно из звеньев в комплексе объектов ЕСГ
- ✓ ПХГ позволяет обеспечить наиболее рациональную структуру потребления газа (закачка в летнее время / возможность восполнения повышенного спроса в отопительный сезон)
- ✓ ООО “Газпром ПХГ” зарегистрировано в 2007г. – единый оператор подземных хранилищ газа России
- ✓ Структура компании: 23 ПХГ
  - ✓ 14 – в истощенных месторождениях
  - ✓ 7 – в водоносных структурах
  - ✓ 2 – в отложениях каменной соли
- ✓ Максимальная суточная производительность отбора на начало сезона 2022/2023 г. – 852,4 млн. м<sup>3</sup>
- ✓ В состав входит: 20 компрессорных станций, фонд эксплуатационных скважин – 2 708
- ✓ Крупнейшее в мире ПХГ – Северо-Ставропольское ПХГ
- ✓ В перспективе максимальная суточная производительность российских ПХГ – 1 млрд. м<sup>3</sup> сут. Аналогичный показатель для всех ПХГ в мире 7,4 млрд. м<sup>3</sup> сут.
- ✓ В регионах, отличающихся значительными объемами потребления в стадии проектирования и строительства находятся: Новомосковское (Тульская область), Арбузовское (Республика Татарстан), Шатровское (Курганская область) ПХГ
- ✓ Реконструкция, расширение, техническое перевооружение ряда действующих ПХГ

# Ввод в эксплуатацию ПХГ в России (СССР) по типам



Мастобаев Б.Н., Китаев С.В., Малюкова Н.Н., Шамсутдинов М.М.  
 Хранилища углеводородного газа. СПб.: Недра, 2018. 216 с.

## Некоторые ПХГ России

Наименование ПХГ		Вид хранилища	Объём, усл.ед.
Песчано-Уметское		В истощённом месторождении	3,7
Елшанское (истоц. газ.местор. 1958 г.)			4,5
Степновское			9,0
Дмитриевское		В истощённом месторождении	0,1
Михайловское			0,2
Аманакское			0,1
Кирюшкинское			0,9
Щёлковское		В водоносном пласте	3,3
Калужское (первое в вод. пл, 1959 г)			0,5
Касимовское			19,0
Увязовское			3,1
Невское		В водоносном пласте	3,3
Гатчинское			0,5
Северо-Ставропольское	Зелёная свита	В истощённом месторождении	7,7
	Хадум		56,0
Краснодарское		В истощённом месторождении	2,1
Кущёвское			9,2
Канчуриновское		В истощённом месторождении	4,6
Мусинское			0,1

# Концепция создания ПХГ

- ✓ Концепция является первичным документом создания ПХГ, выполняется на основе компьютерной модели совместного функционирования единой системы газоснабжения (ЕСГ) и ПХГ, составляется на период 10 лет (при необходимости на более длительный срок) и уточняется один раз в 5 лет.
- ✓ Задачей Концепции является оценка неравномерности газопотребления, перспектив ее изменения и разработки стратегии ее регулирования за счет создания системы ПХГ в ЕСГ.

# Содержание Концепции

- описание и результаты адаптации компьютерной модели ЕСГ с системой ПХГ
- анализ фактического выполнения Концепции за предшествующий пятилетний период
- анализ неравномерности потребления газа в ЕСГ и возможности использования альтернативных источников энергии
- оценку перспективы изменения объемов сезонной и суточной неравномерности газоснабжения в ЕСГ
- программу геологоразведочных работ для создания новых и расширения действующих ПХГ (оценка сроков разведки, емкостных параметров перспективных объектов для хранения газа на основе существующих фондовых геологических, геофизических, аэрокосмических данных)
- программу создания новых, расширения и реконструкции действующих ПХГ (оценка сроков создания, активного объема газа, суточной производительности ПХГ)
- оценку экономической эффективности программ (геологоразведочных работ, создания новых ПХГ, расширения, реконструкции действующих ПХГ)

# Поиск и разведка структур для создания ПХГ

Предусматриваются следующих работ:

- сейсмические исследования структуры (геофизические методы исследования структуры, строения и состава горных пород)
- структурное бурение
- разведочное бурение скважин
- промыслово-геофизические, гидродинамические (гидроразведка), геохимические и др. исследования
- разведочная закачка газа (при необходимости и технической возможности)
- обработка полученных результатов и выдача исходных данных

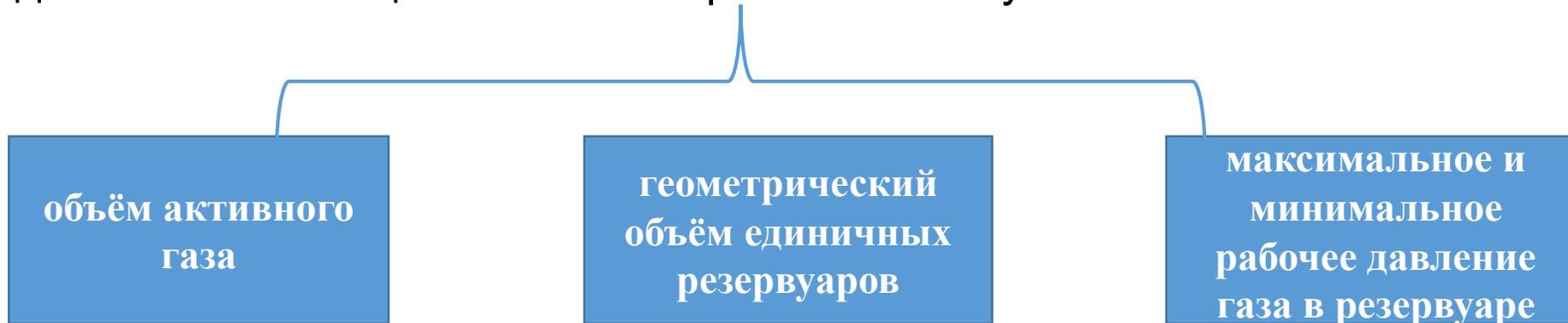
## Исходные данные для технологического проектирования ПХГ

- ✓ общие сведения о районе и площади разведочных работ (привязка к местности, гидрография, населенные пункты и т.д.)
- ✓ результаты сейсморазведочных работ и разведочного бурения
- ✓ литолого-стратиграфическую характеристику разреза в пределах разведанной площади
- ✓ тектоническое строение разведочной площади
- ✓ литолого-геофизическую характеристику всех водоносных пластов-коллекторов и пластов-покрышек
- ✓ анализ результатов исследования керна, полученного при разведочном бурении
- ✓ результаты промыслово-геофизических, геохимических и гидродинамических исследований
- ✓ техническое состояние фонда пробуренных на площади скважин и их конструкцию
- ✓ оценку емкостной и фильтрационной характеристик пластов-коллекторов
- ✓ анализ разведочной закачки газа (при проведении)

# Условия создания ПХГ

## В общем случае:

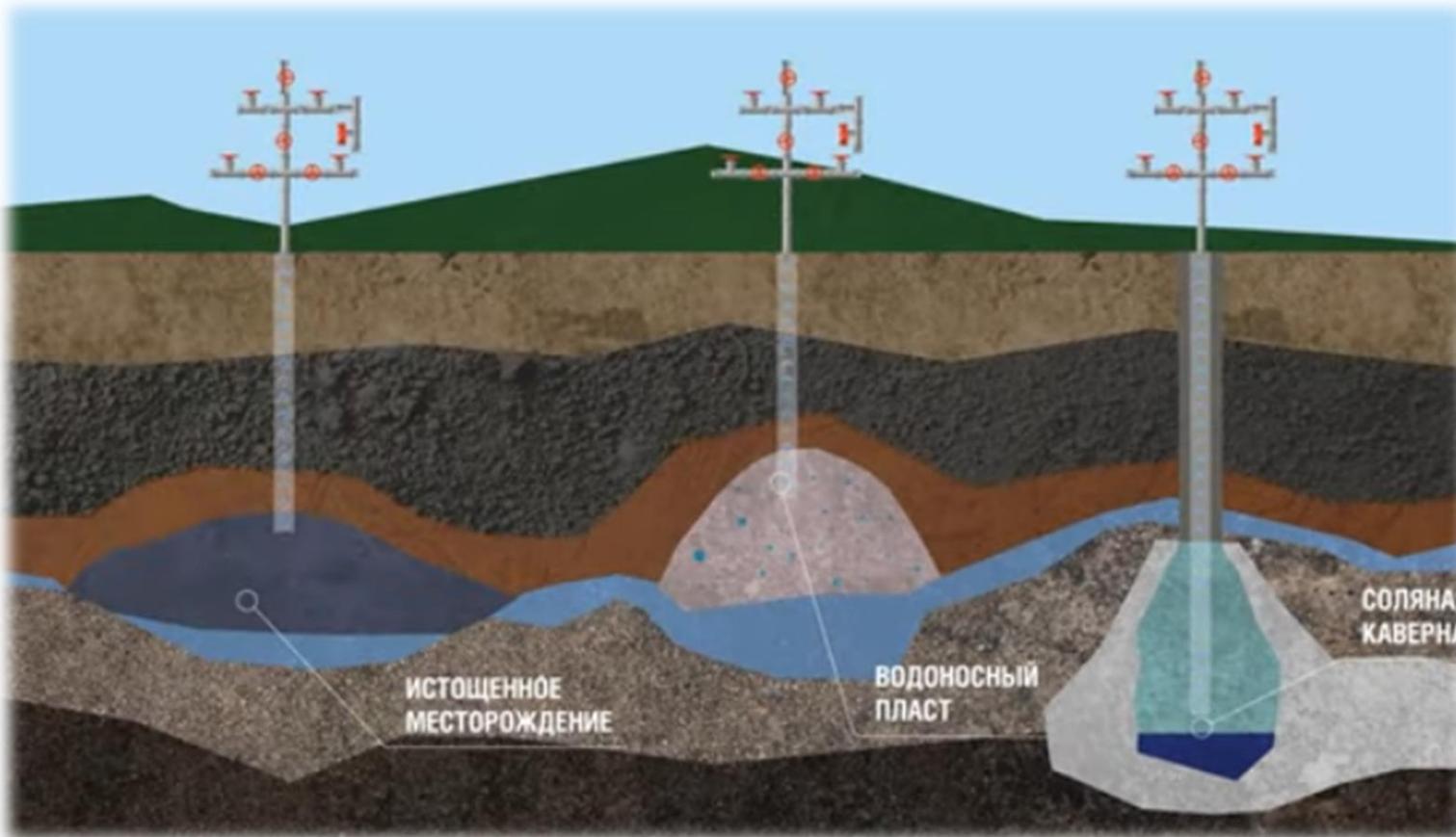
- ✓ наличие геологической структуры (чаще куполообразной), пласта-коллектора, способного хранить газ
- ✓ наличие герметичной покрышки
- ✓ достаточная толщина пласта и приемлемая глубина его залегания



## для ПХГ в соляных массивах:

- ✓ обеспеченность площадок строительства водой для подземного растворения соли
- ✓ возможность удаления хлор-натриевого рассола, образующегося при создании резервуаров

- ✓ **Искусственная газовая залежь**, находящаяся под воздействием внешних технологических и внутренних природных сил - основа газохранилища в пористом пласте.
- ✓ Для стабилизации и поддержания этой системы в рабочем состоянии предусматривается соответствующее **техническое обустройство**.



**Водоносное газохранилище** - искусственная газовая залежь, созданная в пласте, в естественных условиях заполненном водой.

**Характеристики** водоносного пласта (в среднем):

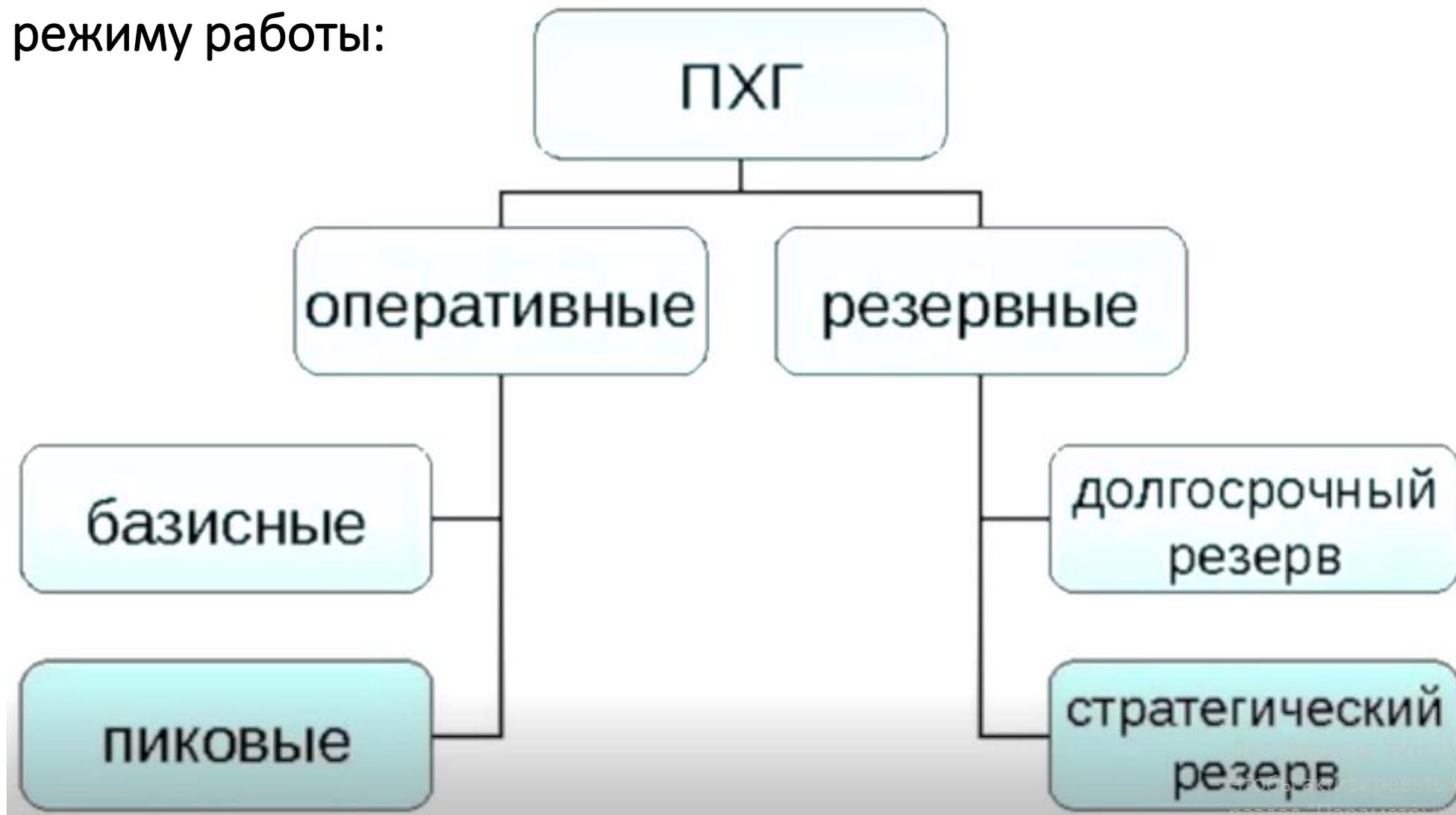
- ✓ проницаемость не менее  $0,2 - 0,3$  мкм<sup>2</sup>, мощность - не менее 4 - 6 м
- ✓ пористость не ниже 10 - 15 %
- ✓ проницаемость покрышки, обычно представленной глинами, не должна быть более сотых долей миллдарси
- ✓ объём водонапорной системы должен превосходить объём хранилища в несколько сот раз (иначе заполнение хранилища газом за счёт упругости системы будет затруднено)

# Строительство ПХГ в отложениях каменной соли

- ✓ Применяемый метод строительства - **растворение через буровые скважины**.
- ✓ Возможен для реализации, если помимо каменной соли достаточной мощности и приемлемой глубины залегания, имеется надёжный **источник технического водоснабжения**, а также метод утилизации строительного рассола
- ✓ Наиболее надёжным источником технического водоснабжения – эксплуатация подземных водоносных горизонтов.
- ✓ Извлекаемый на поверхность рассол возможно:
  - передавать солепотребляющим предприятиям на переработку
  - захоранивать в глубокие водоносные горизонты

# Классификация подземных хранилищ газа

ПХГ по режиму работы:



# Классификация подземных хранилищ газа

**По количеству объектов подразделяются на:**

- однопластовые
- многопластовые

**По виду пластовой энергии подразделяются на ПХГ:**

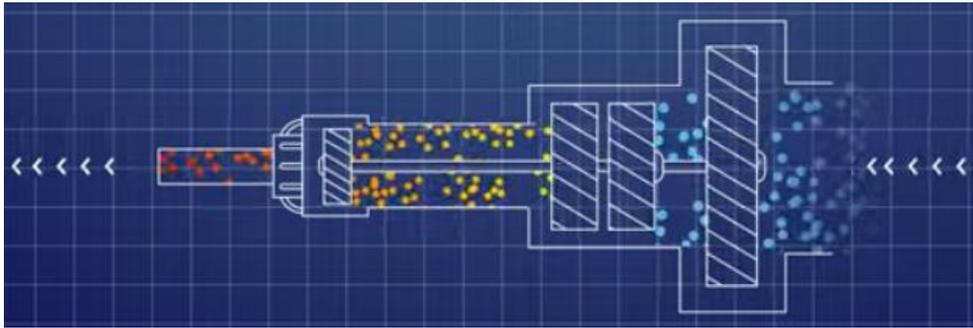
- с газовым режимом (постоянный газонасыщенный поровый объем)
- с водонапорным режимом (переменный газонасыщенный поровый объем)

# Характеристика эксплуатации ПХГ

- ✓ **Базисная** – циклическая эксплуатация в базисном технологическом режиме (**суточная производительность** при отборах и закачках ПХГ **не существенно отличается** от среднемесячной производительности)
- ✓ **Пиковая** – циклическая эксплуатация в пиковом технологическом режиме (**большие приросты**, свыше 10-15%, **суточной производительности ПХГ** в течение нескольких суток при отборах и закачках относительно среднемесячных производительностей)

← газ

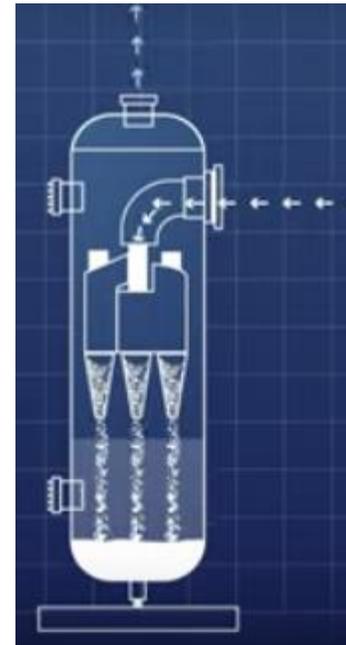
ГПА



$T = 135 - 140 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пункт учета  
и замера  
газа

Выход очищенного  
газа



Неочи-  
щенный  
газ

Циклонный  
пылеуловитель

Неочи-  
щенный  
газ



АВО газа



Сборный пункт

# Первое поколение ГПА



## Газомотокомпрессор 10 ГКН (1967 г.)

- ✓ Небольшая мощность не соответствует растущим показателям активной емкости и суточной производительности газовых хранилищ
- ✓ Возникла необходимость оснащения компрессорных станций ПХГ высокопроизводительной техникой

Марка ГПА	Мощность, кВт	Частота вращения вала, об/мин	Число цилиндров двигателя	Наибольшее число цилиндров компрессора	КПД двигателя	Модификация				
						Давление, МПа		Подача, млн. м <sup>3</sup> /сут	Масса, т	Удельная масса, кг/кВт
						всасывания	нагнетания			
<i>Поршневые ГПА</i>										
ГМВ	441	600	8	4	0,275	0,3 – 0,35	1,3 – 1,5	0,120 – 0,166	25,2	57
10ГКМ	736	300	10	5	0,226	2,5	5,5	0,554	58,5	79,7
10ГКН	1104	300	10	5	0,30	3,0 – 3,8	5,6	0,984 – 1,248	63,6	57,6

# ГПА для подземных хранилищ газ

Параметр	ГПА-4ПХГ	ГПА-10ПХГ
Номинальная мощность, МВт	4	10
Коммерческая производительность, млн. нм <sup>3</sup> /сут	1,8...2,5	4,0...11,3
Давление компрессора, МПа	9,92...14,4	7,45...14,4
Степень сжатия	2,2...3	1,57...3,26
Политропный КПД компрессора	0,76...0,80	0,76...0,83
Частота вращения ротора силовой турбины, об/мин	14000	9000
Эффективный КПД ГТУ (в стационарных условиях)	0,24	0,34
Удельный расход топливного газа ГТУ, кг/кВт·ч	0,303	0,212
Давление газа (max), МПа: - пускового - топливного	0,6 1,5	0,6 3,0
Тип масла: - двигателя - компрессора	МС-8П ТП-22С	МС-8П ТП-22С
Масса, тонн	98	185



Газоперекачивающий агрегат на компрессорной станции «Пермская»

# ГПА для линейных компрессорных станций

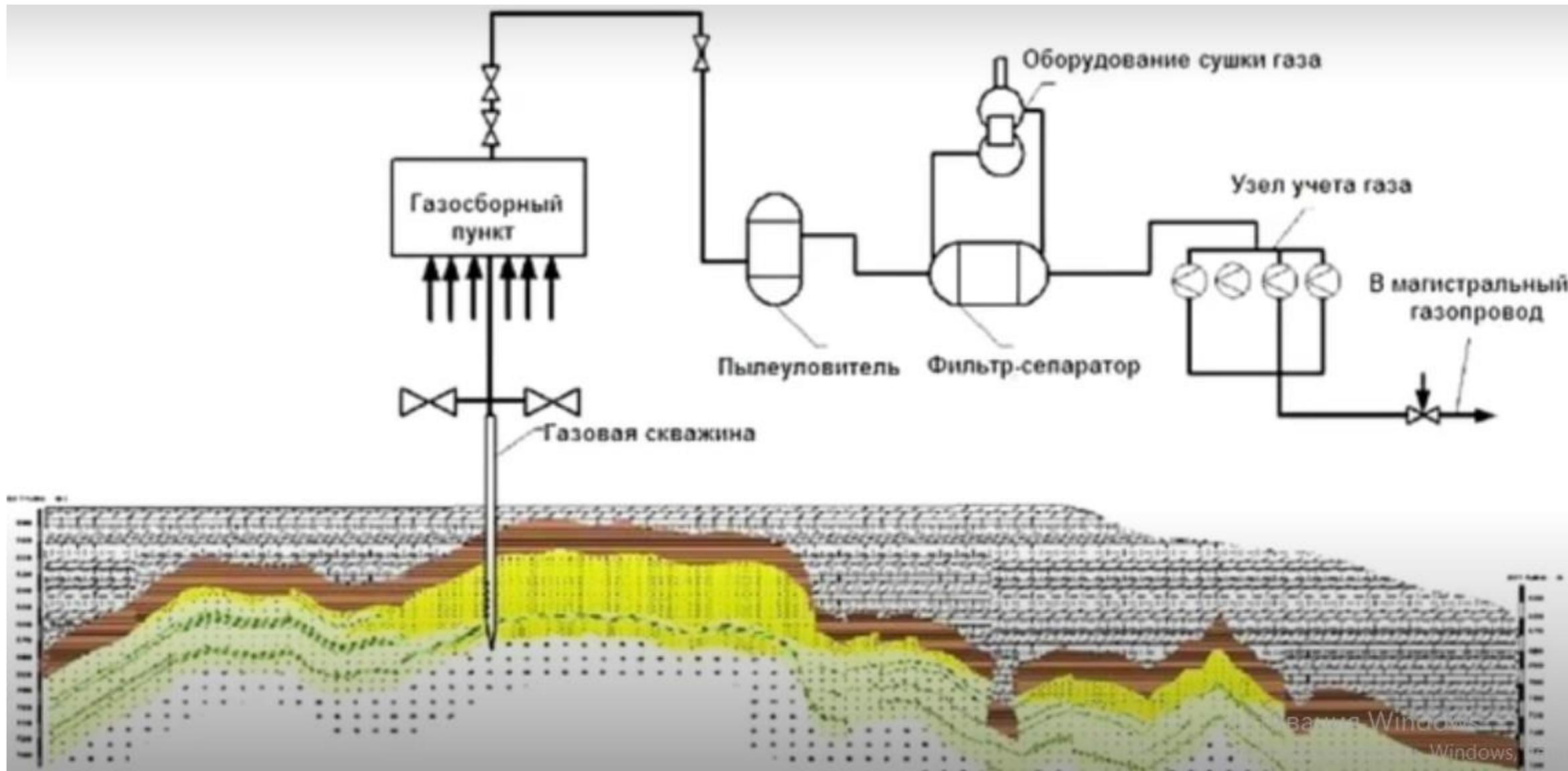


Газоперекачивающий агрегат мощностью 12 МВт на компрессорной станции «Краснодарская»

Параметр	ГПА-6,3	ГПА-12	ГПА-16	ГПА-25
Номинальная мощность, МВт	6,3	12	16	25
Коммерческая производительность, млн. нм <sup>3</sup> /сут	11,5	20,4...32,6	22,0...35,0	44,5...57,0
Давление компрессора, МПа	5,49	5,45...9,61	5,45...8,33	7,45
Степень сжатия	1,44	1,32...1,7	1,44...1,61	1,37...1,5
Политропный КПД компрессора	0,84	0,85-0,86	0,85-0,86	0,85-0,86
Частота вращения ротора силовой турбины, об/мин	8200	6500	5300	5000
Эффективный КПД ГТУ (в станционных условиях)	0,30	0,34	0,363	0,395
Удельный расход топливного газа ГТУ, кг/кВт·ч	0,239	0,208	0,192	0,177
Давление газа (max), МПа:				
- пускового	0,294	0,6	0,6	0,6
- топливного	0,49	3,0	3,2	4,5
Тип масла:				
- двигателя	МС-8П	МС-8П	МС-8П	МС-8П
- компрессора	ТП-22С	ТП-22С	ТП-22С	ТП-22С
Масса, тонн	-	170	220	310
Общий ресурс, тыс. часов	100	100	100	100

- ✓ Закачка газа происходит при переменном давлении и расходе закачиваемого газа.
- ✓ Компрессорные станции (КС) на ПХГ должны иметь большой диапазон регулирования подачи – от 5% в период первоначального заполнения до 100% при проектной приемистости коллектора.
- ✓ Применяют параллельно – последовательное включение агрегатов. Диапазон рабочих давлений КС определяется пластовым давлением, давлением в подводящем газопроводе и потерями давления в пласте, скважинах и шлейфах.

# Принципиальная схема отбора газа



# Осушка газа

**Назначение:** удаление влаги из природного газа с целью достижения требуемой точки росы. Может быть предусмотрена установка абсорбционной осушки природного газа с использованием **диэтиленгликоля (ДЭГ)**.



**Установка осушки газа**

# Работу хранилища характеризует

- ✓ **Объемный параметр:** ёмкость хранилища – активный и буферный объемы газа
  - ✓ **Активный объем**
  - ✓ **Буферный объем**
- ✓ **Мощностный параметр:** суточная производительность при отборе (продолжительность работы хранилища при максимальной производительности)

**Активный газ** – объем газа в пласте коллекторе ПХГ, отбираемый из залежи при эксплуатации ПХГ в период потребности (зависит от геометрических размеров хранилища, формы и глубины залегания, пористости и проницаемости вмещающих ГП,  $t_{\min}$  и  $t_{\max}$  давления ПХГ при эксплуатации, технологии закачек и отборов газа)

- ✓ На **стадии проектирования** объем активного газа рассчитывается теоретическим путем
- ✓ На **стадии эксплуатации** корректируется по фактическим показателям хранилища

**Буферный газ** – минимально необходимый технологический объем газа. Не подлежащий отбору и находящийся в ПХГ для обеспечения его стабильной работы

# ПХГ в истощенных газовых и газоконденсатных месторождениях

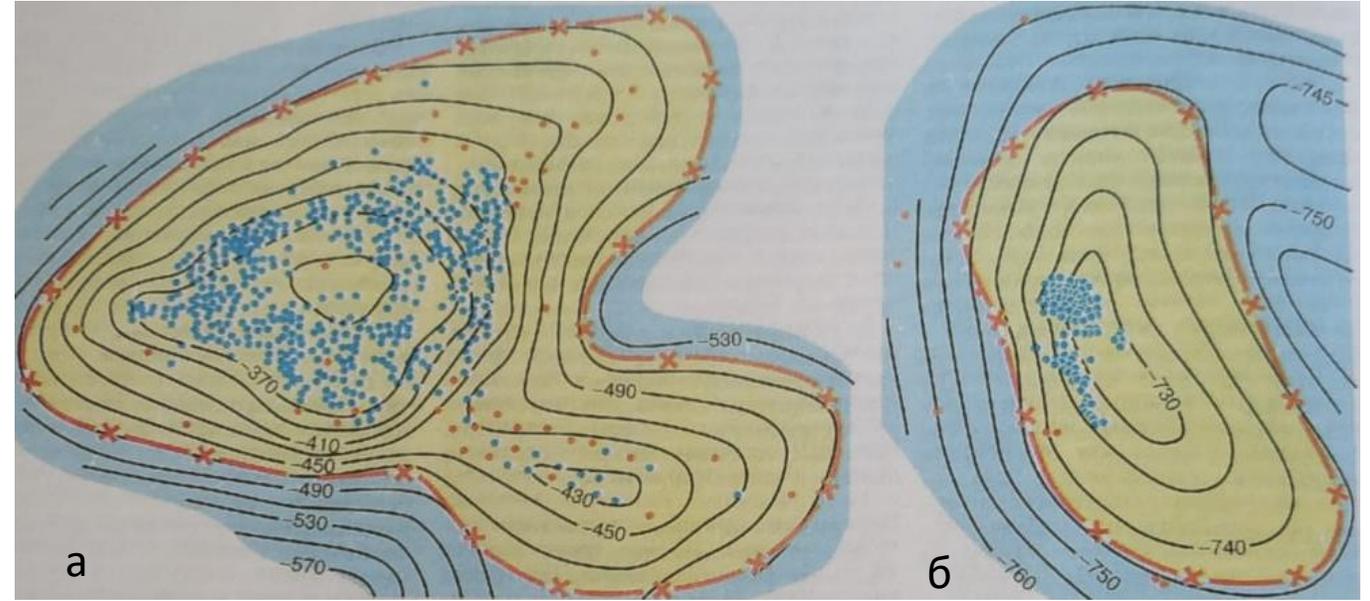
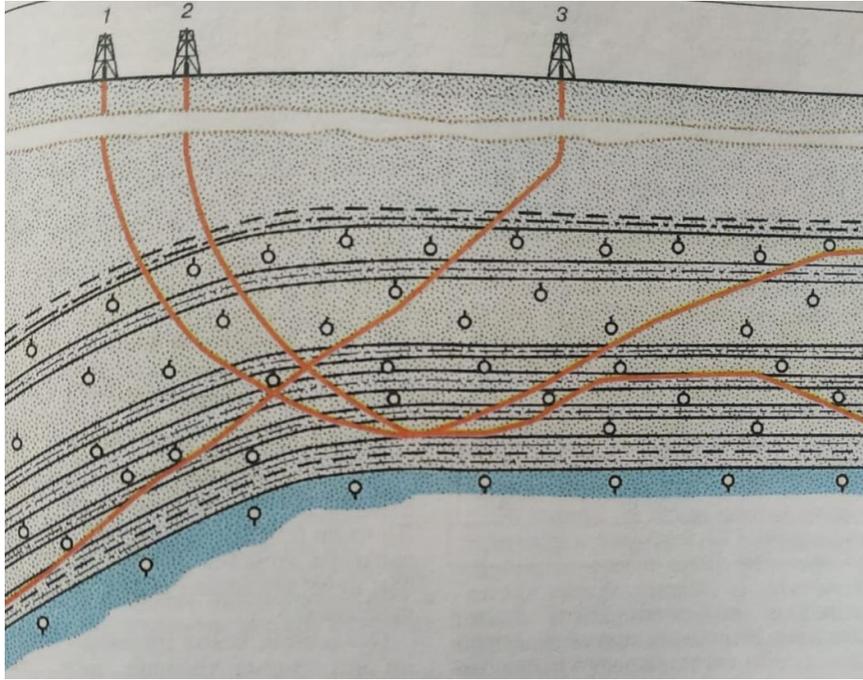
## Преимущества:

- ✓ месторождение полностью разведано
- ✓ известны геометрические размеры и форма площади газоносности, геолого-физические параметры пласта, начальные давления и температура, состав газа, изменение во времени дебитов скважин, режим разработки месторождения, технологический режим эксплуатации, герметичность покрышки
- ✓ на месторождении имеется определенный фонд добывающих, нагнетательных и наблюдательных скважин, промышленные сооружения для получения товарного газа

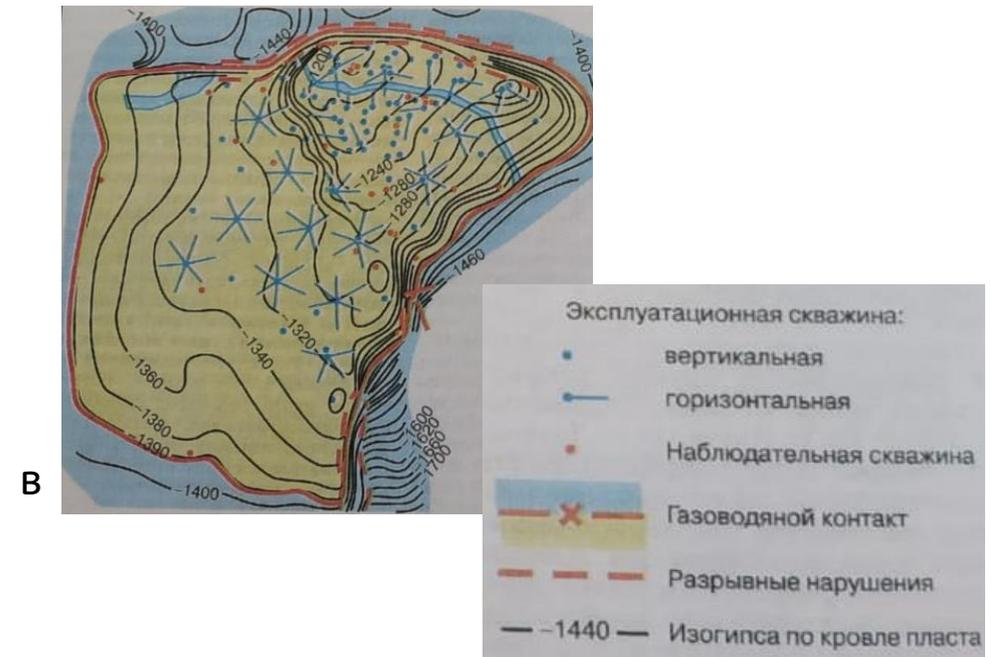
# ПХГ в истощенных газовых и газоконденсатных месторождениях

**При проектировании определяют:**

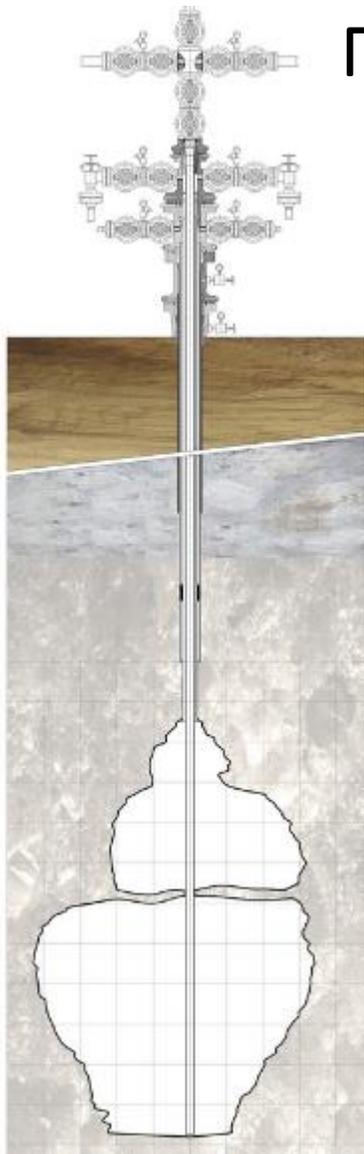
- 1) максимально допустимое давление
- 2) минимально необходимое давление в конце периода отбора
- 3) объемы активного и буферного газов
- 4) число нагнетательно-эксплуатационных скважин
- 5) диаметр и толщину стенок промысловых и соединительного газопроводов
- 6) тип компрессорного агрегата для КС
- 7) общую мощность КС
- 8) тип и размер оборудования подземного хранилища для очистки газа от твердых взвесей при закачке его в пласт и осушки при отборе
- 9) объем дополнительных капитальных вложений, себестоимость хранения газа, срок окупаемости дополнительных капитальных вложений.



Размещение скважин на ПХГ: а и б – соответственно равномерное и сводовое (Северо-Ставропольское ПХГ, хадумская залежь); кустовое (Куцевское ПХГ)



# ПХГ в отложениях каменной соли



Профильный  
разрез резервуара  
1Т Волгоградского  
ПХГ

Применяют два метода размыва:

1. **Циркуляционный** – путем закачки пресной или слабо минерализованной воды и выдавливания на поверхность насыщенного рассола (закачку и отбор проводят через одну, две или несколько скважин).

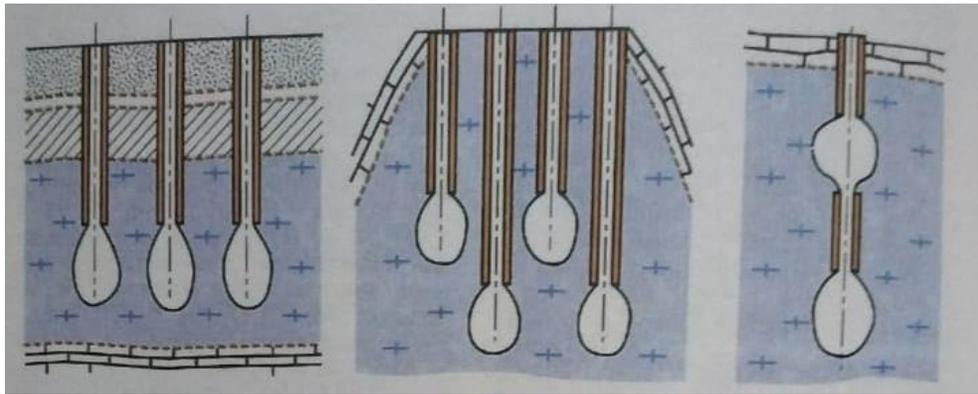
Каменная соль хорошо растворяется в пресной воде. Так, при 20 °С в 1 м<sup>3</sup> воды может раствориться 358 кг соли. Для образования 1 м<sup>3</sup> емкости в среднем требуется 6 – 7 м<sup>3</sup> воды.

2. **Струйный (или орошение)**, когда размыв проводят при помощи струи воды, направляемой на соляные отложения (стенку-камеры) в не заполненном жидкостью пространстве с подачей рассола на поверхность погружными насосами или путем вытеснения его сжатым воздухом.

# ПХГ в отложениях каменной соли

- ✓ Наиболее прочные и устойчивые формы горных выработок – **сфероидальные или сводчатые емкости**
- ✓ Для создания подземных емкостей заданной формы и размеров разработаны специальные процессы размыва с применением и без применения нерастворителя – жидкого или газообразного продукта, который легче воды и химически нейтрален к соли и ее водным растворам. В качестве жидких нерастворителей используют нефть, керосин, дизельное топливо, сжиженный газ, газообразные нерастворители: воздух, природный газ, инертные газы (CO<sub>2</sub> и др.)
- ✓ Управление процессом размыва осуществляется путем изменения положения концов колонны труб, направления и скорости потоков растворителя, регулирования концентрации рассола на входе и выходе из емкости, перемещения контакта рассол – нерастворитель, а также интенсификацией растворимости соли

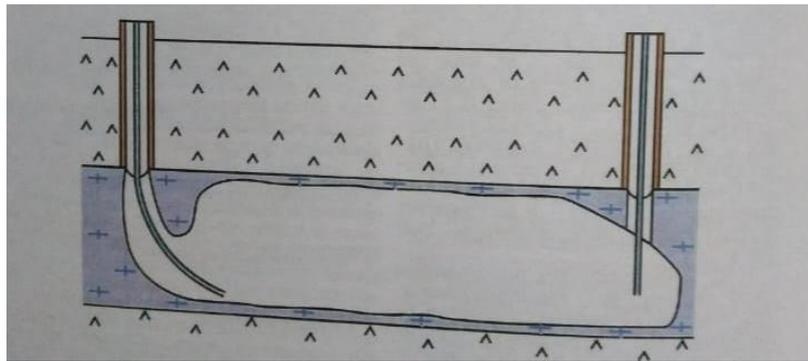
# ПХГ в отложениях каменной соли



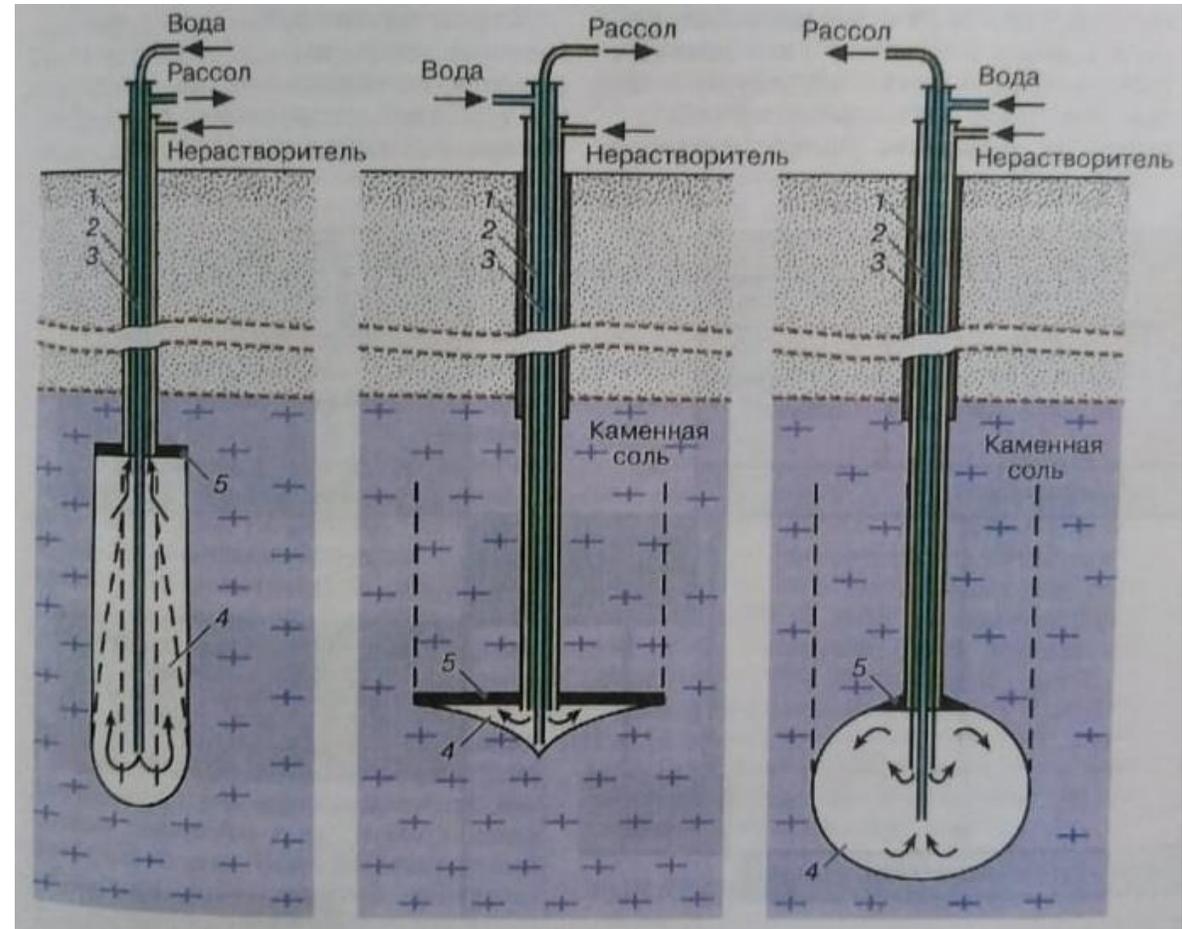
а

б

в



г



а

б

в

Принципиальные объемно-планировочные схемы  
Подземных резервуаров в каменной соли: а и б – вертикальные  
на одном и разном уровне; в – двухярусный на одной  
вертикальной скважине; г - тоннельный

Основные технические режимы подачи растворителя:  
а – прямоточный; б – противоточный; в – сближенный  
противоток; 1 – обсадная колонна, 2 – внешняя  
подвесная колонна труб; центральная подвесная колонна труб,  
4 – выработка-емкость, нерастворитель