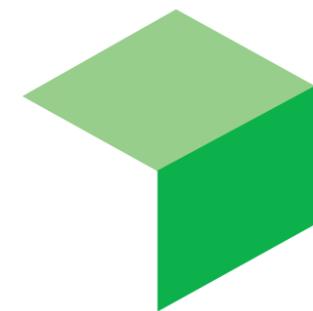




ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»  
ул. Наметкина, д. 16, Москва,  
В-420, ГСП-7, 117997  
Справочное бюро  
тел.: (495) 719-30-01  
[www.gazprom.ru](http://www.gazprom.ru)

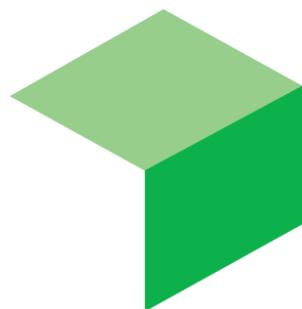


50 ЛЕТ  
ПОДЗЕМНОМУ  
ХРАНЕНИЮ  
ГАЗА  
В РОССИИ



# СОДЕРЖАНИЕ

ПОЧЕМУ ПОДЗЕМНОЕ ХРАНЕНИЕ?	2
КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ	4
СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПХГ В РОССИИ	6
ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО ХРАНЕНИЯ ГАЗА В РОССИИ	8
УНИКАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ	9
СИСТЕМА ПХГ СЕГОДНЯ	12
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС	13
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ ПО СОХРАНЕНИЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	14
ЗАДАЧИ ПРИ СОЗДАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПХГ	15
НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	16
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	24
ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПХГ В ОАО «ГАЗПРОМ»	25



Председатель Правления ОАО «Газпром»  
**А.Б. Миллер**

Особенно велико значение подземных хранилищ газа в условиях нашей страны с ее климатическими особенностями и удаленностью источников ресурсов от конечных потребителей. В России действует уникальная, не имеющая мировых аналогов Единая система газоснабжения, неотъемлемой частью которой является система ПХГ. Подземные хранилища позволяют гарантированно обеспечивать потребителей природным газом независимо от времени года, колебаний температуры, форс-мажорных обстоятельств. В условиях рыночной экономики значение системы подземного хранения существенно повышается – необходимо соответствовать возрастающим требованиям гибкости, оперативности, мобильности поставок газа.

ЕСГ России уже невозможно представить без подземных хранилищ газа. Для более конкретного восприятия потенциала ПХГ, их вклада в ресурсную часть осенне-зимнего периода следует отметить следующее:

- это порядка 22–25 % суточных ресурсов газа ЕСГ, что сопоставимо с суточным объемом экспорта в дальнее зарубежье
- равнозначность суточного отбора газа из ПХГ суммарной суточной добычи газа из Ямбургского, Медвежьего и Юбилейного месторождений
- при стоимости основных фондов не более 3 % от фондов Общества.

Это достаточно убедительно и наглядно.



Заместитель Председателя Правления ОАО «Газпром»  
**А.Г. Анаников**



Член Правления, начальник Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром»  
**О.Е. Аксютин**

Анализируя работу ПХГ за последние годы, можно уверенно констатировать, что по объемным показателям функции системы ПХГ полностью выполняются. Суммарная потенциальная суточная производительность системы ПХГ России составляет 620 млн м<sup>3</sup>, а объем товарного газа – 64,0 млрд м<sup>3</sup>. При этом максимальный объем закачки составил 51,6 млрд м<sup>3</sup>, а максимальный объем отбора – 50,05 млрд м<sup>3</sup>. Нарращивание технической возможности по суточной производительности в период отбора будет обеспечено выполнением «Программы-700» (при этом часть прироста суточной производительности, установленной этой программой, может быть обеспечена за счет ПХГ за рубежом).

# ПОЧЕМУ ПОДЗЕМНОЕ ХРАНЕНИЕ?

Магистральные газопроводы, по которым газ транспортируется от месторождений к местам потребления, работают с относительно постоянной производительностью. Однако потребление газа характеризуется крайней неравномерностью, вызванной сезонными, периодическими (месячными, недельными, суточными), а также рыночными колебаниями спроса. Для сглаживания неравномерности нужны специальные компенсаторы – газохранилища, способные накапливать избытки газа, хранить их и, в случае увеличения спроса, отдавать их потребителям. Хранение значительного количества газа в хранилищах, сооружаемых на поверхности, практически невозможно. Наиболее эффективным и безопасным является подземное хранение газа при большом давлении. В России создана развитая система подземного хранения газа, которая выполняет следующие функции:

- регулирование сезонной неравномерности газопотребления
  - хранение резервов газа на случай аномально холодных зим
  - регулирование неравномерности экспортных поставок газа
  - обеспечение подачи газа в случае штатных ситуаций в ЕСГ
  - создание долгосрочных резервов газа на случай форс-мажорных обстоятельств при добыче или транспортировке газа.
- Подземные хранилища газа (ПХГ) являются неотъемлемой частью Единой системы газоснабжения России и расположены в основных районах потребления газа.

Использование ПХГ позволяет регулировать сезонную неравномерность потребления газа, снижать пиковые нагрузки в ЕСГ, обеспечивать гибкость и надежность поставок газа. ПХГ обеспечивают в отопительный период до 22 % поставок газа российским потребителям, а в дни резких похолоданий эта величина достигает 30 %.

На территории Российской Федерации расположены 25 объектов подземного хранения газа, из которых 8 сооружены в водоносных структурах и 17 – в истощенных месторождениях. 3 объекта – в стадии проектирования и 2 – в стадии строительства.

К осенне-зимнему сезону 2009–2010 гг. запасы товарного газа составили 64,0 млрд м<sup>3</sup>, а суточная потенциальная производительность – 620 млн м<sup>3</sup>. Расширение мощностей ПХГ – одна из стратегических задач Газпрома. Затраты на создание дополнительных мощностей подземного хранения газа для регулирования сезонной неравномерности в несколько раз ниже затрат на создание соответствующих резервных мощностей в добыче и транспорте газа.



Проектом Генеральной схемы развития газовой отрасли до 2030 г. предусмотрена максимальная суточная производительность на уровне 1,0 млрд м<sup>3</sup>.

В настоящее время на территории России ведется строительство двух новых объектов подземного хранения газа: в отложениях каменной соли – Калининградского и Волгоградского ПХГ.

Выполнено обоснование инвестиций на создание установки сжижения, хранения и регазификации природного газа в районе Санкт-Петербурга на объем регазифицированного газа – 140 млн м<sup>3</sup> с пиковой производительностью 28 млн м<sup>3</sup>/сут.

Газпром выходит на новые рынки, диверсифицирует экспортные маршруты поставок газа, что требует создания новых подземных хранилищ. Характерной тенденцией в развитии системы ПХГ является активизация сотрудничества со странами, импортирующими российский газ и обеспечивающими его транзит.

Подземное хранение в ОАО «Газпром» развивается в русле совершенствования корпоративной структуры. В 2007 г. создана дочерняя организация «Газпром ПХГ», которая объединяет все действующие объекты подземного хранения газа, а также подразделения по капитальному ремонту скважин ПХГ. Цель деятельности компании «Газпром ПХГ» – организация хранения природного газа.

«Газпром ПХГ» ведет свою деятельность в 13 субъектах Российской Федерации, объекты предприятия расположены на территориях 18 муниципальных образований. В составе Общества 22 филиала, среди которых 16 управлений по подземному хранению газа, 4 управления аварийно-восстановительных работ и капитального ремонта скважин, а также ряд вспомогательных подразделений. Приоритетными направлениями деятельности компании являются эксплуатация мощного производственного комплекса по хранению газа и выполнение мероприятий в рамках принятой в ОАО «Газпром» стратегии развития ПХГ до 2030 г.

В системе подземного хранения трудятся настоящие профессионалы. От их ответственного отношения к делу зависят стабильное обеспечение топливом миллионов граждан, бесперебойная деятельность энергетических, промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

# КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ

В России с проблемой создания резервов газа впервые столкнулись при строительстве газопровода Саратов–Москва, по которому в столицу должно было подаваться ежедневно более 1 млн м<sup>3</sup> природного газа. Встал вопрос, чем же регулировать суточное неравномерное потребление газа в Москве?

В 1946–1955 гг. в Москве были построены 7 газгольдерных станций, в которых были установлены цилиндрические резервуары диаметром 3 м и длиной около 17 м, с рабочим давлением до 6 атм. Их общая активная емкость составляла около 1,1 млн м<sup>3</sup>. В регулировании суточной неравномерности газоснабжения города они играли определенную роль вплоть до конца 60-х годов, когда потребление газа Москвой составляло менее 10 млрд м<sup>3</sup> газа в год.

В середине 50-х годов в стране началось интенсивное развитие добычи природного газа. Для покрытия и сглаживания неравномерности газопотребления потребовалось создание хранилищ газа большой емкости. Для этих целей единственным решением могло быть только создание подземных хранилищ газа либо в истощенных нефтяных или газовых месторождениях, либо в водоносных структурах-ловушках, отвечающих требованиям герметичности хранимого в них газа, либо в соляных отложениях.

Практические работы по поискам водоносных пластов, пригодных для создания газохранилищ, начались в 1956 г. Они стали проводиться в первую очередь в центральном районе страны – в Московской, Рязанской и Калужской областях.

В мае 1958 г. трест Куйбышевнефтегаз впервые в стране начал проводить экспериментальную закачку газа в Башкатовскую истощенную газовую залежь Уфимской свиты. Глубина залегания залежи около 400 м. Начальное пластовое давление было равным 45,2 атм, начальные запасы газа исчислялись в 30 млн м<sup>3</sup>. За время нагнетания в хранилище подано 9,275 млн м<sup>3</sup> газа, при этом давление в залежи повысилось с 16,5 до 32,7 атм.

В 1958 г. была выполнена опытная закачка газа при давлении нагнетания 35 атм в четыре скважины тульского горизонта Елшано-Курдюмского месторождения в Саратовской области.

Разведка, проектирование и создание ПХГ в водоносных пластах потребовали специальных теоретических исследований и решения ряда газогидродинамических задач.

В 1957 г. была пробурена первая скважина для ПХГ в районе г. Калуги, в 1958 г. – в районе г. Щелково Московской области. Выбор пал на эти районы не случайно, в частности на Калугу.

По ранее проводимым геологическим съемкам Калужское поднятие было хорошо известно, и недалеко от него проходил газопровод Дашава–Киев–Брянск–Москва (ДКБМ).



Уже к началу 60-х годов удалось успешно завершить разведку и строительство первых ПХГ, подготовить к закачке газа Калужскую и Щелковскую структуры. В 1959 г. была произведена первая контрольная закачка в Калужское, а осенью 1960 г. – в Щелковское ПХГ. Сложность строения Калужской структуры определила большой объем разведочных работ. Было пробурено 40 разведочных скважин, которые затем были использованы для закачки газа, разгрузки и наблюдений. Закачка газа велась при помощи двух компрессоров мощностью по 735 кВт, обеспечивающих двухступенчатое сжатие от 25 до 55 атм и от 55 до 125 атм и производительность 500 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В 1959 г. в течение трех месяцев было закачано 23 млн м<sup>3</sup> газа. Закачка велась через 2–4 скважины, максимальное давление на буфере 103 атм, и показала хорошую приемистость скважин до 500 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В течение зимы велось наблюдение за перераспределением давления.

Первая контрольная закачка газа в Щелковское ПХГ (щигровский горизонт) была произведена осенью 1960 г. Вывод на циклический режим работы этого хранилища был осуществлен в течение 6 лет; активная емкость хранилища была доведена до 1,2–1,3 млрд м<sup>3</sup>. Максимальный суточный отбор достигал 18–20 млн м<sup>3</sup> и производился в дни максимальных декабрьских похолоданий.

Создание первых ПХГ имело принципиальное значение для всего дальнейшего развития отечественного подземного хранения газа.

Это был удачный промышленный эксперимент, осуществленный в короткие сроки и в широком масштабе. Уже в 1963–1964 гг. (осенне-зимний период) Москва начала получать газ из этих хранилищ. Режим работы Калужского ПХГ отработывался как режим работы пикового хранилища. На основе этого эксперимента были разработаны принципы поиска и разведки объектов для закачки газа, установлены критерии оценки качества ловушек ПХГ, решены важные методические и методологические вопросы.

В начале 60-х годов проводились уникальные работы по созданию подземного хранилища газа в пологозалегающем водоносном пласте под Ленинградом. На их базе в последующем было создано Гатчинское ПХГ, которое успешно эксплуатируется и в наши дни, играя важную роль в надежном газоснабжении Ленинградской области. В дальнейшем геолого-разведочные работы по созданию подземных хранилищ газа в водоносных пластах проводились уже широким фронтом на территории многих областей в Европейской части РСФСР, а также в Прибалтике, Белоруссии, Украине, Закавказье и Средней Азии. На основании полученных при этом геологических данных были спроектированы, а затем и созданы Касимовское (Россия), Полторацкое (Казахтан), Инчукалнское (Латвия), Осиповичское (Белоруссия), Олишевское, Червонопартизанское (Украина), Абовянское в отложениях каменной соли (Армения) и многие другие подземные хранилища газа.

# СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПХГ В РОССИИ

- **1950–1960 гг.**  
Аманакское  
Калужское
- **1960–1970 гг.**  
Михайловское  
Щелковское  
Гатчинское  
Елшано-Курдюмское ПХГ (2 объекта)  
Песчано-Уметское
- **1970–1980 гг.**  
Дмитриевское  
Кирюшкинское  
Касимовское  
Невское  
Северо-Ставропольское (зеленая свита)  
Канчуринско-Мусинский комплекс (Канчуринское)  
Совхозное  
Степновское (2 объекта)
- **1980–1990 гг.**  
Северо-Ставропольское (хадум)  
Краснодарское  
Пунгинское  
Канчуринско-Мусинский комплекс (Мусинское)
- **1990–2007 гг.**  
Увязовское  
Кушевское  
Карашурское (2 объекта)
- **Строящиеся**  
Волгоградское (соли)  
Калининградское (соли)
- **Проектируемые**  
Беднодемьяновское  
Шатровское  
Удмуртский резервирующий комплекс (5 объектов)



● Действующие объекты ПХГ с активной емкостью менее 5 млрд м <sup>3</sup>	■ Области геолого-разведочных работ (ГРР)
● Действующие объекты ПХГ с активной емкостью более 5 млрд м <sup>3</sup>	— Основные газопроводы
● Строящиеся и проектируемые объекты ПХГ	

## 1955–1958 гг.

- период первых геолого-разведочных работ по поиску геологических структур, пригодных для хранения газа.

## 1958–1970 гг.

- создание первых ПХГ в водоносных пластах: Калужское (1959 г.), Щелковское под Москвой, Гатчинское и Колпинское под Ленинградом, а также использование мелких отработанных газовых месторождений в Самарской области (начало в 1958 г.).

## 1970–1985 гг.

- широкое использование истощенных газовых и газоконденсатных месторождений в Саратовской области (Песчано-Уметское, Елшано-Курдюмское, Степновское ПХГ), Оренбургской области (Совхозное ПХГ), Башкирии (Канчуринское ПХГ)
- создание в водоносном пласте Касимовского ПХГ.

## 1985–1995 гг.

- внедрение концепции создания базовых подземных хранилищ газа как в истощенных месторождениях (Северо-Ставропольское, Кушевское, Пунгинское, Краснодарское ПХГ), так и в водоносных пластах (Невское ПХГ)
- поисково-геолого-разведочные работы на Окско-Цнинском валу с целью выявления водоносных структур
- начаты поисковые работы в Западной Сибири вблизи городов Новосибирск, Омск, Томск и др.

## 1995–2000 гг.

- поисковые работы в Северо-Западном регионе
- внедрение концепции регионального газоснабжения с помощью созданных базовых хранилищ
- расширение, реконструкция и техническое перевооружение действующих ПХГ
- внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами ПХГ.

## 2000–2010 гг.

- увеличение суточной производительности ПХГ
- техническое перевооружение действующих ПХГ
- совершенствование технологии увеличения нефтеотдачи на истощенных месторождениях с помощью создания в них подземных хранилищ газа.



Опыт создания ряда подземных хранилищ газа Газпрома имеет мировое значение. Это крупнейшие в мире: Касимовское подземное хранилище газа – в водоносном пласте и Северо-Ставропольское – газохранилище в выработанном газовом месторождении; уникальное по гидродинамическим параметрам газохранилище в горизонтальном пласте – Гатчинское; оригинальный по инженерному решению Удмуртский резервирующий комплекс.

## Касимовское ПХГ

В 1977 г. в одной из разведанных водоносных структур Окско-Цнинского вала начато создание Касимовского ПХГ. Значительные размеры структуры (6х19 км), а также геологические параметры пласта позволили поэтапно спроектировать объект с самыми большими объемными показателями в мире.

Активный объем, млрд м <sup>3</sup>	12
Максимальный суточный отбор, млн м <sup>3</sup>	130
Суточная закачка, млн м <sup>3</sup>	68
Пластовое давление, МПа	
максимальное	11,5
минимальное	6

Начальное пластовое давление при текущем заполнении искусственной залежи превышено на 45 %.



# УНИКАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ

## Северо-Ставропольское

ПХГ в **хадумском горизонте** создано в истощенной газовой залежи на глубине 650–750 м, с большим объемом высокопроницаемого продуктивного пласта и аномально низким пластовым давлением. Закачка газа в хранилище осуществляется за счет избыточного давления в магистральном газопроводе, а отбор газа из хранилища – с помощью компрессорной станции. Вместе с этим большой объем продуктивного пласта создавал определенные трудности в формировании в хранилище активного газонасыщенного объема. Поэтому было принято решение о центрально-групповом расположении скважин на площади хранилища, что позволило предотвратить растекание закачиваемого газа на периферию залежи и сосредоточить основной объем газа в центральной зоне продуктивного пласта.

	Зеленая свита	Хадумский горизонт
Активный объем, млрд м <sup>3</sup>	5,5	37,8
Максимальный суточный отбор, млн м <sup>3</sup> /сут	37	150
Максимальная суточная закачка, млн м <sup>3</sup> /сут	33	115
Пластовое давление, МПа		
максимальное	8,7	2,9
минимальное	5,6	2

Подземное хранилище газа в **зеленой свите** создано в истощенной газовой залежи на глубине 950–1000 м при упруговодонапорном режиме. К моменту создания хранилища первоначальный газонасыщенный объем залежи был полностью обводнен. Одной из основных задач было системное оттеснение воды и формирование устойчивого газонасыщенного объема при закачке газа, а также контроль за перемещением газоводяного контакта при его отборе. Решение этой задачи осуществлялось методом распределения объемов закачки и отбора газа по площади хранилища, подконтактной закачкой газа и методом зонных закачек и отбора газа. Это позволило добиться контролируемого перемещения газоводяного контакта за пределами зоны расположения эксплуатационно-нагнетательных скважин и обеспечить устойчивую эксплуатацию скважин в условиях проявления упруговодонапорного режима.

Начальное пластовое давление при текущем состоянии формирования залежи превышено на 18,5 %. Закачка газа в хранилище осуществляется газоперекачивающими агрегатами ГКС, а отбор газа из хранилища — за счет избыточного пластового давления.



# УНИКАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ

## Гатчинское ПХГ

В результате структурного бурения, проводимого в 60-е годы в районе г. Гатчина под Ленинградом, было установлено, что поверхность кристаллического фундамента и вышележащие осадочные породы нижнего кембрия образуют пологое валообразное поднятие, протянувшееся с юго-запада на северо-восток, осложненное несколькими куполами. Для целей газохранилища был рекомендован I песчаный пласт Гдовского горизонта мощностью 7,6–10,2 м. Малый размер и незначительная амплитуда выявленных структурных форм, по имеющимся представлениям того времени, не позволяли оценить эту площадь как пригодную для создания ПХГ. Однако теоретические и практические исследования в области подземной гидродинамики показали возможность создания ПХГ в горизонтальных и пологозалегающих пластах.



Условные обозначения  
 ■ – Песчаник  
 □ – Поверхность ГВК  
 ■ – Глина  
 □ – Газ

Активный объем, млн м <sup>3</sup>	200
Максимальный суточный отбор, млн м <sup>3</sup>	2,0
Суточная закачка, млн м <sup>3</sup>	1,8
Пластовое давление, МПа	
максимальное	4,6
минимальное	2,7

## Удмуртский резервирующий комплекс (в стадии проектирования)

это стройная взаимосвязанная система геологических объектов и наземных технологических сооружений в единое экономически эффективное пространство. Комплекс будет включать четыре независимые антиклинальные структуры, расположенные на площади в радиусе 10 км с центральной Карашурской структурой, на которой сосредоточены основные технологические единицы, обеспечивающие его функционирование.

## Суммарные проектные показатели по Удмуртскому резервирующему комплексу

Активный объем, млрд м <sup>3</sup>	2,6
Максимальный суточный отбор, млн м <sup>3</sup>	43
Суточная закачка, млн м <sup>3</sup>	17

Газпром осуществляет все виды работ по проектированию, созданию и эксплуатации ПХГ:

- в водоносных пластах
- истощенных газовых и газоконденсатных месторождениях
- соляных кавернах

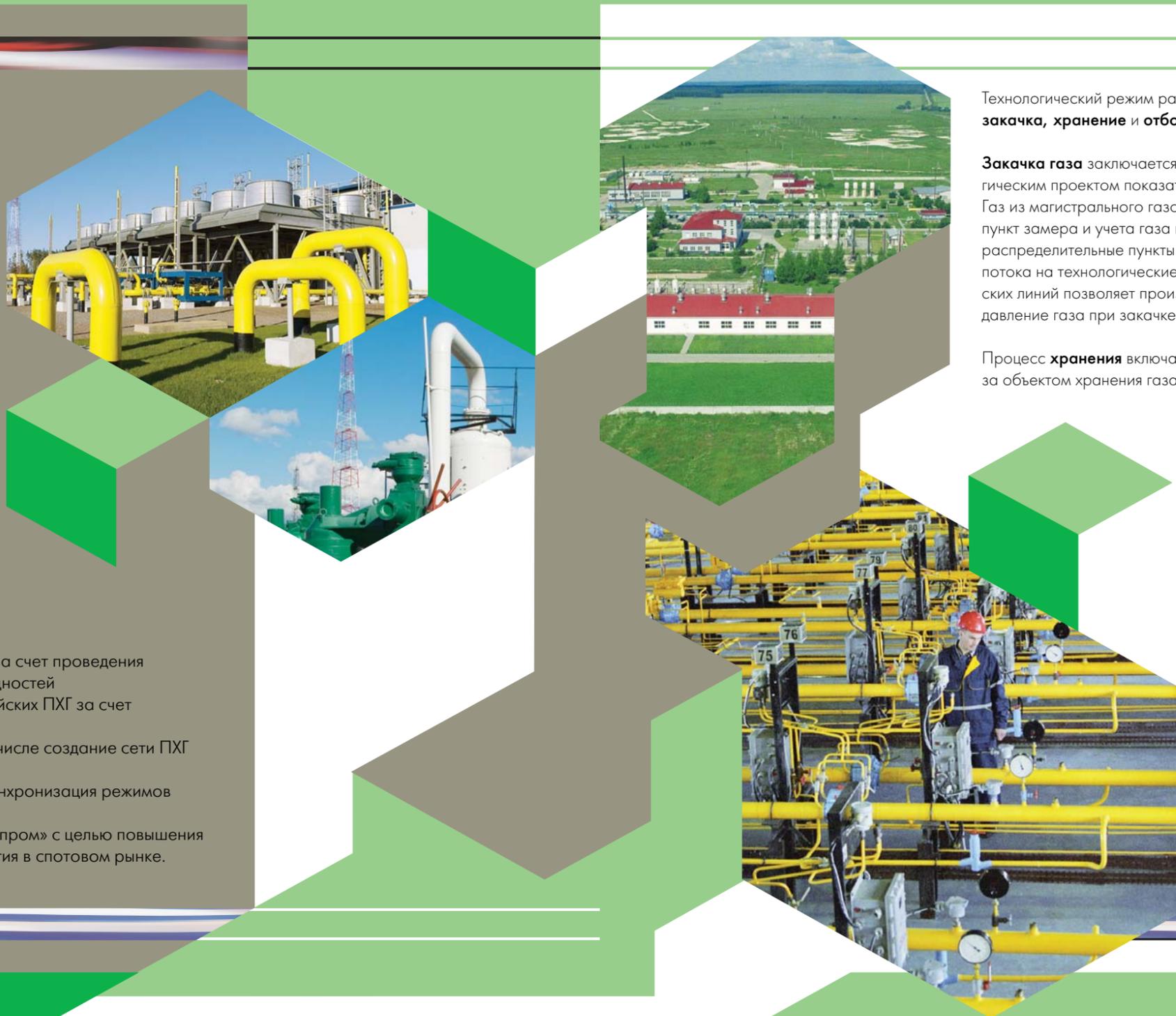
	Количество объектов подземного хранения газа (данные на 01.01.2010 г.)
Всего в эксплуатации	25
Объем товарного газа, млрд м <sup>3</sup>	64,0

Потенциальная суточная производительность на начало сезона отбора (2009–2010 гг.), млн м <sup>3</sup> /сут	620
Количество эксплуатационных скважин	2600
Мощность компрессорных станций, МВт	778

Кроме того, 360 МВт ДКС-1,2 Северо-Ставропольского линейно-производственного управления магистральных газопроводов используется для осуществления отбора газа из Хадумского горизонта Северо-Ставропольского ПХГ.

Стратегия развития ПХГ до 2030 г. основывается на следующих основных принципах:

- поддержание достигнутого уровня мощностей российских ПХГ за счет проведения реконструкции и замещения морально и физически устаревших мощностей
- ускоренное наращивание суточной производительности российских ПХГ за счет расширения действующих и строительства новых ПХГ
- обеспечение мощностями ПХГ дефицитных регионов РФ, в том числе создание сети ПХГ в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке
- оптимальное развитие системы ПХГ вместе с развитием ЕСГ, синхронизация режимов эксплуатации ПХГ и магистрального транспорта газа
- расширение сети ПХГ за рубежом для хранения газа ОАО «Газпром» с целью повышения надежности и гибкости экспортных поставок газа, расширения участия в спотовом рынке.



Технологический режим работы подземного хранилища газа разделяется на три процесса – **закачка, хранение и отбор** газа.

**Закачка газа** заключается в нагнетании его в искусственную газовую залежь при заданных технологическим проектом показателях.

Газ из магистрального газопровода поступает на площадку очистки газа от мехпримесей, затем на пункт замера и учета газа и далее в компрессорный цех, где компримируется и подается на газораспределительные пункты (ГСП) по коллекторам. На ГСП происходит разделение общего газового потока на технологические линии, к которым подключены шлейфы скважин. Обвязка технологических линий позволяет произвести замер производительности каждой скважины, температуру и давление газа при закачке.

Процесс **хранения** включает системный технологический, геологический и экологический контроль за объектом хранения газа и созданными производственными фондами.

**Отбор** газа из подземного хранилища является практически таким же технологическим процессом, как и добыча газа из газовых месторождений, с одним существенным отличием: весь активный (товарный) газ отбирается за период 60±180 сут.

Проходя по шлейфам, газ поступает на газосборные пункты, где собирается в газосборный коллектор. Из газосборных коллекторов газ поступает на площадку сепарации для отделения пластовой воды и мехпримесей, после чего направляется на площадку очистки и осушки газа, где происходят улавливание капельной жидкости в пылеуловителях и абсорбционная осушка или низкотемпературная сепарация. Очищенный и осушенный газ поступает в магистральные газопроводы.

Сложность эксплуатации подземного хранилища во время отбора газа обуславливается воздействием внешних и внутренних факторов. Сюда можно отнести неоднородность литологического строения и физических свойств пласта-коллектора, от которых во многом зависят характер замещения газа водой, неравномерность отбора газа по площади, наличие в продукции скважин пластовой воды и частиц породы, возникновение гидратов в газопроводах и местах сопротивления (узел редуцирования, запорная арматура) и многое другое.

# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ ПО СОХРАНЕНИЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

## Поддержание безопасной эксплуатации системы ПХГ – задача высшего приоритета

Начиная с разведки и проектирования ПХГ, Газпромом решается целый ряд геоэкологических вопросов, связанных с воздействием на геологическую среду (горные породы и подземные воды) и объекты окружающей природной среды (атмосфера, почва, водные объекты).

Используются новейшие технологии, оборудование и методы по снижению негативного воздействия на горные породы, гидрогеологические условия и окружающую среду.

Жизнедеятельность объектов подземного хранения газа соответствует природоохранным, техническим, социальным нормативам и стандартам при эксплуатации объектов газовой отрасли.

Газпром создает и внедряет на ПХГ экологически ориентированные технологии и решения, тактические меры по минимизации техногенного воздействия на окружающую среду. Следование разработанным техническим и экологическим нормативам в течение всего жизненного цикла ПХГ позволяет поддерживать статус высокой технической надежности и экологической стабильности ПХГ.

## Технические и управленческие меры в обеспечении экологической безопасности предприятий ПХГ

- Организация и управление ПХГ
- Снижение атмосферных эмиссий
- Внедрение новых технологий и методов сжигания природного газа
- Создание малозумных ГПА как компромисс между техническими возможностями и экономической целесообразностью
- Совершенствование системы водопользования
- Снижение воздействия жидких и твердых отходов.



# ЗАДАЧИ ПРИ СОЗДАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПХГ

## Вопросы, решаемые при создании подземных хранилищ газа в структурах водоносных пластов:

- определение превышения максимального давления нагнетания над начальным пластовым
- определение коэффициента вытеснения воды газом
- оптимизация заполнения ловушки газом и осушение зоны размещения скважин
- определение оптимальной сетки размещения скважин
- оптимизация соотношения буферного и активного объемов газа
- контроль за герметичностью хранилища.

## Вопросы, возникающие при создании и эксплуатации подземных хранилищ газа в истощенных газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождениях:

- неполная информация о свойствах пласта
- неточные данные об остаточных запасах
- недостоверная информация о режиме работы пласта
- полное заводнение некоторых месторождений
- резкая площадная и вертикальная неоднородность
- диагностирование состояния и утилизация старых скважин
- учет превышения темпов закачки или отбора газа над темпами добычи
- вторичная добыча нефти и конденсата.

Научные центры и организации ОАО «Газпром» имеют практический опыт решения всех указанных научно-технических вопросов!

## От испытания пластов к геологотехнологической модели

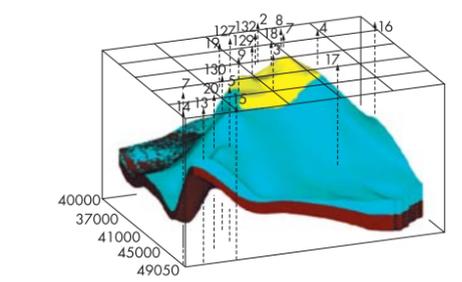
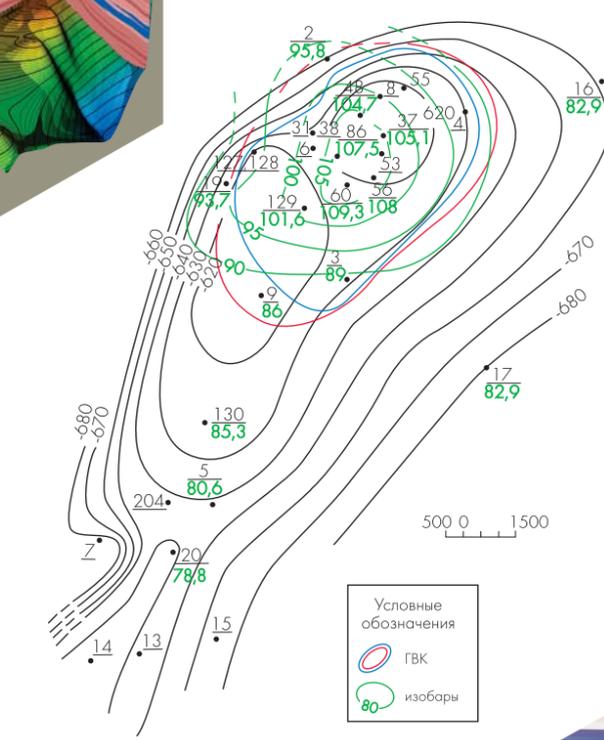
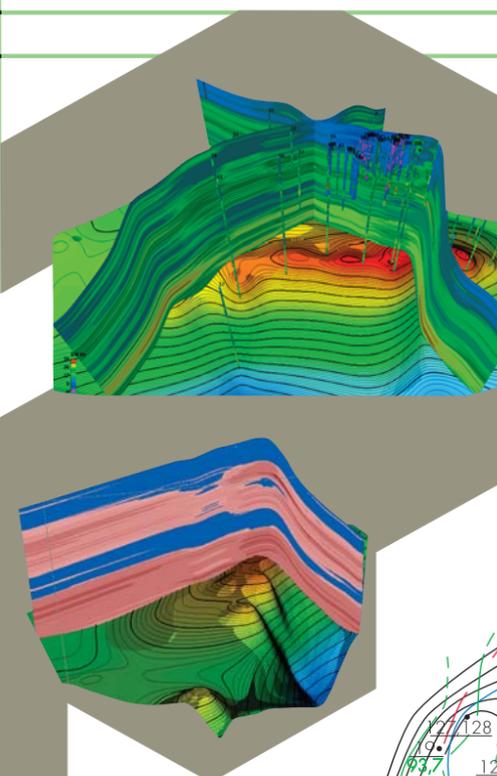
Методы, применяемые для мониторинга недр при эксплуатации ПХГ, можно подразделить на **гидрохимические, геофизические, промысловые (аналитические и гидрогазодинамические)**. **Гидрохимические методы** заключаются в определении качественного и количественного изменения во времени газонасыщенности пластовых вод в вышележащих контрольных горизонтах и водоносной части пласта-коллектора. Данные исследования проводятся по всем наблюдательным и контрольным скважинам ПХГ. В результате проведенных исследований оценивается общее содержание растворенного газа, наличие метана и его гомологов, давление насыщения растворенного газа, минерализация и химический состав пластовой воды.

К **геофизическим методам** относятся сейсморазведка, электро-разведка, гравиразведка, радон-тороновая съемка, подпочвенная газовая съемка, каротажные работы и др.

### Геофизические исследования скважин решают следующие задачи:

- литологическое расчленение разреза и оценка подсчетных параметров
- контроль положения контура газонасыщенности (ГВК) и оценка насыщенности в переходной зоне
- контроль герметичности заколонного пространства
- оценка масштабов и видов влияния в системе «окружающая среда – ПХГ»
- создание корпоративной базы геоинформационной системы (ГИС).

К **промысловым методам** относятся методы, связанные непосредственно с контролем основных параметров эксплуатации хранилища. **Аналитические работы осуществляются** в рамках авторского надзора институтом – автором технологического проекта.



## Геолого-технологическое моделирование подземных хранилищ газа в пористых пластах

Цифровая геологотехнологическая модель подземного хранилища газа строится на основе комплексирования данных исследования, обобщения всей имеющейся информации об объекте, а также фундаментальных знаний в области геологии, геофизики и разработки.

### Комплекс геологического моделирования обеспечивает выполнение следующих работ:

- построение цифровой геологической модели
- дифференцированный подсчет объема ловушки (объемным методом) или объекта хранения
- промыслово-геофизический анализ текущего состояния залежей
- подготовка цифровой геологической модели для передачи в комплекс фильтрационного моделирования и др.

### Программные комплексы фильтрационного и газодинамического моделирования позволяют проводить необходимые работы по следующим направлениям:

- построение и просмотр цифровых фильтрационных и газопромысловых моделей
- адаптация используемых цифровых фильтрационных и газопромысловых моделей по истории хранения газа, данным эксплуатации и исследования скважин, а также их обратная связь по корректировке цифровой геологической модели
- дифференцированный подсчет аккумулируемых и дренируемых объемов газа в пласте (газогидродинамическим методом)
- оперативный расчет режимов работы ПХГ и визуализация полученных результатов.

## Автоматизированная система управления

**Эффективный и современный контроль над созданием и эксплуатацией газового хранилища**  
Оперативный контроль объектов ПХГ осуществляется с помощью автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), которая представляет собой комплекс технических и программных средств, направленных:

- на повышение оперативности управления технологическими объектами
- повышение надежности работы оборудования
- предупреждение аварийных ситуаций
- улучшение условий работы персонала и др.

АСУ ТП реализуется как многоуровневая система, при которой информация, поступающая с датчиков и исполнительных механизмов, централизуется и представляется на экраны мониторов в компактной и наглядной форме в виде мнемосхем, трендов (диаграмм) и табличных ведомостей.

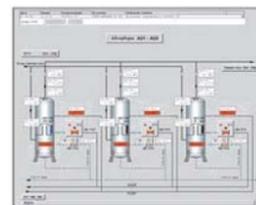
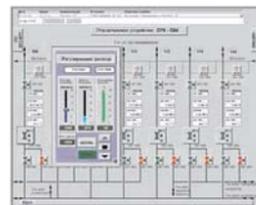
**Первый уровень** – датчики, регулирующая и запорная арматура.

**Второй уровень** – станции автоматического регулирования и логического управления, в качестве которых используются контроллеры. Контроллеры также предназначены для сбора и обработки информации о технологических параметрах, положении запорной и регулирующей арматуры.

**Третий уровень** – рабочая станция сменного инженера для визуального отображения хода технологического процесса и управления.

Функции АСУ ТП на современном объекте подземного хранения газа:

- сбор и обработка данных технологического процесса в реальном времени
- аналоговое и цифровое регулирование
- представление данных технологического процесса на экранах мониторов в наглядной, компактной, обзорной форме
- обработка сообщений об изменениях технологического процесса и управление процессами в аварийной ситуации
- организация базы данных
- архивирование данных, создание отчетов.



**Все современные подземные хранилища газа оснащены автоматизированными системами управления производственным процессом**

Автоматизированное рабочее место геолога ПХГ позволяет производить расчет:

- пластового давления в скважинах по давлению на устье
- дебита скважин
- режимов эксплуатации ПХГ
- параметров резервуара (объем, запасы газа) по сеточной модели на любой момент времени
- поля пластовых давлений на двухмерной сеточной модели, покрывающей всю площадь ПХГ для отбора и закачки на заданное время
- величин средневзвешенного по объему пластового давления целиком по залежи и в зоне отбора/закачки
- прогнозный расчет режимов ПХГ с учетом неоднородности пласта
- расчет запасов.



## Современные методы ремонта скважин – продление ресурса ПХГ

Капитальный ремонт скважин на ПХГ позволяет:

- обеспечить надежную эксплуатацию объекта
- совершенствовать конструкцию скважин в соответствии с современными техническими решениями
- увеличивать производительность.

### Технологии, применяемые на ПХГ Газпрома

■ Внедрение безглинистых биополимерных буровых растворов для глушения скважин и вскрытия пласта. В качестве биополимерной основы используется ксантановая камедь российского производства «Сараксан». Применение биополимерного раствора позволяет сохранить естественную проницаемость пласта, снизить интенсивность поглощений и сократить сроки освоения скважины.

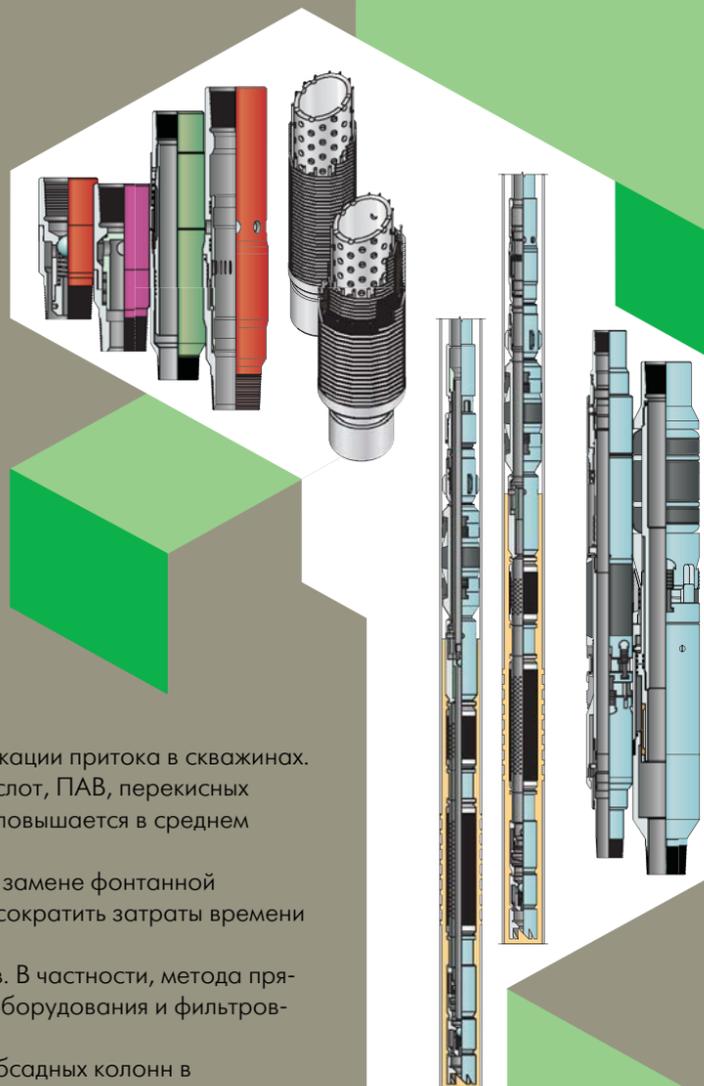
■ Совершенствование технологии химического крепления пласта-коллектора системами на основе полиорганосилоксана (кремнийорганический силосан). Применение новых систем для химического крепления пласта-коллектора позволило снизить или полностью остановить вынос пластового песка без глушения скважины и замены забойного оборудования.

■ Проведение работ по повышению продуктивности и интенсификации притока в скважинах. Применяются системы на основе органических и неорганических кислот, ПАВ, перекисных соединений. В результате работ по интенсификации дебит скважин повышается в среднем в два-три раза при значительном снижении депрессии.

■ Применение гидравлических пакеров для отсекаания пласта при замене фонтанной арматуры без установки цементного моста позволяет существенно сократить затраты времени и материалов при проведении ремонта скважин.

■ Применение новых технологий сооружения гравийных фильтров. В частности, метода прямой циркуляции с использованием специального технологического оборудования и фильтров-каркасов, изготовленных полностью из нержавеющей стали.

■ Фрезерование или щелевая гидромеханическая перфорация обсадных колонн в интервале пласта-коллектора.



## Диагностическое обследование – это необходимое условие надежной эксплуатации газохранилища

На объектах ПХГ выполняется полный цикл диагностических работ при помощи современных методов.

### Технические устройства, оборудование и сооружения, на которых производятся работы:

- сосуды, работающие под давлением (пылеуловители, фильтры-сепараторы, сепараторы, абсорберы и др.), емкости и резервуары
- наземные и подземные технологические трубопроводы (шлейфы, внутри- и межпромысловые коллекторы, обвязки скважин, трубопроводы газораспределительных и газосборных пунктов, установок подготовки газа)

- скважины различного назначения, фонтанная арматура и колонные головки скважин объектов подземного хранения газа, причем работы выполняются без глушения скважин
- потенциально опасные участки линейной части трубопроводов (переходы через авто- и железные дороги, пересечения трубопроводов, воздушные переходы и т.д.)
- запорно-регулирующая арматура, быстросъемные затворы
- компрессорное оборудование
- трубопроводы обвязок оборудования и подключающих шлейфов и компрессорных станций
- подъемные сооружения.

Проводятся исследования напряженно-деформированного состояния трубопроводов и конструкций расчетными методами, по результатам которых осуществляется ремонт элементов обвязки оборудования и изоляционных покрытий технологических трубопроводов.

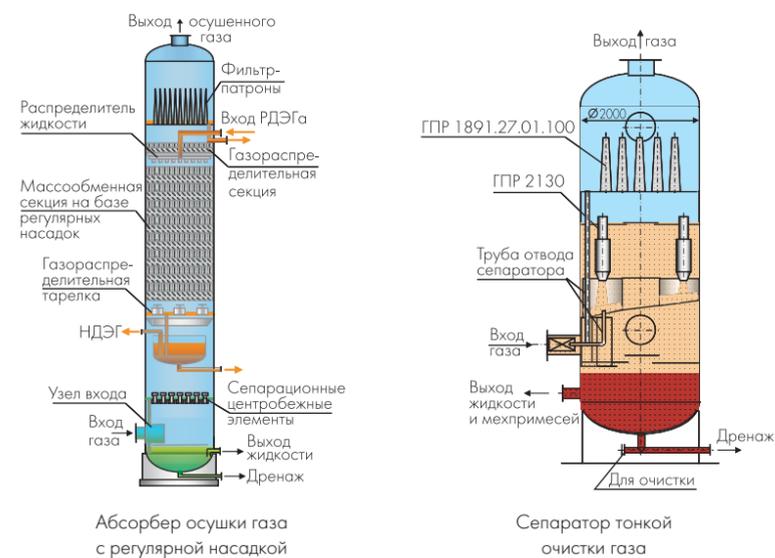


## Качественная подготовка газа к транспорту как важный элемент работы ПХГ

Оборудование для подготовки газа к транспорту на ПХГ должно отвечать более жестким условиям, чем при добыче газа ввиду низкой (вплоть до отрицательной) температуры газа в начальный период отбора, резких колебаний производительности в течение суток, наличия нефти и конденсата во флюиде, высокой минерализации пластовой воды. Падение пластового давления в течение сезона отбора сопровождается повышением негативного влияния на качество осушки газа.

### Эти вопросы решаются следующими методами:

- применение высокоэффективных первичных сепараторов (унос капельной влаги до 5–6 мг/м<sup>3</sup> газа, механических примесей – 3 мг/м<sup>3</sup>, углеводородов – 15 мг/м<sup>3</sup>), промывка газа от солей
- применение технологий осушки газа при высоком давлении
- применение оборудования с широким диапазоном эффективной работы и низкой инерционностью
- дросселирование газа до давления в магистральном газопроводе после установки осушки
- регенерация гликоля в установках с мягким режимом нагрева (использование термосифонов, применение выносной камеры сгорания).



## Газоперекачивающие установки нового поколения для подземных хранилищ газа

### ГПА-10 ПХГ Урал

Номинальная объемная производительность, приведенная к температуре 20 °С и давлению 760 мм рт.ст, м<sup>3</sup>/сут

Степень повышения давления в компрессоре

Максимальное конечное давление закачиваемого газа, кгс/см<sup>2</sup>

Максимальная мощность привода, МВт

Частота вращения ротора свободной турбины и ротора компрессора на номинальном режиме, об./мин

Диапазон изменения частоты вращения силовой турбины, %

Эффективный КПД привода на муфте выходного вала ГТУ на номинальном режиме, %

4,966 · 10 <sup>6</sup>
2,4
156
9,6
8900
70–105
31,4

### ГПА-4РМ

Газоперекачивающий агрегат ГПА-4РМ для газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» разработан ОАО «НПО «Са-турн». Для применения в составе агрегата был специально спроектирован газотурбинный двигатель ГД-4РМ.

Эффективный КПД двигателя на номинальном режиме на муфте приводного вала СТ не менее 32 % подтвержден испытаниями при эксплуатации. В агрегате применяется центробежный нагнетатель разработки и изготовления ОАО «Невский завод». На головном образце агрегата установлен ЦБН «47-71-1», позволяющий получить на номинальном режиме в семи ступенях степень сжатия 2,4, при производительности 3,44 млн м<sup>3</sup>/сут (39,8 м<sup>3</sup>/с), при политропическом КПД – 80 %.

Максимальное давление компримируемого газа в нагнетающей магистрали 11,5 МПа. В качестве системы автоматического управления ГПА-4РМ применена мультипроцессорная система комплексного управления МСКУ 5000-01 производства ЗАО НПФ «Система-Сервис» (в головном образце МСКУ-СС-4510).

ОАО «Газпром» добивается эффективности, надежности и гибкости поставок газа путем создания и использования ПХГ за рубежом, что является одним из важных элементов стратегии развития ПХГ.

С 1991 г. ОАО «Газпром» хранит газ на территории Латвии и в настоящее время активно участвует в реконструкции и расширении Инчукалнского ПХГ.

С 1993 г. в Германии в рамках совместного предприятия ВИНГАЗ эксплуатируется крупнейшее в Западной Европе ПХГ Реден. ООО «Газпром экспорт» хранит газ на контрактной основе в ПХГ Австрии, Германии, Великобритании.

ОАО «Газпром» участвует в эксплуатации и расширении ПХГ Хайдах на востоке Австрии. По объемам газа и производительности, на первом месте в Европе – газохранилище Реден в Германии, в перспективе второе место займет газохранилище Хайдах.

ОАО «Газпром» также участвует в акционерном капитале других компаний, которые имеют и эксплуатируют ПХГ: ЗАО «АрмРосГазпром» (Армения), АО «Латвияс газе» (Латвия), VNG AG (Германия).

Достигнуты соглашения о строительстве ПХГ Банатский двор в Сербии, Пустафёльдвар в Венгрии. Начаты работы по строительству газохранилища Катерина в Германии.

ОАО «Газпром» активно участвует в работе МГС и ЕЭК ООН, развивает научно-техническое сотрудничество с компаниями-партнерами во Франции, Германии, Голландии, Китае.



## ОАО «Газпром» выполняет все работы, связанные с созданием ПХГ

- Технико-экономическое обоснование целесообразности создания ПХГ.
- Выбор объекта.
- Геологические и геофизические исследования.
- Подготовка проекта.
- Бурение скважин.
- Строительство наземных сооружений.
- Контроль над всеми этапами создания ПХГ.
- Авторский надзор за созданием и эксплуатацией ПХГ.
- Геолого-технический аудит ПХГ.
- Эксплуатация ПХГ, оптимизация показателей.
- Реконструкция, модернизация и техническое перевооружение.
- Подготовка и повышение квалификации персонала.

## ПХГ ОАО «Газпром»: от проектирования до эксплуатации с соблюдением целого ряда геолого-технических характеристик на одном объекте

	Минимум	Максимум
Активная емкость, млн м <sup>3</sup>	50	25 000
Максимальная суточная производительность, млн м <sup>3</sup>	0,4	150
Время отбора при максимальной производительности, сут	50	180
Число скважин, ед.	1	649
Начальное пластовое давление, МПа	3,5	20,0
Глубина залегания, м	350	3500
Амплитуда ловушки, м	6	600
Мощность пласта, м	5	450
Режим эксплуатации залежи	Газовый, водонапорный	
Тип коллектора	Поровый, трещиновато-поровый	

Кроме того, Газпром обладает техноло гией хранения гелия. На территории России создано 6 емкостей для хранения гелия общим геометрическим объемом 235 тыс. м<sup>3</sup>, при максимальном давлении – 18,5 МПа.

