

**Очно - заочная школа "Академия юных талантов Созвездие"
город Оренбург**

**Утилизация углекислого газа и
способы его захоронения**

Выполнил: Бессонов Иван Александрович,
10 класс, МАОУ "СОШ № 20",
п. Красноярский, Кваркенский район.

Руководитель: Завалий Максим Владимирович,
кандидат физико - математических наук ,
доцент, педагог дополнительного
образования ГАУ ДО ООДЮМЦ

2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
ВЕДЕНИЕ	3
I. Анализ существующего опыта возможного использования CO ₂ в качестве буферного газа хранилищ и захоронению углекислого газа	5
II. Анализ выбора агрегатного состояния углекислого газа при хранении и закачки, геологические особенности хранилища для поддержания выбранного агрегатного состояния.	7
2.1. Анализ агрегатных состояний углекислого газа	7
2.2 Требования к хранилищу (пласту-коллектору) для поддержания жидкого агрегатного состояния углекислого газа.	9
III. Анализ подземных хранилищ газа Оренбургского газоконденсатного месторождения.	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	16

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

При подземном хранении газа принято различать два вида объемов газа:

1. активный объем газа (это используемый газ, углеводородного состава, за частую, природный метановый газ);
2. буферный объем газа (менее ценные не углеводородные газы).

Буферный объем газа может достигать до 55% хранилища, он необходим для поддержания необходимого давления в хранилище, а при скважной эксплуатации для уменьшения обводнения хранилища.

При таком разделении объема хранилища и использование не углеводородных газов существенно уменьшаются затраты на содержание и использование хранилища [1].

В 2016 году Российская Федерация вступила в новое климатическое Парижское соглашение, тем самым приняла на себя ответственность снизить выбросы CO₂. 4 ноября 2020 года В.В. Путин подписал указ «О сокращении выбросов парниковых газов». На его основании, была поставлена новая цель, сократить выбросы на 30% к 2030 году. Тем не менее, технологии, которые используются сегодня, не позволяют отказаться от привычных энергоносителей: угля, природного газа, нефти. Отказаться от данных энергоносителей - кощунство. Это не раз подчеркивал наш президент.

Использование традиционных энергоносителей связан с выбросами парниковых газов и прежде всего CO₂.

Захоронение углекислого газа и создание хранилищ CO₂, является перспективной и актуальной проблемой современности.

Целью работы является рассмотрение возможных способов и методик декарбонизации за счет утилизации углекислого газа при закачки его в глубинные пласты Земли, использование подземных хранилищ газа, анализ эффективности, расчёта изменение парникового эффекта.

Задачи исследования

1. Анализ существующего опыта по захоронению углекислого газа.
2. Анализ физико-химических особенностей агрегатных состояний углекислого газа.
3. Исследование процессов идущих в пласт - коллекторе при закачке углекислого газа на захоронение.

Новизна работы

Исследование агрегатных состояний углекислого газа обеспечат выбор наиболее приемлемого состояния для использования CO₂ при закачки.

Проведен анализ возможного изменения парникового эффекта при утилизации \ захоронении углекислого газа, при использовании конкретных не задействованных хранилищ газа (E₁, E₂, E₃) Оренбургского газо - конденсатного месторождения, выведенных из производственного цикла в силу потери герметичности.

Практическая и теоретическая ценность

Решена задача симбиоза технического прогресса и использования традиционных энергоносителей и утилизации парниковых газов (CO_2), с минимальными физико-химическими антропогенами факторами.

Ранее по этой проблеме было не одно исследование и наиболее полно обзор исследований приведен в работах [2, 3] в них обобщен опыт Международного энергетического агентства в рамках проекта по хранению CO_2 . Проанализированы возможности последствий закачки углекислого газа в нефтеносные слои, при этом проанализированы химические составы пластовых вод в модельном и реальном случае с возникновением карбоновой кислоты, при проведении экспериментов прорывов углекислого газа на поверхность не выявлено.

Использование отработавших свой ресурс подземных хранилищ газа ранее не предполагалась, наша работа пионерская.

Место и сроки проведения

Работа проводится в Оренбургском районе на базе существующих подземных хранилищ газа, хранилища не используются в связи с разгерметизацией. Работа начата в сентябре 22 года, проектный план окончания исследования в течение двух лет.

Глава I. Анализ существующего опыта возможного использования CO₂ в качестве буферного газа хранилищ и захоронению углекислого газа

Вопросам использования CO₂ в качестве буферного газа а также его возможное захоронение посвящено множество работ как в России, так и за рубежом [4-10]. Приведем краткий обзор изученности данной тематики.

В работе [4] Левакин Е.В. предлагает в качестве буферного газа использовать выхлопные газы компрессорных установок. Состав этих газов хорошо известен O₂ – 14-16%, N₂ – 83-85%, CO₂ – 3-5%, CO – 0,03-0,05%, алканов – 0,2-0,3%. Однако в составе выхлопных газов входит в большом процентном соотношении O₂, что у автора вызывает опасения по возможному возникновению взрывоопасной смеси, и он предлагает его сжигать. Однако нами проработан этот вопрос и сделаны выводы о том, что сжигание O₂ вызовет дополнительное возникновение парниковых газов.

В работе [5] Карвацкий А.Г. показал на основании работы выполненной сотрудниками ВНИИГАЗА, что объем буферного CO₂ в хранилище может быть доведен до 70%, это значительно сокращает экономические расходы на использование в качестве буферного газа природный газ. При таком использовании показана значительная эффективность использования хранилища газа.

На практике впервые проект использования в качестве буферного газа не углеродводородный газ, был реализован Gaz De France [6]. Закачка газа продолжалась в период с 1979 до 1986 года, за это время было закачено 60 млн. м³, при общем объеме хранилища 600 млн. м³. Автор указывает, что в результате проведенных работ отбираемый газ из хранилища соответствует составным требованиям и показывает значительный экономический эффект проведенной процедуры.

Наиболее полной работой по использованию CO₂ в качестве буферного газа можно считать работу [7], в данной работе с аккумулирован международный и Российский опыт, и проведен многофакторный анализ, который выявил:

- Эффективные и не эффективные методы улавливания CO₂;
- Исследованы физические и физико-химические свойства смеси газа от температуры и давления;
- Приведены методы геохимического моделирования для прогнозирования процессов при закачки и хранения CO₂;
- Исследовано распределение CO₂ и метана в пласте, в зависимости от глубины и типа пласта;
- Выявлены факторы воздействия CO₂ на используемое оборудование закачки;
- Проведен расчет и анализ дымовых (парниковых) газов дожимных компрессорных станций используемых при закачки CO₂;
- Показано снижение антропогенных факторов при закачке CO₂ в пласт и хранилище.

Существуют также работы по использованию глубинных пластов океанических шельфов и отложений [8], в соленых кавернах [9].

Кроме процессов закачки и хранения возникает много вопросов по геологии хранилищ CO_2 , в работе [10] проведен анализ мирового опыта по геологии пластов и мест возможного захоронения CO_2 . Геология хранилищ систематизирована:

- Газовые месторождения в состоянии истощения;
- Нефтяные месторождения в состоянии истощения;
- Не имеющие промышленного значения месторождения, пластовые, угля;
- Обводненные пласты месторождений;
- Шахты и каверны.

Проведенный обзор показал, что ранее никогда не предлагалось использовать в качестве хранилища - искусственные подземные хранилища газа отработавших свой ресурс. Возникают вопросы о агрегатном состоянии CO_2 при хранении, и закачки.

На основании обзора были сделаны выводы:

- Закачка газа снижает антропогенные факторы;
- Происходит значительная экономическая эффективность, особенно при симбиозе предприятий производящих парниковые газы и утилизирующие их;
- Существуют эффективные методы как улавливания так и закачки CO_2 .

Таким образом, в ходе проведения исследовательской работы на начальном этапе были получены следующие результаты:

- Проведен анализ существующего Российского и международного опыта по захоронению углекислого газа. Анализ показал перспективность и возможность захоронения CO_2 .

- Проанализированы возможные фазовые состояния углекислого газа при захоронении. Оптимальное захоронение наблюдается для жидкого углекислого газа, вопрос экономической эффективности сжижения предстоит рассмотреть в дальнейшем на основании используемого оборудования.

- Изучены и промоделированы процессы идущих в хранилищах и пластах коллекторах при закачке жидкого углекислого газа. Полученные результаты показывают высокую сохранность газа в хранилищах и отсутствие его выброса на поверхность.

Глава 2. Анализ выбора агрегатного состояния углекислого газа при хранении и закачки, геологические особенности хранилища для поддержания выбранного агрегатного состояния.

2.1 Анализ агрегатных состояний углекислого газа

В подземном хранилище не зависимо от его типа и вида углекислый газ может находиться в следующих агрегатных состояниях [11]:

- Газообразном;
- Жидком;
- Сверхкритическом.

Вид агрегатного состояния, плотность, вязкость углекислого газа от температуры и давления, приведены на рисунках 2.1, 2.2 и 2.3.

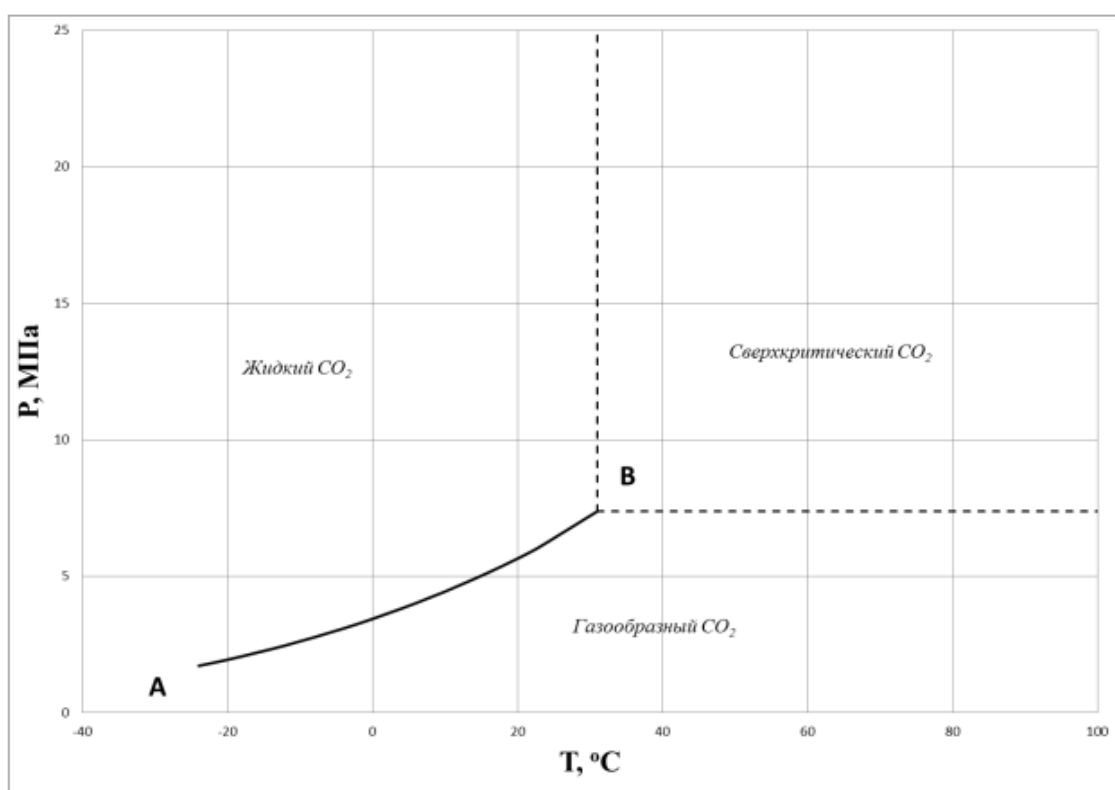


Рис. 2.1. Диаграмма, фазовая – углекислого газа.

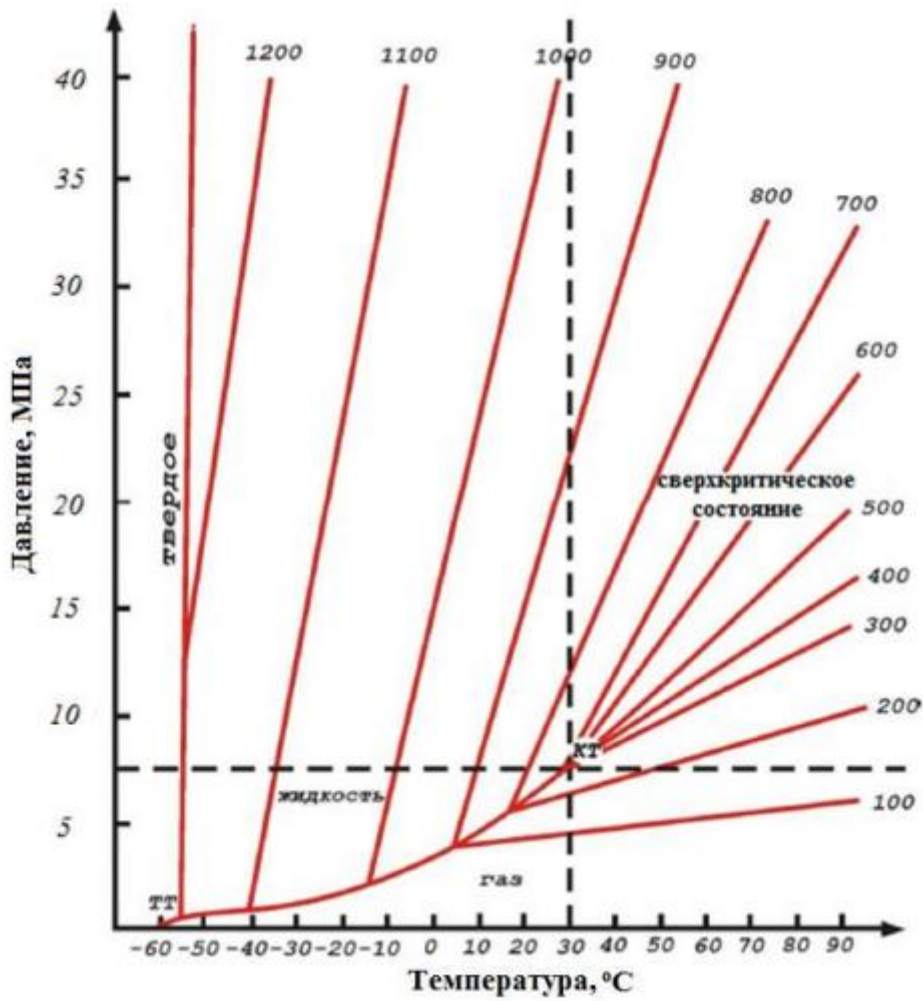


Рис. 2.2. Зависимость плотности углекислого газа при изменении термобарических параметров.

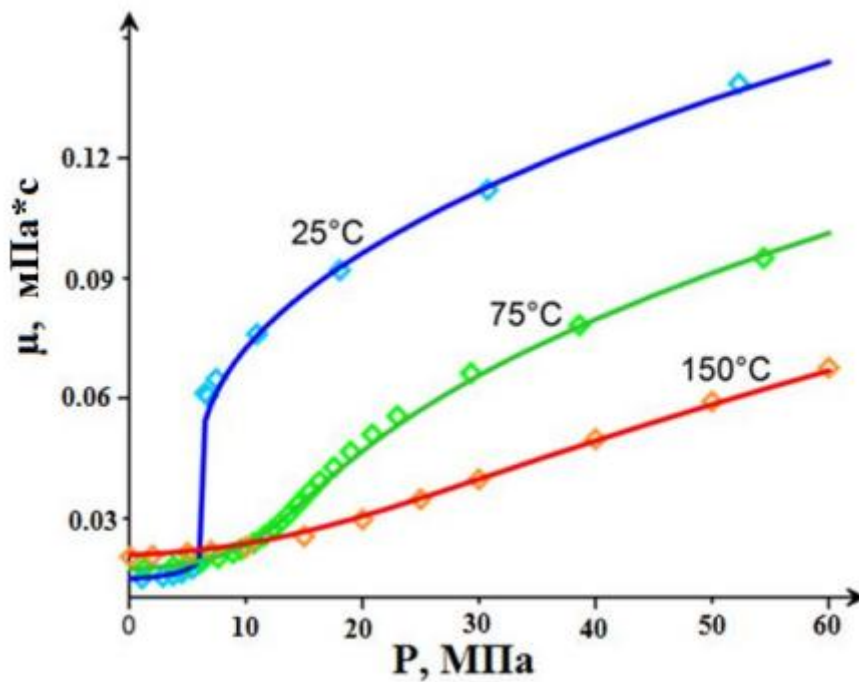


Рис. 2.3. Зависимость коэффициента динамической вязкости от давления.

Проведем анализ рисунков с целью выявления оптимальных условий для захоронения углекислого газа. Углекислый газ в газообразном состоянии это бесцветный газ, газообразному состоянию будет соответствовать большой диапазон температур и давлений не превышающий кривую кипения (АВ). Коэффициенты вязкости и диффузии имеют одни порядок 10^{-5} ед. измерения.

При понижении температуры ниже кривой АВ (это кривая кипения) углекислый газ переходит в жидкое состояние, это бесцветная жидкость с вязкостью 10^{-3} , диффузия – 10^{-9} , плотность 600 – 900, все единицы измерения СИ.

Сверхкритическое состояние это состояние углекислого газа, при котором он имеет сжимаемость как газ, но плотность как жидкость. Состояние наблюдается после 7,38 МПа и 31 градуса Цельсия.

Следует обратить внимание, что для сверхкритического состояния максимальная плотность достигается при 32 градусах и 23 МПа, а для жидкого состояния такая же плотность достигается при 23 градусах и 15 МПа. Такая разница показывает, что на компрессорных станциях при закачке эффективнее использовать углекислый газ в жидком состоянии (экономия в потребляемой мощности).

При сравнении вязкости сверхкритического и жидкого углекислого газа с водой мы видим следующие цифры, вязкость воды в 16 раз больше по сравнению с жидким и в 30 раз больше сверхкритического, значит, жидкий углекислый газ будет лучше оттеснять воду, и займет больший объем хранилища.

На основании выше приведенного анализа, можно однозначно сказать, что наилучших результатов при захоронении углекислого газа можно достичь для жидкого состояния.

2.2 Требования к хранилищу (пласту-коллектору) для поддержания жидкого агрегатного состояния углекислого газа.

В своей работе мы предлагаем выбрать следующую методику подбора пласта-коллектора (хранилища).

Глубина залегания хранилища должна выбираться из требуемого агрегатного состояния. Приведем определение глубины для фазовых переходов углекислого газа. Наложим кривую распределения давления и температуры на рис. 2.1 – фазовая диаграмма. Получим необходимые давления и температуры для фазового перехода, затем определим глубину графически.

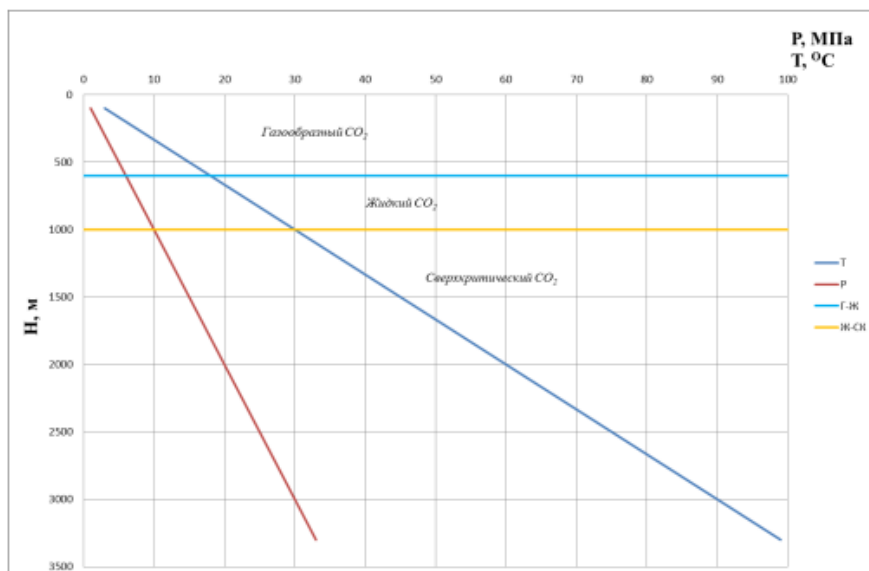


Рис. 2.4. Зависимость агрегатного состояния углекислого газа от глубины залегания хранилища. (Данный рисунок был получен при использовании программного обеспечения Microsoft Excel.).

Рисунок 2.4 показывает, что необходимое нам жидкое состояние CO₂ наблюдается на глубинах от 600 до 1000 метров.

В заключение главы следует сделать **вывод**, что для нашего проекта наиболее подходит углекислый газ в жидком состоянии и глубина хранилища от 600 до 1000 метров. Проведем дальнейший анализ по выбранным нами хранилищ.

Глава 3. Анализ подземных хранилищ газа Оренбургского газоконденсатного месторождения.

Открытие Оренбургского газоконденсатного месторождения стало мощным промышленным импульсом развития региона. Были построены газоперерабатывающий завод, а также гелиевый завод, Каргалинская ТЭЦ и многое др.

Пиковая мощность переработки газоперерабатывающего завода рассчитана на величину 45 млрд. м³ в год. В конце 70-х и 80-х годов XX века пиковая добыча газа на месторождение превышала значение возможной переработки. В связи с этим было принято решение создать подземные хранилища газа. Хранилища выполняли роль накопителя избыточно добытого газа и стабилизировали давление в системе переработки газа.

В конце 70-х и 80-х годов на юго-западе Оренбургского района в зоне работы Газопромислового управления, последовательно были созданы хранилища с обозначениями Е₁, Е₂ и Е₃. Хранилища создавались методом подземного ядерного взрыва на глубине 550 – 650 метров. Указанный метод подразумевает глубинный термобаллистический ядерный взрыв мощностью от 3-х до 5 килотонн (в тротиловом эквиваленте). Заряды закладывались через устье скважин. При взрыве образовывалась сферическая полость со стенками из расплавленных кварцитов схожих с обычным стеклом, в ходе первоначального математического моделирования были сделаны выводы о том, что стенки будут абсолютно не прозрачные для природного газа и газа-конденсата. Совокупный объем трех хранилищ составлял до 8 млрд. м³.

По мере добычи и освоения месторождения добыча, с течением времени, привычно, падает, месторождение истощается, происходит обводнение месторождения. На сегодняшний момент, добыча природного газа, газа-конденсата, а также нефти на Оренбургском газоконденсатном месторождении не превышает 8 млрд. м³. Ведутся дополнительные геологоразведочные работы, которые показывают возможность постепенного увеличения добычи, обнаружены запасы газа, нефти в более древних слоях, на больших глубинах - 4500 метров и выше (Оренбургское месторождение имеет среднюю глубину 1200 метров).

При моделировании работы хранилищ не были учтены факты скачкового изменения давления. Систематические значительные скачки давления в хранилищах привели к растрескиванию стенок хранилищ, и они потеряли свою герметичность, образовались утечки газа в окружающие пласты коллекторы.

Потеря герметичности, а также снижение добычи послужила основанием для прекращения эксплуатации хранилищ, но они до сих пор подключены к дожимной компрессорной станции №1.

Предварительный анализ агрегатных состояний углекислого газа показал, что глубина его захоронения должна быть более 600 метров, в связи с этим использование выше указанных хранилищ возможен. Подключенность к компрессорной станции также позволяет задействовать хранилища.

По мере закачки CO_2 в хранилища будет наблюдаться утечка газа в соседние пласты коллекторы, но обзор литературы нам показал, что выход газа на поверхность наблюдаться не будет, тем не менее мы произвели собственный модельный анализ.

Математическое моделирование производилось на основании гидродинамического симулятора Tempest MORE. Симулятор позволяет смоделировать процесс закачки любого фазового состояния углекислого газа. Симулятор работает на оригинальных алгоритмах компании ROXAR. Алгоритмы при заданных начальных параметрах решают систему дифференциальных уравнений заполнения хранилищ или пластов коллекторов.

Моделирование происходило при следующих параметрах:

- Суточная закачка – 2 млн. м^3 ;
- Глубина закачки – 650 метров;
- Время закачки – 10 лет.

За время модельного эксперимента было закачено 17,8 млрд. м^3 , приведем график заполнения пласта на рисунках 3.1 и 3.2.

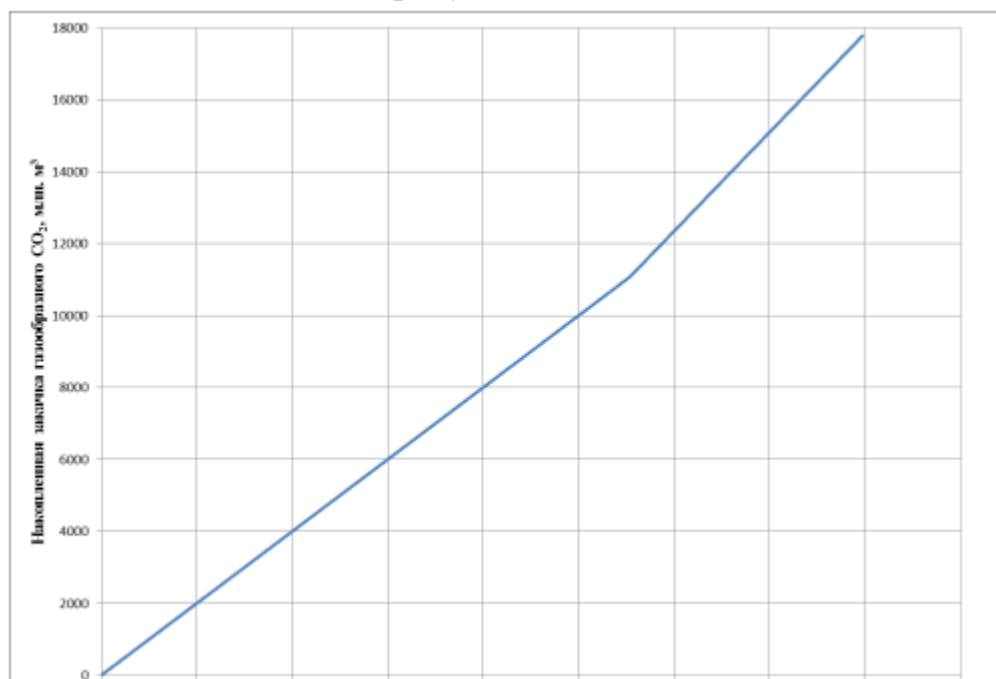


Рис. 3.1 – Накопление углекислого газа в хранилищах.

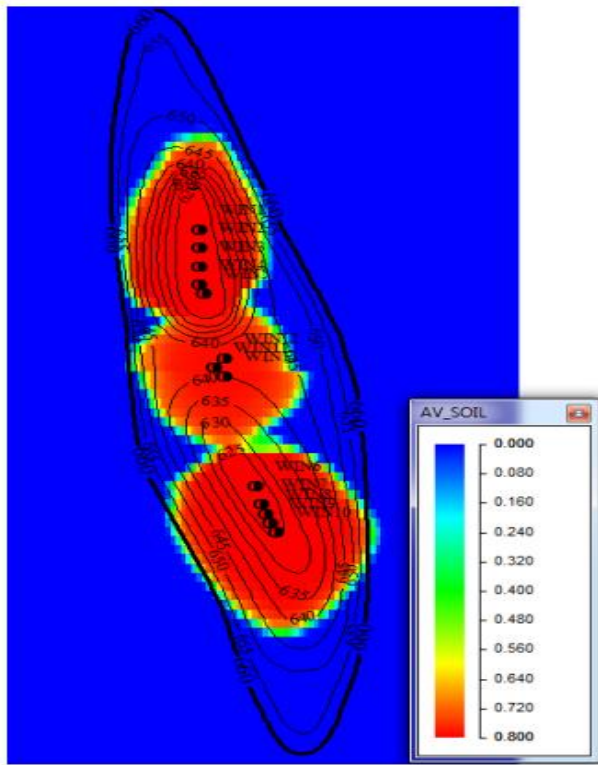


Рис.3.2 – Распределение жидкого углекислого газа по хранилищам на конец закачки.

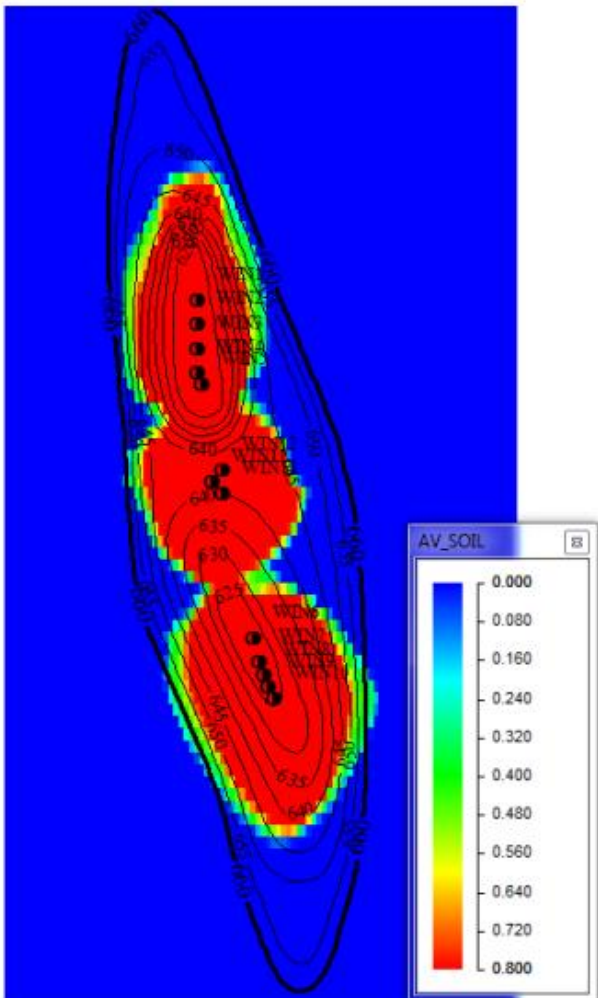


Рис.3.3 – Распределение жидкого углекислого газа по хранилищам через пять лет после окончания закачки.

Модельные расчеты показали верность выводов по агрегатным состояниям углекислого газа в ходе закачки, а также рисунок 3.3. показывает отсутствие утечек газа на поверхность и его прекрасное сохранение.

Заключение

Исследование по возможным захоронениям парниковых газов не останавливается только на исследовании углекислого газа, существуют и другие парниковые газы. В дальнейшем необходимо проработать вопросы использования конкретного оборудования и экономической эффективности такого использования. Экономической эффективности квот на выбросы парниковых газов, симбиоза предприятий производящих парниковые газы и предприятий их утилизирующих.

Результатом конечной работы хотели увидеть процессы начала закачки и практической реализации проекта.

В заключение хотели поблагодарить сотрудников компании Газпром-нефть Оренбург, за предоставление доступа к специализированному программному обеспечению (Макарова С.В., Дорохина В.Г.), сотрудников Газпром добыча Оренбург за доступ к материалу по хранилищам и компрессорным станциям, заместителю директора газопромыслового управления (Строганова С.В.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский С.В. Физические свойства газов и жидкостей: Учеб. пособие/ СПбГУАП. СПб., 2001. 73с.
2. Bachu S., Rothenburg L. Carbon Dioxide Sequestration in Salt Caverns: Capacity and Long Term Fate // Second Annual Conference on Carbon Sequestration – May 2003, USA. p. 1-12.
3. Дмитриевский А.Н., Хан С.А., Мойжиш Я., Семенов О.Г., Хвостова В.Ю. Сокращение объемов буферного газа при создании газохранилищ в месторождениях углекислого газа // Газовая промышленность. – 2009. – №9. – С. 37-40.
4. Карвацкий А.Г. CO₂ – эффективный заменитель буферного газа ПХГ// Газовая промышленность – 1985, №7.
5. Левыкин Е.В. К использованию выхлопных газов газомотокомпрессоров в качестве наполнителя буферного объема при создании подземных газохранилищ // Транспорт и подземное хранение газа. – 1976. – №8. – С. 29-32.
6. Riding J.B., Rochelle C.A. Subsurface characterization and geological monitoring of the CO₂ injection operation at Weyburn, Saskatchewan, Canada // Geological Society. – 2009, № 313
7. Рубан Г.Н., Михайловский А.А. и др. Проведение теоретических и экспериментальных исследований по возможности использования углекислого газа для частичной замены буферного природного метанового газа на ПХГ. Этап 2. Разработка технологических решений по созданию и эксплуатации ПХГ в пористых пластах с комбинированным (природный метановый газ + углекислый газ) буферным газом. Отчет о НИР/ ООО «Газпром ВНИИГАЗ» - Москва, . - 2011.
8. Сафонов М.С., Лисичкин Г.В. Можно ли уменьшить концентрацию углекислого газа в атмосфере // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – №7. – С. 40-46.
9. Shogenova A., Sliupa S., Vaher R., Shogenov K., Pomeranceva R. The Baltic Basin: structure, properties of reservoir rocks, and capacity for geological storage of CO₂ // Estonian Journal of Earth Sciences – 2009, p. 259-267.
9. Tek M.R. Underground Storage of Natural Gas Theory and Practice. – Kluwer Academic Publishers., 1988, 371-383 p.
10. Хан С.А., Дмитриевский А.Н., Аксютин О.Е., Люгай Д.В. , Хвостова В.Ю. Утилизация и хранение углекислого газа: мировой опыт. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2012. – 168 с.