

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

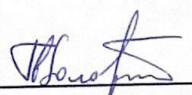
Кафедра геофизики

«Мониторинг динамики ГВК по данным ГИС
на примере Степновского ПХГ»

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 261 группы
направление 05.04.01 геология
профиль «Геофизика при поисках нефтегазовых месторождений»
геологического ф-та
Кузнецова Анатолия Михайловича

Научный руководитель
К. г.-м.н., доцент


подпись, дата

Б.А. Головин

Зав. кафедрой
К. г.- м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2025

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Мониторинг динамики ГВК по данным ГИС
на примере Степновского ПХГ»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 261 группы

направление 05.04.01 геология

профиль «Геофизика при поисках нефтегазовых месторождений»

геологического ф-та

Кузнецова Анатолия Михайловича

Научный руководитель

К. г.-м.н., доцент

подпись, дата

Б.А. Головин

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2025

Введение. Подземное хранилище газа (ПХГ) представляет собой комплекс инженерно-технических сооружений в пластах-коллекторах геологических структур, горных выработках, а также в выработках-ёмкостях, созданных в отложениях каменных солей. Природные ПХГ – пористые пласты песчаника в земной коре, герметично закупоренные сверху куполом из слоя глины. Хранилища предназначены для закачки, хранения и последующего отбора газа. Включают участок недр, ограниченный горным отводом; фонд скважин различного назначения, системы сбора и подготовки газа, компрессорные цеха. ПХГ сооружаются вблизи трасс магистральных газопроводов и крупных газопотребляющих центров для возможности оперативного покрытия пиковых расходов газа. Хранилища создаются и используются с целью компенсации неравномерности (сезонной, недельной, суточной) газопотребления, а также для резервирования газа на случай аварий на газопроводах и для создания стратегических запасов газа, что в значительной мере способствует надёжности снабжения потребителей газом.

Особенно важны ПХГ в России с её климатическими особенностями и удалённостью источников ресурсов от конечных потребителей. В России действует не имеющая мировых аналогов единая система газоснабжения (ЕСГ), её неотъемлемая часть – система ПХГ.

Степновское подземное хранилище газа (СПХГ), специализирующееся на приеме, хранении газа и обеспечивающее регулирование сезонной неравномерности газопотребления Степновское ПХГ крупнейшее в Европе хранилище газа общим объемом 8 млрд. куб. метров. При эксплуатации залежи в режиме подземного хранилища газа (ПХГ), как известно, наблюдается сокращение газонасыщенного порового объема, изменение и движение флюидальных мощностей (увеличение и уменьшение), разнонаправленное движение газоводяного контакта (ГВК), значительные колебания давления и температуры являются следствием циклических закачек и отбора газа. Влияние этих факторов влечет за собой изменение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), сокращение газонасыщенных

мощностей, разрушение скелета продуктивного коллектора ПХГ. Исходя из этого актуальные проблемы мониторинга и своевременной диагностики ПХГ стали темой данного исследования.

Цель работы – мониторинг динамики ГВК (газоводяного контакта) на примере эксплуатации Степновского ПХГ.

В рамках настоящей работы решался комплекс исследовательских задач: – изучить геологическое строение изучаемой территории

– выявить информативный комплекс ГИС для решения поставленных целей;

– описать методику исследования;

– исследовать физико-теоретические основы используемых методов;

– провести анализ результатов мониторинга;

– выделить пласты-коллекторы;

– определить характер насыщения пластов-коллекторов.

Структура и объём работы. Магистерская работа общим объёмом 73 страниц состоит из обозначений и сокращений, введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников и трех приложений.

Основное содержание работы. 1 Геолого-геофизическая характеристика района работ

Степновское подземное хранилище газа, созданное на базе выработанного одноименного нефтегазоконденсатного месторождения, располагается на территории Советского района, Саратовской области на равнинной левобережной части р. Волги. Площадь пересекается густой сетью оврагов небольшой глубины вреза. Высотные абсолютные отметки рельефа дневной поверхности колеблются от 67 до 90м. Основной водной артерией района является р. Большой Караман, протекающая в 10км южнее Степновского ПХГ. Ближайший промышленный центр – город Энгельс, расположен в 55км западнее Степновского ПХГ, а областной центр (г. Саратов) находится в 90км к западу.

Гравиметрические исследования Саратовской области производились с 1928 по 1955 г. Этим методом изучена вся территория Саратовской области и составлены сводные карты аномалий силы тяжести для всей области, которые

использовались при определении направлений геолого-поисковых и разведочных работ.

В период с 1939 по 1959 гг. на территории Саратовской области была проведена крупномасштабная геологическая съемка. Геологической съемкой, применявшейся с целью выявления локальных поднятий, были закартированы все районы с удовлетворительной обнаженностью мезозойских пород. В пятидесятые годы все большее применение находит структурное бурение. В правобережных районах структурное бурение проводилось преимущественно на мезозойские реперы, с целью подтверждения данных геологической съемки и выявления новых структур.

Степновское поднятие было выявлено по поверхности палеозоя в результате сейсмических работ, проведенных в 1950-1951 гг. В этот же период в рассматриваемом районе было произведено структурное бурение, в процессе которого наличие Степновского поднятия подтвердилось и по мезозойским реперам.

Территория Степновского вала изучена сейсморазведкой и глубоким бурением неравномерно. Наиболее исследована ее северо-западная часть, где наблюдается большая плотность профилей сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ-2D) и большие площади покрыты сейсморазведкой МОГТ-3D. Наименее изученной частью Степновского сложного вала является его юго-восточная часть и зона сочленения с прибортовой моноклиной, где не проводились сейсморазведочные исследования МОГТ-3D, а плотность профилей МОГТ-2D сравнительно низкая. При этом большинство сейсмических работ выполнялись двадцать и более лет назад, то есть устаревшими на сегодняшний день техническими и обрабатывающими комплексами.

В результате произведенных геофизических и разведочных работ установлено, что в этой части Саратовского Заволжья протягивается в направлении ЗСВ - ВЮВ приподнятая зона, с которой связывается ряд локальных структур платформенного типа, таких как Степновская, Советская, Суловская и др. Наличие дислоцированной приподнятой зоны (вала), а также

нефти и газа на некоторых из указанных площадей свидетельствует о большой перспективности всего этого района.

Разработка Степновского месторождения велась с 1959 года, начальный газонасыщенный объем 110 млн.м³, начальное пластовое давление 24 МПа. За время разработки газонасыщенный поровый объём сократился до 62 млн. м³, пластовое давление снизилось до 2,5 МПа.

По мере падения пластового давления в силу перепада давления между газовой и водоносной частями пласта с конца 1963 г. начал проявляться упруговодонапорный режим. Происходило обводнение скважин, расположенных в северной части залежи, при этом скважины, расположенные южнее, эксплуатировались без выноса пластовой воды при тех же отметках нижних дыр перфорации, т. е. за период разработки явно наблюдалось направленное движение пластовых вод с севера на юг. Начиная с 1963 г. количество газа, приходящегося на 0,1 МПа, возросло, что указывало на начавшееся продвижение воды в залежь.

В мае 1973 г. истощенная залежь пласта Д₂V+VI была переведена в режим эксплуатации ПХГ.

2 Методика исследований. Геофизические исследования скважин (ГИС) - это совокупность физических методов, предназначенных для изучения горных пород в околоскважинном и межскважинном пространствах. Геофизические исследования, предназначенные для изучения горных пород, непосредственно примыкающих к стволу скважины, называют каротажем.

Совокупность методов каротажа, применяемых в нефтегазовых скважинах - промысловой геофизикой. Каротаж проводится с целью определения литологического состава, стратиграфического расчленения пород, выявления интервалов коллекторов, оценки их перспективности на нефть и газ, то есть содержания углеводородов, а также поисков залежей руд, углей.

Регламентные работы в наблюдательных (геофизических, пьезометрических) и действующих скважинах в сезон закачки и отбора, в

нейтральный период обеспечивают получение параметров, необходимых для принятия решений о проведении геолого-технологических мероприятий, направленных на выполнение проектных решений.

На Степновском ПХГ ГИС проводятся по трём основным направлениям:

- ГИС - контроль - проведение ГИС при контроле за эксплуатацией подземных хранилищ газа по всему фонду скважин согласно регламенту;
- ГИС - диагностика - проведение ГИС без подъема НКТ (насосно-компрессорные трубы) в газовой среде, а также при капитальном ремонте без НКТ для определения степени изношенности обсадных колонн;
- ГИС - техконтроль - проведение ГИС при капитальном ремонте скважин без НКТ при заполнении ствола скважины раствором.

На этапе ГИС - контроля исследуются в основном газонаполненные скважины, оборудованные фонтанной арматурой и НКТ до интервала перфорации. В интервале перфорации находится газонасыщенный коллектор, обсаженный эксплуатационной колонной.

Типовая конструкция скважины ПХГ во многом отличается от типовой конструкции скважин газоконденсатных месторождений. Обычно это более сложная многокомпонентная конструкция, обеспечивающая долгосрочную эксплуатацию при условии многократной циклической знакопеременной термобарической нагрузки. На НКТ располагаются клапаны, центраторы, пакеры, якоря. За НКТ выше интервала перфорации находится пакер, за которым во многих случаях до устья находится ингибитор. Ингибитор представляет собой гелеобразное вещество, снижающее активность коррозионной среды.

Одной из главных задач при проведении ГИС - контроля за эксплуатацией ПХГ по всему фонду скважин, согласно регламенту, является определение характера насыщения коллекторов и контроль положения газоводяного контакта (ГВК).

Газо-водяной контакт (ГВК) – это граница раздела свободного газа и воды в газовой залежи или хранилище. При закачке газа в пласт давление

газовой фазы повышается, и газонасыщенная область расширяется, вытесняя воду вниз по разрезу или в стороны в водоносный горизонт. Происходит опускание ГВК: газ как более лёгкий и подвижный флюид занимает поровое пространство, ранее заполненное водой. Если закачка осуществляется в изначально водоносный пласт, то вокруг нагнетательных скважин формируется газовая залежь (пузырь газа), которая растёт по мере закачки, вытесняя фронт воды всё глубже. Отбор газа (экстракция) приводит к обратному эффекту: давление в газовой зоне падает, и вода из аквифера начинает внедряться обратно в коллектор, заполняя освободившиеся поры. В результате ГВК поднимается вверх, уменьшая объём газонасыщенной части пласта. Таким образом, в течение эксплуатационного цикла “закачка–отбор” наблюдается дыхание газовой залежи: ГВК перемещается вниз при нагнетании и вверх при извлечении газа.

Для определения необходимых характеристик объекта эксплуатации (определение газонасыщенности) применяется, в соответствии с таблицей 1, аппаратура радиоактивного каротажа (РК), включающие такие методы как гамма-каротаж (ГК), нейтронный гамма-каротаж (НГК) и импульсный нейтрон-нейтронный каротаж (ИННК).

Радиоактивный каротаж, основанный на измерении естественной гамма-активности горных пород, называется гамма-каротажем (ГК). Регистрируемое при этом естественное гамма-излучение определяется содержанием в породах природных радиоактивных элементов - радионуклидов, среди которых основную роль играют уран (^{238}U , ^{235}U), торий (^{232}Th) и продукты их распада, а также радиоактивный изотоп калия (^{40}K). У магматических пород, в целом отличающихся повышенной естественной радиоактивностью, она закономерно уменьшается от кислых разностей к ультраосновным. Среди осадочных пород максимальной естественной радиоактивностью, как правило, обладают глины, минимальной - чистые (не глинистые) разности песков, песчаников, известняков. Исключение составляют некоторые разновидности полимиктовых песчаников, чья повышенная естественная радиоактивность

может быть обусловлена присутствием в них калиевого полевого шпата, битуминозные породы, фосфаты и некоторые другие породы. Можно считать, что радиоактивность большинства осадочных пород находится в прямой зависимости от их глинистости.

Гамма-каротаж применяют для решения следующих задач: определение глинистости, выделения в разрезах скважин местоположения полезных ископаемых, отличающихся пониженной или повышенной гамма-активностью; литологического расчленения и корреляции разрезов осадочных пород; выделения коллекторов; оценки глинистости пород; массовых поисков радиоактивного сырья. С использованием ГК решают технологическую задачу - увязку по глубине данных всех видов ГИС

Метод НГК является одним из ведущих методов исследования скважин нефтяных и газовых месторождений. В комплексе с другими методами нейтронный гамма-каротаж применяется для литологического расчленения разрезов скважин, выделения коллекторов, оценки пористости, отбивки водонефтяного и газонефтяного контактов и т.п.

В нейтронном гамма-каротаже измеряется искусственно вызванное гамма-излучение горных пород. Для возбуждения этого излучения стенки скважины бомбардируют нейтронами. НГК основан на измерении характеристик поля γ -излучения, возникающего под действием внешнего источника нейтронов.

Импульсный нейтрон-нейтронный каротаж (ИННК) в нефтегазодобывающих предприятиях России является распространённым. При данном методе горная порода облучается кратковременными потоками быстрых нейтронов длительностью ΔT (импульс в интервале времени), следующими один за другим через определенные промежутки нейтронного времени T . После окончания импульса, через некоторое время (время задержки T_z), в течение промежутка времени (ΔT) измеряется плотность нейтронов или продуктов их взаимодействия с горной породой (в отличие от НГК, при котором "испускание" нейтронов происходит постоянно, а не дискретно как

при ИННК). Поэтому в результате записи имеется несколько кривых (каждая из которых соответствует определённому времени задержки).

3 Результаты исследований. В данной работе рассматривается воробьевский горизонт, а именно пласт D2V+VI, так как он является основным объектом газохраниения Степновского ПХГ (с этими пластами связаны основные объёмы газа).

В целях эффективной эксплуатации ПХГ, как было изложено во второй главе, проводится регулярная оценка текущего газонасыщения и, соответственно, контроль за положением ГВК воробьевского горизонта. В связи с этим, для наблюдения за изменением насыщения коллекторов воробьевского горизонта, а именно пласта (D2V+VI), который является основным объектом газохраниения, в Степновском ПХГ осуществляется ГИС - контроль эксплуатационных скважин,

ГИС - контроль производится с помощью радиоактивных методов, в нейтральные периоды работы ПХГ, то есть после отборов и закачек. В данной работе рассмотрен комплекс ГИС - контроль, проведенный в скважинах № 1, № 2 и № 3.

По данным ГИС-контроля скважин № 1, № 2 и № 3, полученные в разные временные промежутки удалось определить пласты-коллекторы, характер насыщения пластов-коллекторов и положение уровня ГВК.

Заключение. Степновское ПХГ – предназначено для выравнивания сезонной неравномерности и пиковых нагрузок газопотребления Саратовской области и центральных районов России с помощью создания долгосрочных запасов газа в подземных горизонтах. Для обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации подземных хранилищ газа, используют геофизический контроль.

Определение характера насыщения эксплуатационного пласта-коллектора посредством системного мониторинга за изменением интервалов насыщения, а также за изменением положения ГВК являются важными задачами.

