

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Общие сведения о подземных хранилищах.....	4
1.1 Хранение газа в отложениях каменных солей.....	5
1.2 Метод глубинных взрывов.....	7
1.3 Шахтные хранилища.....	9
1.4 Льдогрунтовые хранилища.....	11
1.5 ПХГ в водонасыщенных пластах и выработанных месторождениях 12	
2. ПХГ в России.....	16
3. Заключение.....	18
Список использованной литературы.....	19

## ВВЕДЕНИЕ

Доля потребления энергии в виде природного газа составляет 23%.

Газ пользуется большой популярностью благодаря своей распространенности, удобству в использовании и относительно низкой степени опасности для окружающей среды. Так, по сравнению с углем природный газ при горении производит на 40% меньше двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>), тонкодисперсных частиц (PM<sub>2.5</sub>), диоксида серы (SO<sub>2</sub>) и оксидов азота (NO<sub>x</sub>).

По данным Международного энергетического агентства, природный газ оказался лидером в категории ископаемых видов топлива по темпам прироста объемов потребления за период с 2006 года по 2019. В базовом сценарии к 2040 г. прогнозируется рост мирового потребления газа до 5,3 трлн куб. м – это более чем на 60% превышает уровень 2010 г.

Из-за увеличения объемов добычи природного газа становится актуальной разработка новых хранилищ газа.

Для хранения углеводородов уже многие десятилетия используются наземные металлические и железобетонные резервуары. Однако эти сооружения имеют существенные недостатки: высокая стоимость строительства и эксплуатационных расходов, значительные металлозатраты, повышенная взрыво- и пожароопасность, большая площадь застройки, значительные потери хранимых продуктов от больших и малых «дыханий» и др.

В XX столетии, кроме традиционных, разрабатывались и более эффективные методы сооружения и хранения углеводородов в подземных хранилищах, располагаемых в верхней части земной коры.

В данной работе рассмотрены основные типы подземных хранилищ, их параметры, основные преимущества и недостатки.

## **1. Общие сведения о подземных хранилищах**

Подземные газохранилища – это системы сооружений, предназначенные для резервирования больших объёмов природного газа. Как правило, они способны вмещать сотни миллионов, а в некоторых случаях и миллиарды кубометров газа.

Подземные хранилища газа (ПХГ) формируют вблизи крупных центров газопотребления. По большей части они представляют собой систему «природных» ёмкостей, расположенных на глубинах от 300 м до 1 км.

Главная задача ПХГ – накапливать газ в течении летне-осеннего периода для того, чтобы выровнять потребление зимой и весной, поскольку в эти сезоны потребительский спрос на газ возрастает.

В зависимости от способа сооружения ПХГ делятся на:

- ПХГ, сооруженные в водонасыщенных пластах, или в выработанных месторождениях нефти и газа;
- ПХГ, которые образуются при размыве каменных солей через скважины;
- ПХГ, созданные в прочных горных породах, шахтах и отработанных рудниках;
- ПХГ в пространствах, образовавших в результате подземного взрыва;
- ПХГ в порах вечномерзлых пород;
- Низкотемпературные подземные хранилища, покрытые ледяной оболочкой.

## 1.1 Хранение газа в отложениях каменных солей

Каменная соль, или по-другому ее иногда называют галитом, имеет достаточно высокий предел прочности в совокупности с низкой проницаемостью. Эти факторы весьма благоприятны для создания в таких отложениях различных подземных емкостей.

ПХГ в отложениях солей сооружаются посредством размыва. Технология строительства такого ПХГ представлена на рисунке 1.

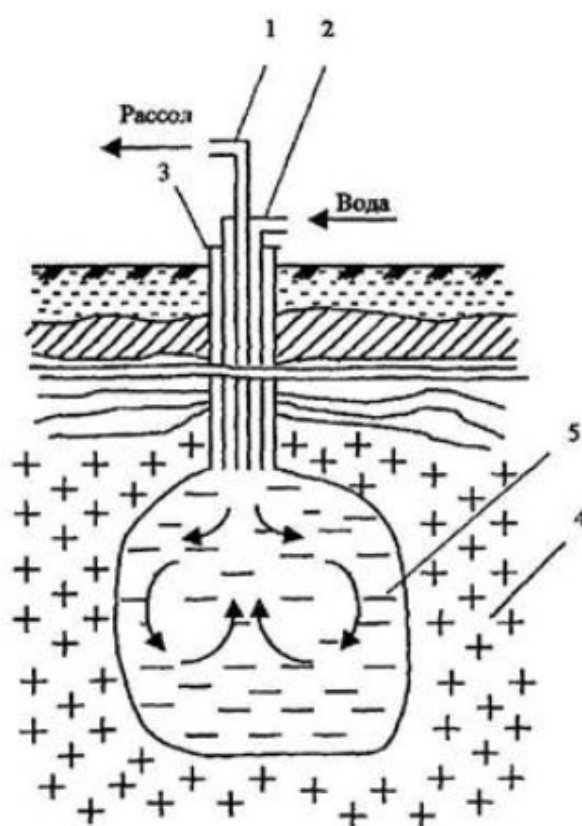


Рисунок 1 – схема сооружения подземной емкости в отложениях каменной соли. 1 – Рассолоотводящая труба; 2 – водоподающая труба; 3 – обсадная труба; 4 – соляной пласт; 5 – соляной раствор.

Работы выполняются в следующей последовательности. В первую очередь бурится скважина, которая вскрывает верхнюю кровлю пласта (4).

Затем в эту скважину устанавливают обсадную трубу (3). В трубу (3), в свою очередь, до уровня кровли планируемого хранилища опускается водоподающая труба (2) а также рассолоотводящая труба (1).

Вода в пласт закачивается под высоким давлением. Это вызывает растворение соли. Образующийся раствор откачивают по трубе (1). Трубы 1 и 2 постепенно опускаются глубже. Это позволяет довести размер подземной емкости до необходимого. В последующем газ закачивается в пласт стандартными средствами (через скважины, компрессорными установками).

Достоинства метода:

- Каменные соли имеют низкую проницаемость, поэтому созданное в них хранилище надежно и герметично;
- Возможность контролировать объем сооружаемого хранилища. Нужны малые объемы – размывают немного, нужно больше – размывают еще;
- Газ, хранящийся в отложениях соли будет подвергаться минимальным загрязнениям со стороны пласта в процессе хранения.

Недостатки метода:

- Необходимость производить размытие, что требует больших экономических вложений. Прежде чем закачать газ, придется создать емкость;
- Сложно найти соляную залежь достаточного для строительства ПХГ объема. Как правило емкостей, сформированных в отложениях для газа недостаточно.

Именно по этим причинам в РФ всего одно хранилище в отложениях каменной соли (Калининградское).

## 1.2 Метод глубинных взрывов

Данный тип хранилищ создается там, где отсутствуют отложения каменной соли достаточной мощности. Наиболее предпочтительно создание хранилищ в водоупорных глинах. В отличие от кристаллических пород в результате внутреннего взрыва пластичные породы под действием высокого давления, образующегося при взрыве, не разрушаются, а уплотняются и приобретают повышенную прочность и герметичность.

Сооружения ПХГ глубинными взрывами показано на рисунке 2.

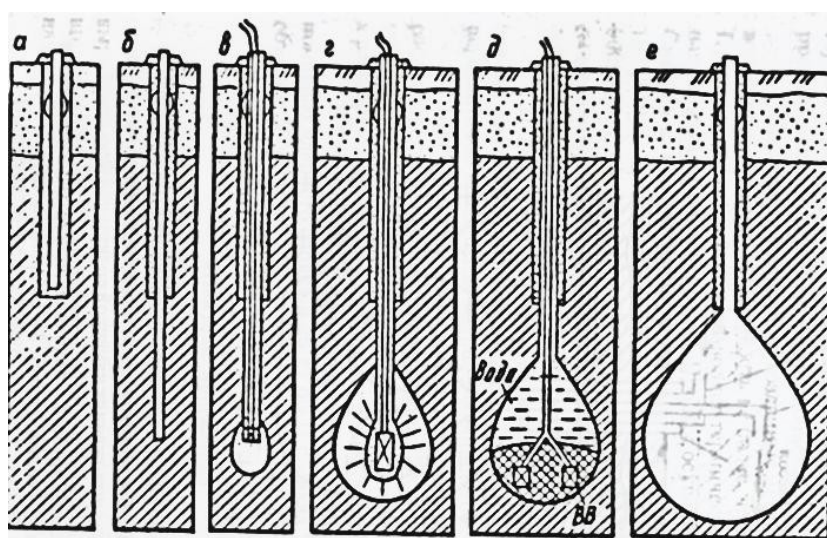


Рисунок 2 – схема последовательности работ при создании хранилищ методом глубинных взрывов. а – бурение скважины на начальный размер; б – обсадка скважины (цементация затрубного пространства и бурение скважины на конечный размер); в – первый «прострел» скважины; г, д – взрыв основного заряда ВВ; е – готовое подземное хранилище.

Сначала бурят скважину нужной глубины. Ее стенки укрепляют с помощью обсадных труб и цементируют. Затем двумя предварительными взрывами создают зарядную камеру, в которую помещают основной заряд взрывчатого вещества. Необходимая полость получается в результате основного взрыва.

Чтобы получить хранилище емкостью 100-200-400-500-700-1000 м<sup>3</sup> требуется пласт горные породы которого имеют минимальную мощность 18-23-27-30-33-38 соответственно. Другими словами, мощность пласта должна в 2-3 раза превышать радиус шара соответствующего объема.

Подземные резервуары, созданные методом глубинных взрывов, сохраняют свою устойчивость не более, чем в течение пяти лет. Продлить срок их службы позволяет термическая обработка стенок, напоминающая обжиг кирпича. Процесс осуществляется в три этапа. Сначала из приконтурного массива в течение 48 ч при температуре 105-110°С выпаривают воду, затем в течение 40 ч при температуре 900-950°С глинистый слой переводят в камнеподобное состояние и далее при температуре до 1100°С производят оплавление стенок полости.

Наряду с применением обычных взрывчатых веществ для создания хранилищ нефтепродуктов методом глубинных взрывов перспективно применение ядерных боеприпасов.

При взрыве ядерного заряда образующийся плазменный шар расплавляет окружающие горные породы. Так, при взрыве заряда мощностью 1 кт в граните за 30 мкс расплавляется около 1000 м<sup>3</sup> породы, а расширяющиеся газы увеличивают объем полости до 2000...8000 м<sup>3</sup>.

В силу того, что, взрыв ядерный боеприпасов приводит к заражению продуктов хранения радиацией, этот метод не применяется. Взрыв же обычных бомб, как было сказано ранее, применяется только в исключительных случаях.

Достоинства метода:

- Возможность создавать хранилища в тех условиях, где это фактически невозможно.

Недостатки метода:

- Низкая эффективность.

- Объем таких хранилищ ничтожно мал
- Нестабильность.
- Приходят в негодность через 5 лет и требуют дополнительных затрат.

### 1.3 Шахтные хранилища

Шахтные хранилища представляют собой комплекс сооружений, который состоит из следующих элементов:

- Подземных выработанных резервуаров, которые применяются для хранения;
- Вскрывающие выработки;
- Выработки, имеющие вспомогательное назначение;
- Надземные сооружения;
- Технологическое оборудование;

Схема шахтного хранилища представлена на рисунке 3.

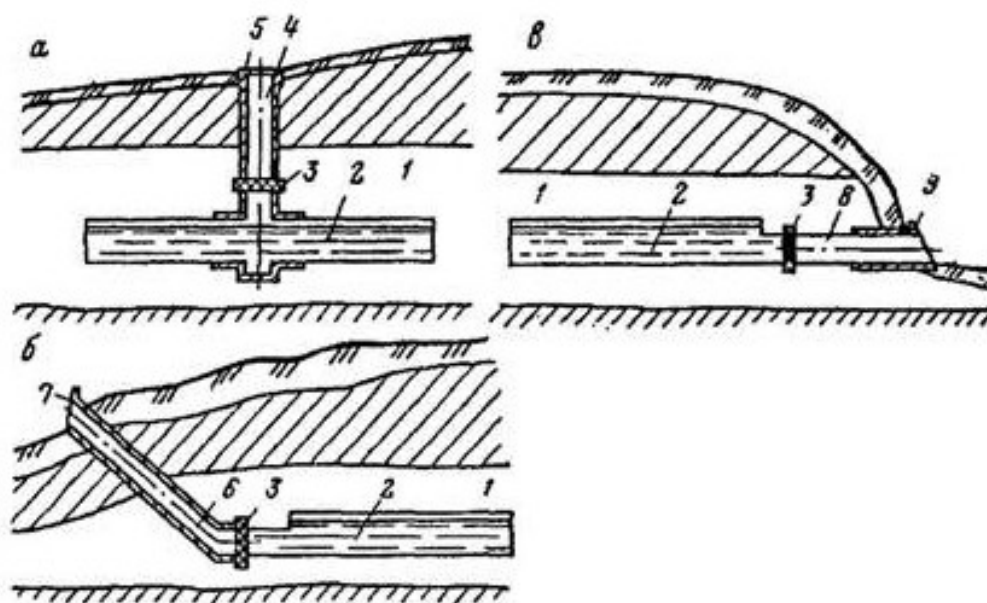


Рисунок 3 –схемы шахтных хранилищ с вертикальной (а), наклонной (б) и горизонтальной (в) вскрывающими выработками.



Нумерация на рисунке 3: 1 - толща непроницаемых пород; 2 - выработка-емкость; 3 - герметичная перемычка; 4 - вертикальная вскрывающая выработка; 5 - оголовок; 6 - наклонная вскрывающая выработка; 7 - устье; 8 - горизонтальная вскрывающая выработка; 9 – портал.

Выработки-резервуары – это совокупность отдельных туннелей или камер, которые отходят от магистральных выработок. Так же это может быть система горизонтальных, взаимосвязанных между собой выработок. В поперечном сечении такие выработки могут быть круглыми, сводчатыми или трапецеидальными. Форма зависит от емкости хранилища и особенностей (устойчивости) породы.

Вскрывающие выработки – это наклонные или вертикальные стволы, которые связаны между собой горизонтальными выработками, которые принято называть штольнями. Главная задача вскрывающих выработок – соединять выработки-резервуары с поверхностью. Так же в них размещаются трубопроводы и эксплуатационное оборудование. Вскрывающие выработки могут быть горизонтальными, наклонными или вертикальными. Зависит это от горно-геологических условий.

В выработках вспомогательного назначения располагаются подземные и околоствольные насосные станции.

Достоинства метода:

- Возможность сооружения практически в любых видах горных пород, как в устойчивых, так и неустойчивых;
- При строительстве человек имеет доступ «внутрь» хранилища, а потому негерметичные места будущей полости могут быть укреплены непосредственно;
- Высокая надежность конструкции

Недостатки метода:

- Строительство обходится дороже, чем в отложениях каменной соли;
- Трудоемкий процесс строительства;
- Низкие конечные объемы для газа (подходят для хранения нефти).

## 1.4 Льдогрунтовые хранилища

Сооружаются в районах Крайнего Севера, а также в северо-восточных районах РФ. Представляют собой выработки, находящиеся в вечномёрзлых грунтах, которые в качестве облицовочного покрытия имеют лед.

Строится такое хранилище в виде горизонтальной выработки, длина которой в среднем составляет 200 м. Ширина выработки находится около 6 м.

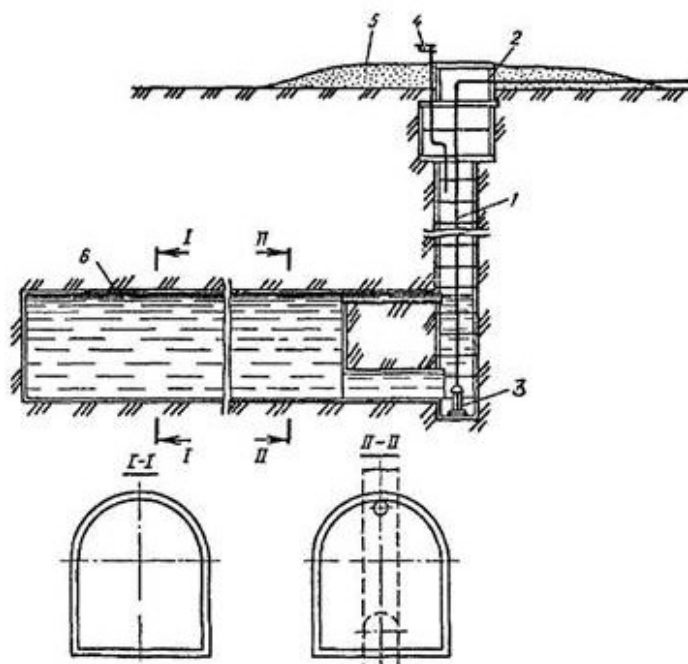


Рисунок 4 – принципиальная схема льдогрунтового хранилища шахтного типа на один продукт. 1 - ствол; 2 - оголовок; 3 - погружной насос; 4 - дыхательный клапан с огневым предохранителем; 5 - термоизоляционная засыпка; 6 - ледяная облицовка.

Резервуары, сооруженные данным методом, изолируются и герметизируются перемычками. Стены облицованы ледяным слоем. Оболочка из льда способна предохранять продукт от механических загрязнений, а также обеспечивает герметичность хранилища. Однако, по этой же причине, температура хранимого продукта не должна превышать 0 °С. Природный газ при закачке в пласт и сжатию сильно нагревается, в связи с этим льдогрунтовые хранилища не позволяют хранить большие объемы газа под высоким давлением – они просто растают.

Достоинства метода:

- Применение в условиях вечной мерзлоты;
- Высокие показатели герметичности;
- «Чистота» хранилища.

Недостатки метода:

- Жесткие требования к температурному режиму, что не позволяет хранить достаточные объемы газа под высоким давлением;
- Трудоемкость строительства, связанная с климатическими условиями и географическим местоположением таких регионов.

## **1.5 ПХГ в водонасыщенных пластах и выработанных месторождениях**

Схема газохранилища, сооруженного в водонасыщенном пласте представлена на Рисунке 7. Именно такие газохранилища используются сейчас, для снабжения в зимний период газом таких городов как: Москва (Калужское, Щелковское и др.), С.-Петербург (Гатчинское, Колпинское, Невское), Киев.

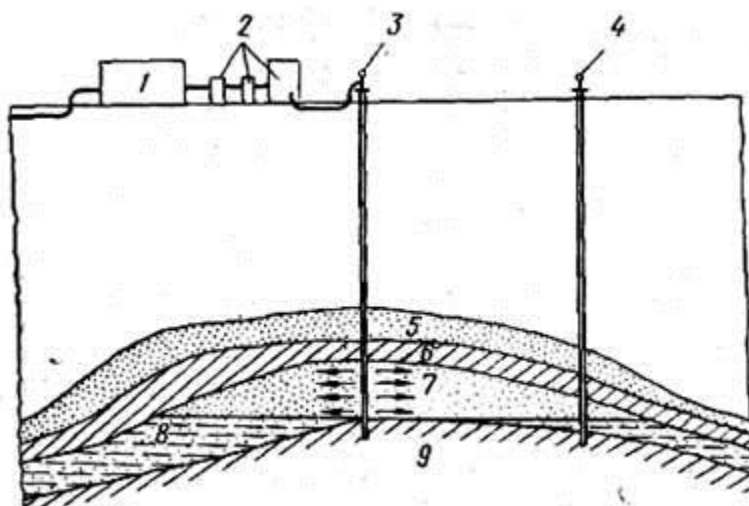


Рисунок 5 – схема подземного хранилища газа в водоносном пласте.  
 1 — компрессорная станция; 2 — установка по подготовке газа (к закачке или после отбора); 3 — эксплуатационная скважина; 4 — наблюдательная скважина; 5 — комплекс горных пород; 6 — верхний газоводоупор; 7 — пласт-коллектор, заполненный газом; 8 — часть пласта-коллектора, заполненная водой; 9 — нижний газоводоупор.

От хранилища, сооруженного в выработанной нефтяной или газовой залежи, такое ПХГ отличается лишь наличием слоев газоводоупора 6 и 9. Это связано с тем, что в ПХГ сооруженных в водонасыщенных пластах в качестве «изолятора» газа в коллекторе выступает вода. Под давлением закачиваемого газа, влага распределяется по стенкам коллектора, вдавливаясь в их поры, и в конечном итоге останавливается там, образуя влажный, а самое главное непроницаемый для газа, слой – газоводоупор. В ПХГ сооруженных в выработках, газоводоупор не требуется, поскольку в качестве «изоляции» там служат непосредственно стенки коллектора – твердые горные породы, не имеющие пор. Очевидно, что если газ/нефть находились там, до того, как их добыли, и не выходили на поверхность, то и при хранении газа в таких

образованиях герметичность хранилища со стороны пласта будет гарантирована.

Такое различие между ПХГ сооруженными в водонасыщенном пласте, и ПХГ, которые функционируют за счёт использования естественных природных образований – выработавших себя коллекторов, при их сооружении, незначительно. По этой причине различий в технологических процессах закачки газа в пласт, эксплуатации ПХГ и его обслуживания нет, равно как и нет различий, в применяемом для обслуживания таких ПХГ, оборудования.

Объектами комплекса ПХГ являются:

- Эксплуатационные газовые скважины, и их наземное обустройство;
- Наблюдательные, и контрольные скважины;
- Трубопроводные системы, соединяющие скважину и сборно-распределительный пункт;
- Пункты сбора и распределения;
- КС, включающая установки, подготавливающие газ к дальнейшей транспортировке (средства очистки и т.д);
- ЭКБ (Эксплуатационно-хозяйственный блок);
- Жилые, вспомогательные и служебные помещения.

То как будут размещены объекты на ПХГ напрямую зависит от:

- количества скважин, и их расположения;
- схем сбора газа и его распределения;
- технологической целесообразности эксплуатации оборудования;
- требований промышленной безопасности;
- норм санитарии, требований СНиП и других документов.

Как уже говорилось ранее, технологические схемы работающих хранилищ в выработанных месторождениях и вновь создаваемых в водоносных пластах практически не различаются.

Операции по закачке газа в хранилище (пласт) выполняются в следующем порядке:

1. Газ, поступающий из МГ, очищается, перед компримированием (повышение давления газа с помощью компрессора);
2. Выполняется компримирование (сжатие) газа; сжатие может быть одноступенчатым, или двух ступенчатым. Количество ступеней сжатия зависит от глубины пласта, следовательно, от начального пластового давления;
3. Газ охлаждается;
4. После КС в газе может проявиться замасленность. Газ отчищается от масла, в целях предотвращения его попадания в скважину;
5. Измерение объемов газа, который будет закачан в хранилище;
6. Газ распределяется по шлейфам в нагнетательные скважины.

В случае с отбором газа, технологический процесс выглядит иначе:

1. Мониторинг и регулирование объемов газа в скважинах;
2. Газ очищается от влаги и механических примесей, которые могут сопровождать его при выходе из хранилища;
3. Газ осушается;
4. Газ проходит через оборудование, вводящее ингибитор, предотвращающий гидратообразование;
5. Мониторинг совокупно расходуемого газа;
6. Сжатие газа (если это требуется) и подготовка его к транспортировке.

Достоинства методы:

- Благоприятные для строительства условия встречаются очень часто;
- Обеспечивают огромные объемы хранения, достаточные для снабжения больших территорий;
- Долгосрочны в эксплуатации.

Недостатки метода:

- Требуют больших капитальных вложений (от 5 млрд. руб) при начале строительства;
- Выходят на проектную мощность только спустя 5-6 лет [8].

## **2. ПХГ в России**

В настоящее время 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 нештатных 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.

На территории Российской Федерации расположены 27 объектов подземного хранения газа, из которых 8 сооружены в водоносных

структурах, 1 в отложениях каменной соли и 18 — в истощенных месторождениях.

В пределах ЕСГ РФ действует двадцать подземных хранилищ газа, из них 14 созданы в истощенных месторождениях: Песчано-Уметское, Елшано-Курдюмское (два объекта хранения), Степновское (два объекта хранения), Кирюшкинское, Аманакское, Дмитриевское, Михайловское, Северо-Ставропольское (два объекта хранения), Краснодарское, Куцевское, Канчуро-Мусинский комплекс ПХГ (два объекта хранения), Пунгинское, Совхозное, с введением в строй газопровода Краснодарский край — Крым в состав системы включится и крымское Глебовское ПХГ.

7 созданы в водоносных пластах: Калужское, Щелковское, Касимовское, Увязовское, Невское, Гатчинское, Удмуртский резервирующий комплекс (два объекта хранения).

Калининградское подземное хранилище газа создано в отложениях каменной соли.

Кроме того, ведётся строительство: В водоносных пластах: Беднодемьяновское В отложениях каменной соли: Волгоградское.



### **3. Заключение**

В настоящее время в подземных хранилищах освоен широкий диапазон хранения углеводородов: природного газа, нефти, бензина, реактивного дизельного топлива, сжиженных углеводородных газов (пропана, этана, бутана, пропилена, этилена), широкой фракции углеводородов, газового концентрата, концентрата гелия.

К подземным хранилищам предъявляются повышенные требования обеспечения безопасности обслуживающего персонала и населения, предотвращения экологических нарушений окружающей среды, способности противостоять значительным избыточным давлениям и коррозионному воздействию хранимых продуктов.

Подземные хранилища хотя и являются экологически чистыми, пожаро- и взрывобезопасными сооружениями, однако и здесь возможны различные аварийные ситуации, которые могут привести к потере большого количества хранимых продуктов с нанесением значительного материального ущерба окружающей среде.

## Список использованной литературы

1. Мировая экономика и международные отношения // Перспективы мировой энергетики до 2040 г. No 1. / А. Макаров [и др.]. М.: Российская академия наук, 2014. С. 20-33
2. Брагинский О. Б. Нефтегазовый комплекс мира. — М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2006.
3. Иванцов О.М. Подземное хранение сжиженных газов. – М.: Недра, 1964. – 148 с.
4. СТО Газпром 2009 Основные положения по расчету и управлению резервами газа в подземных хранилищах.
5. Подземное хранение газа. Сайт доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Подземное\\_хранение\\_газа](https://ru.wikipedia.org/wiki/Подземное_хранение_газа) (дата обращения: 25.06.2020).