

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

Кафедра геофизики

**«Применение методов ГИС для текущей оценки характера насыщения
коллекторов и положения ГВК на примере Степновского ПХГ»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 5 курса 531 группы

направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

геологического факультета

Буракова Станислава Вячеславовича

Научный

руководитель

К. г.-м.н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Саратов 2022

Введение. Актуальность темы исследования. В период разработки месторождения и 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.

Определение характера насыщения эксплуатационного пласта-коллектора посредством системного мониторинга за изменением интервалов насыщения, а так же за изменением положения ГВК являются важными задачами, которые входят в обязательный комплекс ГИС-контроля. Выполнение этих задач позволяет гибко осуществлять контроль за эксплуатацией ПХГ, увеличивать период эффективной работы, снижать риски обводнения скважин, продлевать срок межремонтного периода, таким образом, стараясь сохранить рабочий объём порового пространства газохранилища. К тому же, обводнившиеся скважины имеют малую вероятность ввода в дальнейшую эксплуатацию ввиду низкой энергетике пласта и конструктивных особенностей старого фонда скважин. Оценка характера насыщения пласта-коллектора является необходимым этапом контроля за эксплуатацией ПХГ.

Целью работы является исследование оценки характера текущего насыщения пласта-коллектора и положения ГВК ГИС-методами на примере эксплуатации Степновского ПХГ.

Для достижения цели решались следующие исследовательские задачи:

- изучить геолого-геофизические условия объекта исследования;
- описать методику исследования;
- исследовать физико-теоретические основы используемых методов;

– проанализировать результаты проведенных геофизических исследований по оценке характера насыщения и определению положения ГВК пласта-коллектора на скважинах Степновского ПХГ.

Решение поставленных задач осуществлялось с привлечением фондовых материалов предприятия, литературных источников, интернет-ресурсов; систематизации и обобщения данных, личного наблюдения, описания.

Данная квалификационная работа состоит из обозначений и сокращений, введения, трех разделов, заключения и списка использованных источников.

Основное содержание работы. 1. Геолого-геофизическая характеристика расположения Степновского ПХГ. Степновское подземное хранилище газа располагается на равнинной части левого берега реки Волги, в 55 км к юго-востоку от города Энгельса по воздушной прямой, в Советском районе Саратовской области. СПХГ, описывая рельеф и гидрографию, находится на правом склоне долины реки Большой Караман, которая является основной водной артерией района, протекает в 10 км южнее СПХГ и является третьей надпойменной террасой реки Волги.

В 1950-51 годах были проведены сейсморазведочные работы, в результате которых была выявлена Степновская структура, в 1953 году был получен первый газ, а с 1958 года уже началась промышленная эксплуатация данного месторождения. В 1973 году, с целью выяснения возможности создания ПХГ в истощенных залежах Степновского месторождения, началась пробная закачка газа, которая получила положительный результат, что послужило основанием для создания подземного хранилища газа. С 1988 года Степновское месторождение преобразовалось в Степновское ПХГ, ставшей неотъемлемой частью Единой системы газоснабжения.

СПХГ эксплуатируется в двух режимах: с мая по октябрь осуществляется режим закачки газа в хранилище, который соответствует 180

суткам; и режим отбора газа, осуществляющийся с октября по май в течение 150 суток.

В настоящее время Степновское ПХГ находится в зоне развитой сети нефтяных и газовых коммуникаций. Оно подключено к газопроводам Средняя Азия-Центр, Степное-Саратов, Степное-Балаково, Первомайское-Сторожевка, в 30 км севернее площади проходит нефтепровод Саратов-Самара.

В отношении литолого-стратиграфического очерка разрез Степновского месторождения сложен отложениями девонской, каменноугольной и пермской систем палеозойской эратемы, юрской и меловой систем мезозойской эратемы, неогеновой и четвертичной систем кайнозойской эратемы.

В тектоническом отношении территория исследования располагается в центральной части Степновского вала, входящего в состав Рязано-Саратовского прогиба юго-восточной части Русской платформы.

Промышленная нефтегазоносность на Степновском месторождении была выявлена в отложениях эйфельского и живетского ярусов среднего девона, заволжского, малевского и бобриковского горизонтов нижнего карбона, к резервуарам Степновского ПХГ относится Живетский ярус среднего девона – воробьевский и ардатовский горизонты, которые представлены переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов, глин.

2 Методика исследований. ГИС-контроль является одним из важных элементов в процессе управления за эксплуатацией ПХГ, носит системный характер, опирающийся на закономерности флюидодинамической системы ПХГ, и направлен на повышение надежности и эффективности эксплуатации подземного хранилища.

Контроль путём мониторинга ПХГ (основным объемом исследований которого являются методы ГИС) начинается вслед за освоением и выходом скважин на оптимальный режим закачки и отбора газа.

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. [Климов В.В., 2014].

Одними из главных задач при проведении ГИС - контроля за эксплуатацией ПХГ по всему фонду скважин, согласно регламенту, являются определение характера насыщения коллекторов и контроль положения газодляного контакта (ГВК). ГИС-контроль проводится в нейтральные периоды после закачки и отбора, при максимальных и минимальных давлениях по определенной сетке скважин (подготовленных для решения поставленной задачи), расположенных на водоопасных направлениях: «восточный» и «западный» прогибы, юго-восточная часть северо-восточного поднятия и присводовая часть западного поднятия.

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

Радиоактивный каротаж — совокупность геофизических методов исследования скважин, основанных на измерении интенсивности естественной и искусственно созданной радиоактивности горных пород, способствующих изучению состава и строения горных пород, слагающих стенки скважин, а также осуществлению проведения контроля за техническим состоянием скважин. В соответствии с видом регистрируемого излучения различают разновидности гамма-каротажа и нейтронного каротажа.

Определение естественного гамма-излучения, возникающего в результате самопроизвольного распада радиоактивных элементов (обусловлено это присутствием, главным образом, урана и тория, а также радиоактивного изотопа калия K^{40} и другие элементы, характеризующиеся радиоактивностью), содержащихся в горных породах, слагающих разрез скважины, соответствует методу гамма-каротажа (ГК). Таким образом, связь между радиоактивностью пород и их литологией (интенсивностью гамма-излучения и степенью заглинизованности пород) позволяет по максимумам кривой ГК выделять в разрезе скважины глинистые интервалы, оценивать содержание глинистого материала, а в комплексе с другими методами каротажа литологически расчленять разрез. Измеряемая величина – скорость счета в импульсах в минуту (имп/мин), расчетная величина – мощность экспозиционной дозы в микрорентгенах в час (МЭД, мкР/ч) [Калинникова М.В., 2005].

Определение интенсивности гамма-излучения радиационного захвата, возникающего в результате облучения горной породы потоком быстрых нейтронов соответствует нейтронному гамма-каротажу (НГК). Интенсивность вызванного гамма-излучения зависит от замедляющих и поглощающих свойств среды, т. е. от ее водородо- и хлоросодержания. Водород является основным элементом, влияющим на замедление и поглощение, поэтому, чем выше водородосодержание породы, тем ниже показания кривой. Измеряемой величиной НГК является скорость счета в импульсах в минуту (имп/мин), а расчетной величиной – водородосодержание пород в условных единицах [Стрельченко В.В., 2008].

Метод импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК) основан на облучении горной породы не непрерывным потоком быстрых нейтронов, как при НГК, а короткими вспышками – импульсами. При этом регистрируют не столько сами нейтроны, отраженные породами, а сколько определяют их время жизни, поэтому в результате записи получают несколько кривых (каждая из которых соответствует определённому времени

задержки). По этому показателю (по времени) породы принципиально отличаются и благодаря достаточно четкой разнице на диаграммах ИННК получается определить насыщение пластов-коллекторов, то есть отличить водяной пласт от нефтяного, а так же определить границу контакта флюидов (ГВК, ГНК, ВНК). Таким образом, оценка насыщенности коллекторов по данным ИННК базируется на зависимости среднего времени жизни тепловых нейтронов в породах от характера и содержания насыщающих флюидов. Показания кривых выражаются в имп/мин (импульсах/минута), а временные замеры (Тз) в мкс (микросекундах) [Калинникова М.В., 2005].

3 Результаты исследований. В целях эффективной эксплуатации ПХГ, как было изложено во второй главе, проводится регулярная оценка текущего газонасыщения и, соответственно, контроль за положением ГВК. В связи с этим, для наблюдения за изменением насыщения коллекторов воробьевского горизонта, а именно пласта (D₂V+VI), который является основным объектом газохранилища, в Степновском ПХГ осуществляется ГИС-контроль эксплуатационных скважин, расположенных на водоопасных направлениях: «восточный» и «западный» прогибы, юго-восточная часть северо-восточного поднятия и присводовая часть западного поднятия. 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 № 21 и 35, расположенных в водоопасном направлении, а именно в «восточном» прогибе Степновского ПХГ.

Детальный комплекс ГИС-контроль проведен методами ГК, НГК, ИИНК, в нейтральный период эксплуатации ПХГ, весной 2020 года, то есть после отбора; в настоящей работе представлен каротажный материал 2020 года и показан в интервале пласта-коллектора D₂V+VI воробьевского горизонта.

В соответствии с вышеизложенной теорией, по наименьшим показаниям гамма каротажа были выделены интервалы с коллекторами.

Таким образом, по минимальным значениям кривых ГК, определили интервалы с коллекторами в скважине № 21, им соответствуют следующие интервалы: 2072.4 - 2073.7 м, 2074.2 - 2087.5 м, 2088.2 - 2091.6 м, 2092.3 - 2099.5 м, 2101.3 - 2102.0 м, 2112.3 - 2114.0 м; в скважине № 35 интервалы-коллекторы: 2116.3 - 2117.0 м, 2117.6 - 2121.0 м, 2121.8 - 2122.7 м, 2124.4 - 2141.4 м, 2141.4 - 2146.2 м, 2149.0 - 2150.5 м.

Анализируя каротажные диаграммы в исследуемых скважинах, относительно нейтронного гамма каротажа (НГК), где газонасыщенные коллектора регистрируются повышенными значениями показаний кривой НГК, было выделено шесть газонасыщенных интервалов в скважине № 21 и пять интервалов в скважине № 35. Так же по кривым НГК в соответствующих скважинах определены смешенная зона (газ + вода) и водонасыщенные коллектора.

В случае ИННК, кривая которой в целом схожа с кривой НГК, основное влияние на различие показаний оказывает водородосодержание пород, то есть содержание воды, поэтому увеличение водонасыщенности в коллекторе ведёт к уменьшению показаний ИННК (в то же время в водонасыщенных коллекторах увеличение содержания ионов хлора увеличивает показания НГК). Нефтенасыщенные породы характеризуются средними показаниями, а газонасыщенные породы – высокими показаниями. В отличие от НГК метод ИННК более чувствителен к насыщенности пород и поэтому обладает более надёжной интерпретацией (значительная разница между показаниями в нефтенасыщенных и водонасыщенных участках).

Ввиду этого, в исследуемых скважинах, получили возможность еще конкретнее определить характер насыщения коллекторов, а именно, выделили интервалы слабогазонасыщенные, характеризующиеся небольшим уменьшением кривой ИННК, относительно газонасыщенных максимумов (в скважине № 21 слабогазонасыщенным коллекторам соответствуют восемь интервалов; в скважине № 35 - пять интервалов).

Затем уточнили с помощью ИННК, уже выделенные методом НГК, интервалы со смешанным и водоносным насыщением (в скважине № 21 смешанным насыщением характеризуется интервал 2094.6 - 2097.4 м, в скважине № 35 - 2133.0 - 2136.1 м; водонасыщенный коллектор в скважине № 21 соответствует интервалу 2097.4 - 2099.5 м, в скважине № 35 - 2136.1 - 2141.4 м).

Вслед за этим, по кривым ИННК, определили и положение газоводяного контакта (ГВК), который определяется между газонасыщенным и смешанным насыщением интервалов: по данным ГИС-контроль от марта 2020 года в скважине № 21 ГВК в пласте-коллекторе D₂V отмечается на глубине 2094.6 м, а в скважине № 35 ГВК в том же пласте D₂V и отмечается он на глубине 2133.0 м. Таким образом, определение характера насыщения коллекторов позволило решить следующую важную задачу – определить положение ГВК.

Наблюдение за изменением положения ГВК позволяет определить режим работы залежи и количество поступающей воды, что даёт возможность обоснованно планировать выполнение проектных решений.

Важное значение, при решении подобных практических задач, приобретает комплексирование перечисленных методов, которое позволяет идентифицировать характер насыщения и положение ГВК с большей степенью достоверности.

Подробное описание насыщения интервалов пласта-коллектора D₂V+VI воробьевских отложений по исследуемым скважинам Степновского ПХГ приведено в работе в табличном виде.

В результате проведенных работ, с помощью комплекса методов ГИС (ГК, НГК и ИННК), были выделены коллекторы в исследуемой части пласта, оценен характер насыщения и определено положение ГВК.

Заключение. В результате освоения и эксплуатации Степновского месторождения, в истощенные залежи D₂V+VI и D₂IV^б началась пробная

закачка газа, положительные результаты которой послужили использованию его как подземного хранилища газа - Степновское ПХГ.

После освоения и выхода скважин на оптимальный режим закачки и отбора газа, одними из основных средств контроля за надежной и эффективной эксплуатацией ПХГ являются геофизические методы исследования обсаженных скважин и, в первую очередь, радиоактивные методы, позволяющие определять характер насыщения пластов и положение ГВК.

В работе рассмотрен материал ГИС-контроля в двух скважинах, расположенных в «восточном» прогибе Степновского ПХГ, анализ которого позволил определить характер насыщения пласта D₂V+VI весной, после отбора, 2020 года. Методы радиоактивного каротажа (ГК, НГК и ИННК), в исследуемых скважинах, позволили выделить интервалы с коллекторами, затем определить характер их насыщения (газонасыщенные, слабогазонасыщенные, газ + вода, водонасыщенные) и положение ГВК.

«ГИС-контроль» является одним из важных элементов в процессе управления за эксплуатацией ПХГ, поскольку он носит системный характер, то есть проводится с целью контроля путем мониторинга ПХГ, основываясь на закономерностях флюидодинамической системы ПХГ, и направлен на повышение надежности и эффективности эксплуатации подземного хранилища. Методы радиоактивного каротажа, входящие в обязательный комплекс «ГИС-контроль», проявили свою эффективность в выполнении данных задач.