

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

Кафедра геофизики

**«Особенности проведения ГИС при бурении наклонно-направленных и  
горизонтальных скважин на примере Перекопного месторождения  
бортовой зоны Прикаспийской впадины»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 5 курса 531 группы  
заочной формы обучения  
геологического факультета  
направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело»,  
профиль «Геолого-геофизический сервис нефтегазовых скважин»  
Попова Данилы Алексеевича

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

\_\_\_\_\_

К.Б. Головин

подпись, дата

Зав. кафедрой  
к.г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Саратов 2021

**Введение.** В последние десятилетия в связи с нарастающей выработанностью эксплуатируемых нефтегазовых месторождений ухудшаются коллекторские свойства продуктивных отложений и качественный состав насыщающих их флюидов, что не позволяет увеличивать коэффициент извлечения нефти несмотря на применение самых современных технологий. Одним из резервов такого увеличения является разработка залежей УВ наклонно-направленными и горизонтальными скважинами. Современными проектами разработки месторождений углеводородного сырья предусматривается строительство значительного количества горизонтальных скважин, общее число которых постоянно увеличивается.

В Волго-Уральской и Прикаспийской нефтегазоносных провинциях в настоящее время находится в эксплуатации более 1500 горизонтальных скважин. Средняя длина условно горизонтальных участков стволов составляет первые сотни метров, хотя нередки случаи их протяженности более одного километра.

Вскрытие продуктивной толщи направленными, в том числе горизонтальными и разветвленно-горизонтальными скважинами, позволяет:

- повысить продуктивность скважины за счет увеличения площади фильтрации;
- продлить период безводной эксплуатации скважин;
- увеличить степень извлечения углеводородов на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки;
- повысить эффективность закачки агентов в пласты;
- вовлечь в разработку пласты с низкими коллекторскими свойствами и с высоковязкой нефтью;
- освоить труднодоступные нефтегазовые месторождения, в том числе морские;
- улучшить технологию подземных хранилищ газа.

При этом проведение ГИС в горизонтальных скважинах имеет ряд особенностей, связанных как с доставкой каротажных приборов в отдаленные

участки ствола, так и с интерпретацией полученных данных.

В соответствии с вышеизложенным целью настоящей работы является рассмотрение особенностей проведения ГИС в горизонтальных скважинах.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- изучение геологического строения Перекопного месторождения;
- описание методических и технических средств ГИС;
- проведение исследований в одной из скважин месторождения.

Материалы для написания работы получены при непосредственном участии автора.

**Основное содержание работы.** В административном расположении Перекопное месторождение находится в пределах Дергачевского района Саратовской области Российской Федерации. Район расположен на северной окраине Прикаспийской низменности.

Вся территория Прикаспийской впадины неоднократно подвергалась подробному исследованию геолого-геофизическими методами. Так, в 1925 г. в Прикаспийской впадине впервые была проведена гравиметрическая съемка. Гравиразведка в условиях Прикаспийской впадины, где геологическое картирование без бурения скважин невозможно, во много раз ускорила и упростила поиски солянокупольных структур. Кроме вариометрической съемки проводились и маятниковые определения силы тяжести. Значения силы тяжести, определенные с помощью маятников, явились основой, к которой привязывались данные съемки с вариометров. Обширные материалы гравиметрической съемки позволили разрешить некоторые важные вопросы геологии Прикаспийской впадины.

В результате был сделан вывод, что Прикаспийская впадина приурочена к региональной отрицательной аномалии силы тяжести, которая почти со всех сторон оконтуривается положительными аномалиями. Гравиметрическими работами было установлено, что в ряде районов погружение палеозойских отложений в сторону Прикаспийской впадины имеет ступенчатый характер, что обусловлено разломами в кристаллическом фундаменте.

На территории Прикаспийской впадины в 1930 г. была проведена сейсмическая разведка по методу преломленных волн. В дальнейшем этим методом изучались почти все купола, которые готовятся к промышленной разведке.

Сейсмические работы по методу отраженных волн были начаты в Прикаспийской впадине еще в 1935 г. Однако более или менее приемлемые данные о глубинном строении надсолевых отложений впервые были получены этим методом только в 1940 г. Начиная с этих пор сейсмический метод отраженных волн можно по праву считать основным при подготовке структур к промышленной разведке. В настоящее время изучение геологического строения куполов методом отраженных волн считается обязательным этапом, который должен предшествовать глубокому разведочному бурению.

Бурение проектировалось на пермские отложения с попутным вскрытием триасовых, юрских, меловых, неогеновых и четвертичных отложений.

Отложения артинского яруса представлены неравномерным переслаиванием ангидритов от белых до светло-серых, полупрозрачных, частично красноватых, скрытокристаллических, средней крепости с доломитами серыми, скрытокристаллическими, рыхлыми, слабой и средней крепости.

Тектонически район исследований находится в юго-восточной части Русской (Восточно-Европейской) платформы. Ее фундамент составляют жесткие древние докембрийские породы (гнейсы, кварциты, кристаллические сланцы). Их абсолютный возраст исчисляется в 2600 миллионов лет.

Промышленная нефтеносность доказана в пермских пластах, а именно в артинском пласте в скважине № 1 получен приток газа.

Геофизические исследования горизонтальных скважин преимущественно реализуются за счет двух основных технологий:

- использование комплексной геофизической автономной аппаратуры, спускаемой на бурильных трубах с регистрацией всей информации в автономных блоках памяти;

- использование в процессе бурения скважины телеметрических систем MWD и LWD (logging while drilling), встраиваемых в буровую компоновку с передачей части информации на поверхность в реальном масштабе времени и регистрацией всей информации в автономных блоках памяти.

Каждая из этих технологий имеет свои плюсы и минусы.

К достоинствам использования в процессе бурения скважины телеметрических систем MWD и LWD следует отнести возможность оперативного контроля траектории скважины, оценки физических свойств разбуриваемых пород. Недостатки связаны с низкой скоростью передачи информации на поверхность по электрическому, гидравлическому или комбинированному каналу связи. Помимо этого, имеется возможность передавать только ограниченный поток измеренных данных, как правило, это инклинометрия, ГК и сопротивление пород.

При использовании комплексной геофизической автономной аппаратуры, спускаемой на бурильных трубах, практически все геофизические методы, необходимые для исследования горизонтальных скважин можно реализовать на базе автономных комплексных скважинных приборов, спускаемых на бурильных трубах. Такие приборы гораздо проще в конструктивном исполнении, а их стоимость на порядок ниже стоимости телесистем с аналогичным набором геофизических методов. Недостатки связаны с потерей оперативности получения информации и с необходимостью дополнительного рейса бурового инструмента с приборами в скважину по окончании бурения.

В зарубежной практике геофизические исследования скважин вовремя их бурения выполняются при помощи телеметрических систем LWD, состав геофизических методов которых практически эквивалентен по информативности стандартному комплексу, выполняемому на кабеле. Системы позволяют также проводить инклинометрические замеры и измерения параметров бурения (нагрузка на долото, крутящий момент, число оборотов забойного двигателя и др.). Для передачи информации от забоя к поверхности Земли используется гидроимпульсный канал связи, сущность которого

заключается в посылке кода информации в виде импульсов давления по промывочной жидкости, находящейся в стволе скважины. Скорость передачи информации составляет не более 10 бит/с, что является основным недостатком систем LWD. Поэтому на устье во время бурения передается весьма ограниченный объем информации. Большая ее часть записывается в память для последующего считывания на поверхности.

Применяемые алгоритмы интерпретации данных ГИС разработаны для вертикальных скважин, для которых характерно, в основном, субгоризонтальное залегание осадочных отложений, в результате чего вблизи ствола скважины свойства пород и отражающие их результаты измерений обладают осевой симметрией.

Горизонтальные скважины, как правило, субпараллельны напластованию, что многократно усложняет теоретическое решение прямых задач. Например, сопротивления пород в вертикальном и горизонтальном направлениях относительно ствола скважины могут отличаться в несколько раз. Анизотропия свойств пород относительно оси ГС усугубляется также самим горизонтальным участком ствола, так как несимметричной является зона проникновения фильтрата промывочной жидкости при бурении, а также зона дренирования пластов при разработке.

Таким образом, главной особенностью интерпретации ГИС в горизонтальных скважинах для оценки коллекторских свойств пород является отсутствие теоретической базы в виде результатов решения прямых задач. По зарубежным источникам известно, что при определении количественных параметров пластов, ошибки в оценке пористости пород могут достигать 6% (абсолютная погрешность), недостоверность определения характера насыщения 50%, а ошибки определения толщин пластов – 200-300%.

В составе АМК «ГОРИЗОНТ» имеются автономный скважинный прибор, глубиномер, датчик нагрузки и наземный обрабатывающий комплекс.

Технология исследований горизонтальных скважин и боковых стволов с применением автономного комплекса на бурильных трубах АМК

«ГОРИЗОНТ» включает следующие основные операции:

- подготовка и тестовые проверки аппаратуры на скважине;
- установка времени включения измерительной схемы скважинного прибора – времени задержки;
- доставка прибора на устье скважины и установка контейнера с источником ионизирующего излучения в специальный переводник (в случае необходимости);
- спуск скважинного прибора на бурильных трубах до интервала исследований;
- включается питание скважинного прибора и в заданном интервале исследований происходит регистрация геофизических параметров в память прибора;
- подъем прибора на поверхность, его разборка и считывание информации с автономного блока памяти в компьютер (файл информации);
- обработка и интерпретация первичной информации.

Разработаны различные модификации АМК «ГОРИЗОНТ» для исследования скважин с максимальной температурой на забое 125(150)°С и давления 60(80)МПа. Комплексные автономные приборы АМК «ГОРИЗОНТ» содержат определенный набор геофизических методов, конструктивно и функционально независимы.

Автономные приборы в зависимости от модификации позволяют измерять и регистрировать информацию в течение 19 и 38 часов, что позволяет проводить геофизические исследования в интервалах от 200 м до 3000 м. После подъема скважинного прибора на поверхность зарегистрированная информация считывается из блока памяти в компьютер, увязывается по глубине скважины и в цифровом виде передается в службу интерпретации, после чего Заказчику выдается заключение по скважине.

Такая технология позволяет проводить геофизические исследования в горизонтальных скважинах с любой траекторией ствола и большой протяженности, а также в осложненных наклонных скважинах, где применение

геофизической аппаратуры на кабеле затруднено или невозможно. Основным преимуществом комплексной геофизической аппаратуры является то, что все геофизические методы жестко увязаны между собой, с геологическим разрезом и с траекторией скважины.

В 1999-2000г. разработан новый расширенный комплекс АМК «ГОРИЗОНТ-90», предназначенный для геофизических исследований горизонтальных скважин и боковых стволов методами КС (четыре симметричных градиент-зонда), ПС, ГК, НГК-65, ННКТ- 25, ННКТ-50 и инклинометрии. По сравнению с предыдущими модификациями в автономный скважинный прибор дополнительно включены еще один симметричный полуметровый градиент-зонд электрического каротажа и два зонда нейтронного каротажа: ННКТ-25 и ННКТ-50.

Скважинный прибор имеет следующие конструктивные данные:

- длина -  $7720 \pm 100$  мм; диаметр – 90 мм;
- присоединительная резьба для бурового инструмента – 3-76;
- диаметр проточки под элеватор – 73 мм;
- промывка скважины через переводник в верхней части скважинного прибора.

АМК «ГОРИЗОНТ» позволяет решать следующие задачи:

- расчет и увязка по абсолютным глубинам параметров траектории скважины;
- построение синтезированного вертикального разреза горизонтальной скважины и увязка его с соседними вертикальными скважинами;
- литологическое расчленение по стволу горизонтальной скважины;
- выделение продуктивных пластов и определение их параметров (пористость, глинистость, нефтенасыщенность).

Во всех автономных приборах АМК «ГОРИЗОНТ» включен гамма-метод ГМ, который используется как для определения естественного содержания радиоактивных элементов в породе, так и для взаимной увязки информации,

зарегистрированной в разных приборах АМК «ГОРИЗОНТ» в процессе измерений в скважине.

Основываясь на вышеизложенных теоретических аспектах проведения ГИС в наклонно-направленных и горизонтальных участках ствола скважины в настоящей работе проведены ГИС с целью литологической интерпретации разреза. Причем автор собственноручно осуществлял измерения в процессе бурения LWD.

Максимальный зенитный угол условно-горизонтального ствола составил 86 градусов.

Бурение скважины велось с включением в компоновку бурового инструмента модуля LWD. Писались методы гамма-каротажа, НГК, ННКт, резистивиметрия. Качество осуществленных работ хорошее, кривая ГК дифференцирована. По окончании бурения в скважине проведен комплекс ГИС с использованием АМК «Горизонт».

Разрез артинских отложений на Перекопном месторождении представлен сульфатно-карбонатными породами. Продуктивными отложениями являются доломиты, перекрытые сверху и снизу мощными толщами ангидритов.

Как известно, в сульфатно-карбонатном разрезе минимальной гамма-активностью обладают ангидриты, доломитам свойственно повышение гамма-фона, что в данном случае является критерием литологического расчленения.

Предварительное литологическое расчленение выполнялось оперативно в ходе бурения, используя данные LWD. С глубины 2008 метров разрез представлен ангидритами с минимальной гамма-активностью 1-2 мкР/ч. С глубины 2037 м отмечен устойчивый рост гаммы до 20-22 мкР/ч с пиком в 23 мкР/ч на глубине 2060 м. Такое повышение гамма-фона вкупе с ростом пористости до 6-8% по НГК и до 15-18% по ННКт однозначно свидетельствуют о вскрытии пласта доломитов.

Подошва пласта ориентировочно отмечена на глубине 2074 м по середине падения кривой гамма. Далее до глубины 2110 м бурение велось по ангидритам.

Проведенный после окончания бурения ствола комплекс ГИС

посредством АМК «Горизонт» подтвердил полученные данные. Кровля пласта доломитов отмечена на глубине 2038 м ростом гаммы от фоновых значений около 1 мкР/ч до 18-20 мкР/ч. Помимо этого пласт доломитов отмечен падением плотности с 2,9 до 2,7 г/см<sup>3</sup>, увеличением скорости пробега волны по данным АК от 165 до 175-180 мкс/м. Подошва пласта доломитов по данным АМК находится на глубине 2075 м.

Таким образом, отмечена хорошая сходимость данных LWD и АМК, данные независимые методы подтвердили показания друг друга. При этом заметна гораздо лучшая дифференцированность кривой ГК АМК «Горизонт», позволяющая идентифицировать тонкие неоднородности разреза.

Вместе с тем согласно вышеприведенным данным, можно отметить расхождение в определении глубин залегания пласта доломитов среди толщи ангидритов по данным телесистемы и АМК в пределах одного, что вероятно связано с особенностями снятия замеров инклинометрии в процессе и после бурения.

**Заключение.** В настоящее время происходит интенсивное развитие наклонно-направленного и горизонтального бурения. Для исследований горизонтальных скважин разработано значительное количество автономных технологических систем, основным достоинством которых является возможность доставки приборов в ГС сложного профиля и значительной длины. Полный комплекс геофизических исследований стандартными геофизическими приборами (включая и дополнительные методы) может обеспечить АМК «Горизонт», позволяя производить исследования в эксплуатационных скважинах.

Интерпретация данных ГИС в горизонтальных скважинах имеет особенности, связанные с отсутствием теоретической базы в виде результатов решения прямых задач. Это приводит к ошибкам не только при определении количественных параметров в оценке пористости пород, установлении характера насыщения, но и при вычислении толщин пластов.

В работе рассмотрены особенности проведения ГИС в горизонтальном

участке ствола скважины, успешно выделен предположительно продуктивный пласт, произведено сопоставление данных телесистемы и автономного модуля, подтверждена достоверность выполненных исследований взаимной корреляцией этих данных.