

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

Кафедра геофизики

**«ИНФОРМАТИВНОСТЬ ГИС В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ  
ОРЕНБУРГСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ»**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 403 группы  
направление 05.03.01 геология  
геологического ф-та  
Стороженко Артёма Денисовича

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 2019

**Введение.** Современные исследования скважин – каротаж в процессе бурения LWD (logging while drilling) применяются при бурении горизонтальных и наклонных скважин, которые являются более эффективными при разработке углеводородов, чем вертикальные. С помощью LWD бурения можно определить характеристики пласта до проникновения в него бурового раствора, что даст при интерпретации наиболее точную картину параметров околоскважинного пространства. В этом случае исследование скважины будет экономически выгоднее, чем при стандартных ГИС – исследованиях.

В целом каротаж в процессе бурения позволяет:

- Отслеживать Положение скважины относительно геологических тел;
- Выявлять качественные и количественные параметры пласта с целью бурения по наиболее эффективной его части;
- Получать объективные данные для оценки свойств пласта.

Сбор данных в процессе бурения возможен в результате включения приборов в компоновку бурильной колонны. Современная скважинная аппаратура может передавать данные в режиме реального времени, а также может сохранять эту информацию в памяти устройства, которая может быть считана только после его извлечения на дневную поверхность. На практике используют оба варианта сбора данных, дополняющих друг друга. Это решение позволяет получить наиболее полную и достоверную информацию о изучаемом геологическом пространстве. Целью данной работы является изучение информативности проведения ГИС в процессе бурения, применительно к геологическим условиям.

Данная цель предполагает решение следующих задач:

1. Изучить геолого – геофизическую характеристику территории исследования (ОНГКМ);
2. Охарактеризовать комплекс ГИС в процессе бурения;
- 3 На примере ОНГКМ показать информативность ГИС в процессе бурения.

**Основное содержание работы.** В первом разделе, геолого-

геофизическая характеристика района работ, приводятся сведения о территории.

Для написания этой работы был использован материал со скважин, пробуренных на Оренбургском нефтегазоконденсатном месторождении (ОНГКМ). Месторождение находится в южной части Оренбургской области, на левом берегу реки Урал, примерно в 50 км южнее от Оренбурга.

Исследуемая территория залегает на юго-восточной части Восточно-Европейской платформы, в пределах северной части Соль-Илецкого свода расположенного на стыке трех крупных тектонических элементов: Волго-Уральской антеклизы, Прикаспийской синеклизы и Предуральяского прогиба. Кристаллический фундамент сложен в основном гнейсами и гранито-гнейсами различного состава.

Осадочный чехол представлен отложениями пермской, каменноугольной и девонской систем. Большая часть толщи сложена преимущественно известняками.

По условиям залегания осадочного чехла на данной области выделяется Восточно-Оренбургское сводовое поднятие. Восточно-Оренбургское сводовое поднятие представляет обширную незамкнутую положительную структуру, вытянутую в субмеридиальном направлении почти на 400 км.

Целевым объектом разработки на ОНГКМ является нефтенасыщенный Франский ярус девонской системы D<sub>3f</sub>. Залежь нефти находится в условиях средних пластовых давлений и температур.

**Во втором разделе,** методика исследования, история развития ГИС в процессе бурения, особое внимание было уделено физическим основам методов, входящих в комплекс и их интерпретации.

С конца 70-х годов по причине увеличения объемов наклонно-направленного и горизонтального бурения на море и на суше в ряде зарубежных стран (США, Франции и др.) началась интенсивная разработка систем скважинных измерений в процессе бурения в реальном времени (MWD и LWD-систем), включающих в себя дополнительно к комплексу наземных

параметров (до 24) комплекс глубинных параметров (параметры траектории ствола скважины, практически полный комплекс геофизических исследований скважин, температура на забое скважины, крутящий момент на долоте, нагрузка на долото и др.), получаемых с помощью телесистемы, скомпонованной в буровом инструменте и передающей данные непрерывно на дневную поверхность по беспроводному каналу связи.

В СССР были разработаны системы ЗИС – 4 и «Забой», являющимся аналогами соответственно MWD и LWD технологий. Отечественные приборы не приобрели широкого распространения из-за недоработок и экономии при их производстве.

В настоящее время каротаж в процессе бурения применяют в трудных геологических условиях, где используют наклонное и горизонтальное бурение. Применять данный метод в вертикальном бурении экономически не целесообразно. Однако в случае наклонного бурения при определенных условиях комплексируют LWD – каротаж и каротаж на трубах, что опять же сокращает временные и как следствие финансовые затраты. Сбор данных в процессе бурения возможен в результате включения приборов в компоновку бурильной колонны. Современная скважинная аппаратура может передавать данные в режиме реального времени, а также может сохранять эту информацию в памяти устройства, которая может быть считана только после его извлечения на дневную поверхность.

Преимущества ГИС в реальном времени процесса бурения, независимо от того, передаются данные по раствору или хранятся в скважинном приборе, включают:

- страхование данных ГИС, гарантированное получение данных, даже если скважина потеряна или невозможны ГИС на кабеле;
- своевременное выделение интервалов обсадки, отбора образцов керна и проб пластовых флюидов;
- точную привязку сейсмических отражающих границ в процессе бурения, более достоверное стратиграфическое картирование и корреляцию

разрезов скважин;

- ранний прогноз характера насыщения коллекторов, особенно газоносных пластов;

- определение  $\rho_n$  в процессе проходки, а также динамического  $\rho_n$ ;

- улучшенную статистическую точность измерений радиоактивных излучений при максимальной скорости проходки 15 м/ч.

При этом существует ряд факторов, который может привести к ограничению полноценного использования вышеперечисленных вариантов сбора данных. К этим факторам относятся:

- Режим бурения, который должен обеспечивать циркуляцию бурового раствора через бурильную колонну, по которому осуществляется передача данных посредством импульсов давления;

- Время работы батареи. Скважинная аппаратура может работать в пределах от 40 до 90 часов;

- Объем памяти устройства. Большинство каротажных приборов насчитывает несколько мегабайт. После заполнения этой памяти запись ранее собранных данных стирается. Во времени полное заполнение памяти может продолжаться 20 - 120 часов;

- Неисправность прибора. Вследствие чего происходит прекращение записи данных.

Технология LWD – бурения включает в себя следующие виды каротажей: гамма – каротаж, гамма – гамма каротаж, нейтронный, индукционный и акустический.

Гамма-каротаж основан на изучении естественного гамма-излучения горных пород, обусловленной присутствием главным образом урана и тория с продуктами распада, а также радиоактивного изотопа калия  $K^{40}$ . Гамма-излучение представляет собой высокочастотное коротковолновое электромагнитное излучение, граничащее с жестким рентгеновским излучением с энергией, измеряемой 13 мегаэлектронвольтах (МЭВ) [2]. Благодаря своей высокой проникающей способности гамма-излучение имеет

практическое значение при исследовании разрезов скважин ( $\gamma$ -лучи полностью поглощаются лишь слоем пород толщиной около 1 м); наличие обсадной колонны не является препятствием для проведения измерений. Интенсивность радиоактивного излучения пород в скважине измеряют с помощью индикатора гамма-излучения. В качестве индикатора используют счетчики Гейгера–Мюллера или более эффективные - сцинтилляционные счетчики. Полученная кривая, характеризующая интенсивность гамма-излучения пластов вдоль ствола скважины, называется гамма-каротажной кривой. Радиоактивность основных минералов, входящих в состав осадочных горных пород, колеблется в широких пределах. Все эти минералы по радиоактивности могут быть разбиты на четыре группы.

Прохождение  $\gamma$  – квантов через вещество происходит безрезультатно. В ходе этого процесса происходит взаимодействие этого вида излучения с электронами и ядрами атомов, что приводит к ослаблению интенсивности гамма – излучения. Плотностной каротаж основан на эффекте комптоновского рассеяния, который происходит при участии  $\gamma$  – квантов с энергией 0,5 – 5 МэВ. При плотностном каротаже применяют источник гамма – излучения с энергией от 0,5 до 2 МэВ. В качестве источника используют искусственные изотопы. Полученная в результате замера кривая, характеризующая интенсивность  $\gamma$ -излучения пластов вдоль ствола скважины, называется *гамма каротажной кривой*. В скважинах различных месторождений, приуроченных к осадочным отложениям, кривые гамма – метода отражают степень глинистости горных пород и наличие в разрезе низкоактивных пород гидрохимического происхождения. Повышенными интенсивностями  $I_\gamma$  на кривых отмечают наиболее глинистые разности горных пород. Минимальными интенсивностями  $I_\gamma$  характеризуются хомогенные осадки и чистые разности песков, песчаников, известняков и доломитов. С помощью ГК можно определить коэффициент пористости  $K_p$ .

НГК основан на измерении вторичного гамма – излучения. Нейтронное излучение обладает большой проникающей способностью. Это связано с

нулевым зарядом нейтронов, которые не взаимодействуют с электронными оболочками и не отталкиваются кулоновским полем ядра. Нейтроны характеризуются энергией  $E$ , которая в этом случае связана с их скоростью ( $1,38 \cdot 10^6 E^{1/2}$  см/с). Различают быстрые нейтроны с энергией 1-15 МэВ, промежуточные - 1 МэВ - 10 эВ, медленные, или надтепловые - 10-0,1 эВ и тепловые нейтроны со средней энергией 0,025 эВ. В горной породе замедляющая способность нейтронов определяется содержанием водорода в единице ее объема (водородосодержанием). Наличие в породе воды или нефти приводит к тому, что замедление нейтронов происходит в основном на ядрах водорода. При постоянном содержании водорода замедляющей способностью будет обладать хлор. В среде, которая обладает высокими значениями  $w$  непосредственной близости от источника наблюдается большее число рассеяний быстрых нейтронов, чем в среде с низкими показателями водородосодержания и поэтому плотность надтепловых нейтронов будет выше. Следовательно и при удалении от источника сказывается поглощение тепловых нейтронов, которые также как и надтепловые зависят от значений  $w$ . В связи с вышесказанным можно резюмировать следующее: плотность надтепловых и тепловых нейтронов тем выше, чем больше показание водородосодержания среды.

Для нейтронов одними из основных параметров являются длина замедления нейтронов ( $L_3$ ) и диффузионная длина ( $L_d$ ). Первая характеристика представляет собой среднее расстояние от точки вылета нейтрона до того места, где эта частица станет обладать значениями энергии, которые сопоставимы тепловым нейтронам. Рассчитывается длина замедления с помощью метода Монте Карло, например в воде она достигает нескольких сантиметров, а в горных породах – 15-35 см. Диффузионная длина это среднее расстояние, проходимое нейтроном от точки замедления до точки захвата. Значения диффузионной длины обычно являются меньшими относительно длины замедления. При увеличении содержания воды в песчанике, известняке или доломите в пределах 0—100 %  $L_3$  уменьшается в 3—4 раза. На длину

замедления в малой степени оказывает влияние химический состав среды. Его изменения при одинаковом количестве воды приводят в рассматриваемых средах к изменениям  $L_3$  до  $\pm 15\%$ , т. е. к результатам, получаемым при изменении содержания воды до 6%. В минералах, которые не содержат в своем составе водород параметр  $L_3$  изменяется в широких пределах.

В однородной изотропной среде могут возникать и распространяться волны двух типов- продольные Р и поперечные S. В волне Р частицы среды движутся в направлении распространения волны. Скорости распространения волн зависят от плотности и упругих свойств среды (модулей Юнга и сдвига). Величины  $v_p$  и  $v_s$  для рыхлых горных пород существенно зависят от глубины их залегания и от эффективного напряжения  $\sigma - p$ , т.е. разности горного  $\sigma$  и гидравлического  $p$  давлений. Акустический каротаж по затуханию основан на изучении характеристик затухания упругих волн в породах, вскрываемых скважинами. Энергия упругой волны и амплитуда колебаний, наблюдаемых в той или иной точке, зависят от многих факторов. Основными из них являются: мощность излучателя, расстояние от него до данной точки и характер горных пород.

Метод индукционного каротажа (ИК) применяется для изучения удельного электрического сопротивления горных пород в сухих скважинах и скважинах заполненных промывочными жидкостями на нефтяной основе, непроводящими электрический ток. Этот метод основан на измерении напряженности переменного магнитного поля вихревых токов, которые возбуждаются опущенным в скважину источником. Самый простой зонд ИК выглядит следующим образом: 2 катушки одна из которых генераторная, другая – приемная. Он может применяться в случае обсадки скважин асбоцементными или пластмассовыми трубами и позволяет получить хорошо расчлененные кривые электропроводности с симметричными и весьма четкими аномалиями. Применение ИК ограничено при соленой промывочной жидкости и высоком удельном сопротивлении пород. Для определения мощностей пластов применяется правило полумаксимума амплитуды аномалии.

Мощность, найденная по этому правилу, обозначается  $h_{\phi}$ . Отсчет существенных значений производится в точках экстремумов  $\sigma_{\text{кmin}}$  и  $\sigma_{\text{кmax}}$ , если пласт однороден. В неоднородных пластах значения отсчитываются как средневзвешенные по мощности. При работе удобнее пользоваться кажущимися удельными сопротивлениями  $\rho_k$ .

Характерными (существенными) значениями кривой индукционного каротажа, записанной против пласта конечной мощности, являются показания против середины пласта. Влияние скважины на показания ИК в общем случае зависит от  $d_c$ ,  $\rho_c$  и отношениям  $\rho_{\text{п}} / \rho_c$ . В случае высокоминерализованной ПЖ ( $\rho_c < 1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) и достаточно высокого удельного сопротивления пород ( $\rho_{\text{п}}/\rho_c > 20$ ) влияние скважины становится заметным и учитывается при интерпретации диаграмм ИК с помощью специальных палеток.

**В третьем разделе,** результаты исследования, приведены результаты выполненных работ.

На оренбургском месторождении N был выполнен каротаж в процессе бурения и получена итоговая диаграмма ГИС в масштабе 1:500 (приложение А), в которой отображены кривые по следующим методам: Гамма – каротаж, индукционный каротаж различного радиуса, Гамма – гамма каротаж – плотностной, также замерялась средняя скорость проходки, время между бурением и каротажом, объемная плотность, фотоэффект и нейтронная пористость.

Проанализировав диаграмму предположили, что на всем интервале исследования распространены известняки на что указывают повышенные значения кривых объемной плотности и нейтронной пористости. Имидж плотности также указывает на наличие плотных пород в промежутке, проводимых исследований. По имиджу плотности можно определить пропластки повышенной плотности относительно всего промежутка, которые находятся на следующих глубинах

- 2275 - 2300 м;

- 2505 – 2513 м;
- 2565 – 2575 м;
- 2620 – 2635 м.

В промежутке 2600 – 2618 м предположительно расположен пласт коллектор, на что указывает уменьшение плотности в этом отрезке и соответственно пористости, а также средняя скорость проходки и показания ГК.

Вышеперечисленные интервалы были выделены по комплексу сведений, указанных в каротажной диаграмме. Большую информативность сыграл имидж плотности по ГГК - п, именно от него в первую очередь происходил анализ интервалов.

**Заключение.** ГИС в процессе бурения в настоящее время является дорогостоящим, но достаточно информативным и как следствие выгодным решением для изучения околоскважинного пространства горизонтальной или наклоненной скважин. В результате выполненной работы была изучена геолого – геофизическая характеристика Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения, а также исследована методика ГИС в процессе бурения и информативность данного метода.