

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

Кафедра геофизики

**Выделение пород-коллекторов по данным механического каротажа на  
примере Лоскутовской площади**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 403 группы  
направление 05.03.01 геология  
профиль «Нефтегазовая геофизика»  
геологического ф-та  
Татаринова Артёма Александровича

**Научный руководитель**

К.г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

К.Б. Головин

**Зав. кафедрой**

К.г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2024

**Введение.** Геолого-технологические исследования (ГТИ) являются составной частью геофизических исследований бурящихся скважин и в числе прочих решают комплекс геологических и технологических задач, направленных на оперативное выделение в разрезе бурящейся скважины перспективных на нефть и газ пластов-коллекторов, изучение их фильтрационно-емкостных свойств и характера насыщения, оптимизацию отбора керна, экспрессное опробование и изучение методами ГИС выделенных объектов, обеспечение безаварийной проводки скважин и оптимизацию режима бурения. ГТИ тесно связывают с газовым каротажем, так как с его развитием и образовались геолого-технологические исследования, так же газовый каротаж входит в комплекс ГТИ и составляет его существенную часть.

**Цель данной работы:** литологическое расчленение разреза и выделение пород-коллекторов по данным механического каротажа. Объект исследования скважина №17 Лоскутовской площади.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи:**

- изучить литолого-петрофизические особенности пород, слагающих разрез Лоскутовской площади;
- изучить методику проведения механического каротажа;
- выполнить литологическое расчленения разреза по данным механического каротажа;
- выделить пласты-коллекторы.

Выпускная квалификационная работа состоит из трех разделов:

1. Общие сведения о районе работ
2. Геолого-технологические исследования
3. Результаты работ

Выражаю глубокую признательность своему научному руководителю кандидату геолого-минералогических наук, доценту кафедры геофизики Головину Константину Борисовичу за помощь в процессе подготовки

выпускной квалификационной работы, а также ООО «Нефтегазсервис Саратов» за предоставление фактического материала.

**Основное содержание работы.** В административном отношении район работ находится на территории Ровенского района Саратовской области.

В геоморфологическом отношении район расположен в левобережной части реки Волга.

Рельеф участка представляет собой холмистую степную равнину, расчлененную долинами рек, оврагами, балками. Абсолютные отметки рельефа изменяются от плюс 30 м до плюс 75 м. Крутизна склонов возвышенностей большей частью не превышает 20°.

Через Ровенский участок, вдоль его западной границы, проходит нефтепровод Приволжское - Черebaево, входящий в магистральный нефтепровод Лисичанск - Новороссийск. В 25 км от северной границы участка проходит газопровод местного значения Сторожевка - Степное. На территории Ровенского участка основным производством является сельское хозяйство и добыча нефти и газа.

В геологическом строении района работ принимают участие разновозрастные образования от архейских до четвертичных включительно. Приводится описание отложений, содержащих регионально продуктивные горизонты.

В тектоническом отношении Лоскутовская структура располагается в пределах Волжского прогиба, приуроченного к бортовой зоне Прикаспийской впадины. На севере Волжский прогиб граничит со Степновским сложным валом, на западе – с Каменско-Золотовской приподнятой зоной.

Окончательное формирование современного структурного облика изучаемой территории произошло в преднеогеновую фазу тектогенеза. В это время на фоне продолжающегося общего регионального наклона в сторону Прикаспийской впадины в пределах сопредельного Степновского сложного вала возобновляются региональные структуро-формирующие движения

положительного знака. В целом, преднеогеновая фаза тектогенеза не внесла существенных изменений в структурный план по отложениям нижнего карбона и девона.

Район работ приурочен к Приволжскому нефтегазоносному району Нижневолжской нефтегазоносной области Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

Пласт С1bb бобриковского горизонта. Коллекторами являются песчаники светло-серые, серые, темно-серые и коричневые, темно-коричневые, мелко-тонкозернистые и мелкозернистые, алевритистые, кварцевые, массивной, линзовидно-неяснослоистой текстуры. Покрышкой пласта служат аргиллиты темно-серые, углистые, участками слабо известковистые, плотные, тонкослоистые, плитчатые.

По результатам интерпретации данных ГИС средневзвешенное значение коэффициента пористости нефтенасыщенных коллекторов составляет 18,2%; средневзвешенное значение коэффициента нефтенасыщенности равно 91,7 %.

**Методика исследования.** Измерение механической скорости проходки является обязательным при проведении геолого-технологических исследований. Изучение закономерностей ее изменения называется механическим каротажем. Метод основан на измерении скорости бурения или обратной её величины — продолжительности бурения заданного постоянного интервала. Механическая скорость бурения напрямую зависит от буримости горных пород, т. е. ее физико-механических свойств, при прочих равных условиях, т.е. при неизменных параметрах режима бурения. К таким параметрам относятся: нагрузка на долото, скорость вращения долота, расход промывочной жидкости, величина дифференциального давления в системе «скважина — пласт». Буримость пород зависит от их литологического состава. Не вдаваясь в подробности, приведем пример: рыхлые, пористые породы бурятся легче, т. е. механическая скорость проходки будет высокой (пласты-коллекторы); плотные, прочные породы

бурятся трудней, т.е. механическая скорость проходки будет низкой (пласты-покрышки).

При постоянном режиме бурения механическая скорость будет определяться критическим напряжением горных пород, которое характеризует физико-механические свойства пород, в том числе плотность и пористость [3].

Наибольшими критическими напряжениями отличаются монолитные кварциты и полиминеральные магматические породы, из осадочных — известняки, прочность которых повышается с увеличением степени кристаллизации и окремнелости. Доломитизация и выщелачивание известняков, приводящие к появлению вторичной пористости, а также глинизация резко снижают их прочностные свойства.

Критическое напряжение песчано-алевритовых пород зависит от степени цементации песчаного материала и его минерального состава. Наибольшую прочность имеют кварцевые песчаники с кремнистым цементом, наименьшую — песчаники с глинистым цементом. Глины, аргиллиты, пески отличаются низкими значениями критического напряжения.

Таким образом, возможно использование механической скорости проходки для:

1. Литологического расчленения разреза;
2. Уточнения границ опорных (реперных) пластов;
3. Выделения коллекторов.

Исторически сложилось в ГТИ, что данные исследования назывались — детальный механический каротаж (ДМК). И для решения геологических задач использовалась не величина механической скорости проходки, а величина, обратная ей, которая физически является продолжительностью бурения интервала проходки эту величину и продолжают называть ДМК.

Механическая скорость проходки рассчитывается в м/час, а ДМК принято измерять в мин/м, то есть кривая ДМК более дифференцирована по

глубине и времени, что и необходимо для получения геологической информации о вскрываемом разрезе.

Основная сложность литологического расчленения разреза по данным контроля продолжительности проходки состоит в том, что на скорость бурения и, соответственно, на продолжительность бурения интервала проходки, помимо литологического состава, влияют многочисленные технические, технологические и природные факторы

1. Режим бурения (нагрузка на долото, частота его вращения);
2. Тип долота и степень его износа;
3. Параметры промывки (давление, наличие гидромониторных эффектов, параметры промывочной жидкости и т. л.);
4. Величина дифференциального давления в системе «скважина - пласт»;
5. Компоновка бурильного инструмента [4].

Влияние этих факторов может существенно превышать влияние литологии на скорость бурения, поэтому при визуальном определении границ литологических разностей принимаются во внимание изменения вышеперечисленных параметров. Если они имеют место, то соответствующие им изменения продолжительности проходки не рассматриваются при определении границ пластов.

Задача литологического расчленения разреза решается при параллельном рассмотрении шлагограммы и кривой продолжительности проходки интервала бурения (ДМК). Принимая во внимание то, что определение глубины залегания пластов по шламу зависит от времени подъема шлама на поверхность (время отставания), необходимо определять глубину перехода от одной литологической разности к другой по кривой ДМК. Время отставания шлама является расчетным параметром, зависит от расхода промывочной жидкости и конфигурации кольцевого пространства скважины, а изменения механической скорости происходят практически мгновенно при переходе из породы одной буримости в другую. Механический

каротаж как метод основан на изменении скорости бурения (Умех.) или обратной ее величины - продолжительности бурения заданного постоянного интервала (ДМК). При прочих равных условиях эти параметры зависят от литологического состава, пород и коллекторских свойств. Метод применяем для "литологического расчленения разреза, выделения коллекторов и зон АВПД.

Механический каротаж проводится путем измерения времени бурения заданного интервала проходки (0,1; 0,2; 0,5; 1,0 м) или механической скорости через 0,5; 1,0 м с помощью датчиков, входящих в комплект газокаротажных и геолого-технологических станций.

При постоянном режиме бурения механическая скорость будет определяться критическим напряжением горных пород, которое характеризует физико-механические свойства пород, в том числе плотность и пористость.

Наибольшими критическими напряжениями отличаются монолитные кварциты и полиминеральные магматические породы, из осадочных - известняки, прочность которых повышается с увеличением степени кристаллизации и окремнелости. Доломитизация и выщелачивание известняков, приводящие к появлению вторичной пористости, а также глинизация резко снижают их прочностные свойства.

Критическое напряжение песчано-алевритовых пород зависит от степени цементации песчаного материала и его минерального состава. Наибольшую прочность имеют кварцевые песчаники с кремнистым цементом, наименьшую - песчаники с глинистым цементом. Глины, аргиллиты, пески отличаются низкими значениями критического напряжения.

Наиболее эффективным способом нормализации механической скорости при роторном бурении является расчет  $ds$  - экспоненты или параметра прочности породы  $\sqrt{\sigma}$ . Последний из указанных способов

используется для выделения коллекторов в карбонатном разрезе. При этом значение  $\sqrt{\sigma}$  рассчитывается через каждый метр проходки по формуле 1:

$$\sqrt{\sigma} = \sqrt{\sigma_t} * F, \quad (1)$$

где:  $\sqrt{\sigma_t} = \frac{25,4 * w^{0,5} * \eta^{0,25}}{D * V^{0,25}} + 0,028 * (7 - 0,001H)$ , который учитывает

влияние параметров режима бурения. Здесь:  $n$  – скорость вращения ротора, об/мин,  $D$  – диаметр долота, мм.

Интерпретация данных механического каротажа производится в следующей последовательности.

1. На кривых изменения параметров  $V$ ,  $t$ ,  $K_B$ ,  $\sqrt{\sigma}$  или  $K_6$  выделяются аномалийные участки. К таким относятся участки интервала, в которых значения  $V$ ,  $t$  и  $K_B$  изменяются в 1,5 раза и более приращение  $\sqrt{\sigma} > 0,1$ .

Резкое (в 3 и более) увеличение механической скорости бурения характерно при прохождении карстовых и сильнокавернозных карбонатных пластов. Могут наблюдаться даже провалы бурильного инструмента. Высокими (в 2 и более) значениями механической скорости характеризуются гидрохимические осадки (за исключением ангидритов), гипс, каменная соль и другие, а также глины с аномально-высокими поровыми давлениями.

2. Если при увеличении механической скорости наблюдается поглощение бурового раствора или проявление пластового флюида, что свидетельствует о прохождении пласта-коллектора, бурение прекращается и производится промывка до выхода забойных порций бурового раствора и шлама. При подтверждении признаков наличия коллектора по данным анализа бурового раствора буровой бригаде выдается рекомендация на отбор керна или проведение ИПТ.

3. После окончания долбления производится анализ изменения механической скорости с учетом износа долота для пробуренного интервала и с учетом литологии пройденных пород и их коллекторских свойств.

4. Уточняются литологические границы смены пластов и пропластков и интервалы пород с высокими коллекторскими свойствами.

5. После проведения геофизических исследований и интерпретации результатов ГИС производится окончательная привязка данных механического каротажа к разрезу.

К основным факторам, снижающим информативность механического каротажа, относятся резкие изменения режимных параметров бурения, частые спуско-подъемные операции при малых интервалах долбления (2-3 м), применение разных типоразмеров долот, бурение со значительным превышением гидростатического давления над пластовым.

Кривые изменения механической скорости бурения или продолжительности проходки строятся на сводной диаграмме геологических исследований, а сведения о изменении и средних значениях механической скорости заносятся в ежесуточную сводку.

**Результаты работ.** В результате интерпретации данных и используя приведенные в предыдущих главах сведения проводилось литологическое расчленение разреза скважины 17 Лоскутовской площади по данным механического каротажа. По 3-4-кратному росту ДМК выделены плотные крепкие (относительно вмещающих пород) сакмаро-артинские отложения в интервале 517-533м, представленные ангидритами. Отложения имеют характеристику уплотненных непроницаемых по ГИС – рост сопротивления, рост НГК, характерные для ангидритов значения АК.

По 2-3-кратному падению ДМК в интервале алексинских отложений выделены пористые проницаемые известняки, характеризующиеся повышенной пористостью по ННК, относительно высокими показаниями АК и показаниями БК, коррелирующими с повышенными газопоказаниями и свидетельствующими о продуктивном (нефтяном) характере насыщения. Высокие значения остаточной нефтегазонасыщенности, интерпретация палетки раздельного анализа газа (РАГ), результаты ЛБА шлама, позволяют сделать вывод о продуктивности пласта.

Уменьшение времени бурения 1 м с 15-20 до 3-5 мин показывает, что в данном интервале находится пласт с хорошими коллекторскими свойствами

и дает приблизительное представление о проницаемости и пористости пласта. Механическая скорость 3-5 мин/м в терригенном разрезе соответствует пористости 20-30 % в песчаниках слабосцементированных, а механическая скорость 7-10 мин/м в карбонатном разрезе соответствует пористости 10-12 % в известняках кавернозно-трещиноватых. Увеличение времени бурения 1 м показывает, что интервал сложен глинистыми либо плотными породами. Данные механического каротажа хорошо коррелируются с диаграммами ПС и ГК.

**Заключение.** В результате проведенных исследований выполнено выделение плотных и пористых литологических разностей на диаграммах продолжительности проходки. Метод основан на изменении скорости бурения или обратной ее величины - продолжительности бурения заданного постоянного интервала. При прочих равных условиях эти параметры зависят от литологического состава пород и коллекторских свойств. Метод применяется для литологического расчленения разреза, выделения коллекторов и зон АВПД.

В ходе написания выпускной квалификационной работы поставленная цель изучения методики проведения механического каротажа в скважинах была достигнута.