

УДК 004.891.3

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Загиров Равиль Рустемович, студент-магистр, Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация

В статье предложена модель оптимизации процесса бурения горизонтальных скважин, основанная на технологии автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модель оптимизации, горизонтальное бурение, биостратиграфия, автоматизация, машинное обучение.

OPTIMIZATION MODEL FOR HORIZONTAL WELL DRILLING

Zagirov Ravil Rustemovich, master student, Ufa State Oil Technical University

Abstract

The model of horizontal drilling process optimization based on an automated wellsite biostratigraphy technology is presented in this article.

KEYWORDS: optimization model, horizontal drilling, wellsite biostratigraphy, machine learning.

Введение

На сегодняшний день большинство скважин, которые имеются у российских нефтяных компаний, эксплуатируются на последних стадиях. Также наблюдается рост объёма остаточных и трудноизвлекаемых запасов. Структура трудноизвлекаемых запасов составляет 12 млрд. т или 66% [1]. Для извлечения данных запасов из породы, применяют технологии бурения горизонтальных скважин и боковых стволов скважин. В следствие этого, сегодня в России наблюдается рост бурения горизонтальных скважин. На 2019 год процент горизонтальной проходки к общей составил 56% [2]. Главным фактором, определяющим успешность горизонтального бурения и будущую продуктивность скважины, являются:

- процент проходки горизонтальной секции скважины по наиболее продуктивной части пласта;
- детализация стратиграфического профиля, позволяющая наиболее эффективным образом определить интервалы заканчивания скважины: порты ГРП, либо же точки ответвления боковых стволов.

При горизонтальном бурении компания может столкнуться с тектоническими нарушениями, которые не фиксируются традиционными методами исследования скважин. Это может привести к выходу из продуктивного пласта, и, следовательно, к большим

затратам в процессе бурения. Большое значение в данном случае имеет оперативное и точное реагирование на данные трудности. С целью корректировки траектории и скорейшего возвращения в продуктивный пласт, традиционные методы исследования скважин дополняют методом биостратиграфического сопровождения бурения.

На данном этапе биостратиграфическое сопровождение бурения горизонтальных скважин применяется без исключения на всех скважинах, пробуриваемых на шельфовых месторождения вследствие высокой стоимости ошибок бурение горизонтальных стволов.

Основные ограничения, препятствующие применению методу биостратиграфического сопровождения на всех горизонтальных скважинах:

1. Затрачивается большое количество времени на биостратиграфический анализ 1 образца бурового шлама (40-60 минут).
2. Необходимость присутствия на буровой платформе 2-х специалистов по микропалеонтологии.
3. Тенденция сокращения специалистов по микропалеонтологии, необходимых для проведения биостратиграфического анализа. Большинство специалистов предпенсионного/пенсионного возраста. Отсутствует тенденция появления новых.
4. Высокая стоимость биостратиграфического сопровождения бурения на нефтяных платформах.

Автоматизированное биостратиграфическое сопровождение бурения

При геологическом сопровождении бурения горизонтальных скважин, основные трудности могут вызвать малоамплитудные разломы, не отображенные сейсмическими исследованиями, неопределенности могут вызвать неизвестная амплитуда и направление смещения. Сложно принять верное решение о дальнейшей траектории бурения скважины, если вскрытый после тектонического нарушения нецелевой горизонт не имеет литологического контраста и не отличается от целевого по данным каротажа. Для возвращения траектории скважины на целевой горизонт, применяется технология биостратиграфической сопровождения бурения.

Для определения положения бурового инструмента в стратиграфическом разрезе, необходимо провести исследование ископаемых микроорганизмов, содержащихся в буровом шламе, полученном из породы, расположенной за тектоническим нарушением, это позволит определить относительный геологический возраст разбуриваемой породы и определить в каком направлении находится целевой пласт.

Автоматическое распознавание ископаемых микроорганизмов по увеличенным микроскопом цифровым изображениям необходимо для повышения производительности и точности при проведении биостратиграфических исследований. Ископаемые микроорганизмы являются точным индикатором геологического возраста и позволяют определить относительный геологический возраст образца горной породы, из которого они были выделены. Образцы горных пород получают из керна, а при проведении работ на буровой площадке из бурового шлама, так как из-за небольших размеров микроорганизмы не разрушаются в процессе бурения и небольшого образца бурового шлама достаточно для проведения анализа.

Данная технология предполагает автоматизировать процесс идентификации ископаемых микроорганизмов. Для автоматизации процесса идентификации ископаемых микроорганизмов предлагается использовать возможность нейронных сетей к распознаванию образов. Искусственные нейронные сети давно и успешно применяются для задач распознавания объектов по цифровым изображениям.

Ископаемые микроорганизмы имеют различное происхождение, растительное, животное, останки пыльцы и т.д. Нефтяные залежи в различных регионах мира расположены в породах различного геологического возраста и имеют региональные биостратиграфические зоны, и нейронная сеть, обученная распознавать ископаемые микроорганизмы с нефтяных залежей мексиканского залива (где ведутся экспериментальные работы), не сможет распознать по цифровым изображениям ископаемые микроорганизмы, содержащиеся в буровом шламе нефтегазоносного шельфа Сахалина.

Основная идея дальнейшего развития данного проекта в том, что эта система будет распознавать все виды ископаемых микроорганизмов и проводить все виды анализов микрофаунистический, микропалеонтологический, палинологический и т.д.

На рисунке ниже представлена схема функционирования предлагаемой к разработке и реализации технологии.

Автоматизированное распознавание ископаемых организмов сокращает сроки обработки данных и повышает качество рекомендаций по дальнейшему бурению скважины. Исключается необходимость в непроизводительной и рутинной статистической обработке, подсчетах и сопоставлений для определения возраста.

В результате интеграции геонавигационного программного обеспечения с результатами автоматизированного биостратиграфического анализа, повышается качество принятия решений по достижению максимальной эффективности проходки горизонтальной скважины. Это позволит оптимизировать затраты на перебуривание скважины и выход на

целевой пласт. Со слов руководителя компании GTI («Геонавигационные технологии»), Сергея Стищенко, каждый метр горизонтального ствола, пробуренный вне пласта с углеводородами, выводит из разработки за время жизни скважины до 3000 т углеводородов (0,9 млн. долл. в денежном выражении), а потеря скважины в случае ошибки траектории может стоить до 100 млн. долл. [3]. Так как биостратиграфическое сопровождение бурения относится к технологиям геонавигации, можно также говорить о том, что использование данной технологии в комбинации с другими методами геонавигации позволит повысить средний процент добычи с 20% процентов запасов до 40-45%.

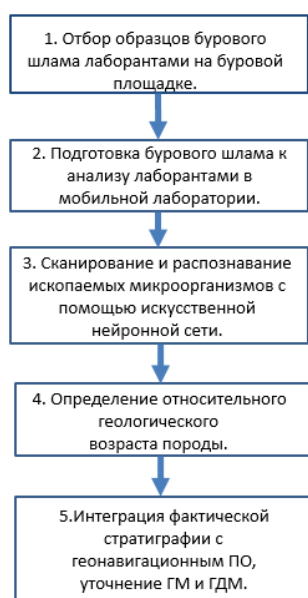


Рис. 1. Схема функционирования технологии

Показателем успешности геологического сопровождения бурения горизонтальной скважины либо бокового горизонтального ствола является эффективность проводки, которая определяется как отношение эффективной длины (суммарная длина продуктивных интервалов) к общей длине горизонтального ствола [Стищенко С.И., 2018 г.]:

$$K_{эфф} = \frac{L_{эфф}}{L_{общ}}, \quad (1)$$

где $L_{эфф}$ – суммарная длина продуктивных интервалов;

$L_{общ}$ – общая длина горизонтального ствола.

Теперь рассмотрим, насколько $L_{эфф}$ влияет на продуктивность скважины. Рассмотрим случай горизонтальной скважины, пробуренной в изотропной породе. Предположим, что скин-фактор равен 0 и добыча нефти происходит в устойчивом режиме. Тогда дебит будет описываться законом Дарси:

$$Q = \frac{kh(P_e - P_{wf})}{141.2\mu\beta_0 \left(\ln \frac{4re}{L_{эфф}} + \frac{h}{L_{эфф}} \ln \left(\frac{h}{2\pi r_w} \right) \right)} \quad (2)$$

где k - проницаемость пласта;

h - эффективная мощность пласта;

P_e - пластовое давление;

P_{wf} - забойное давление;

μ - динамическая вязкость нефти;

β_0 - коэффициент объемного расширения;

r_e - радиус контура питания, то есть расстояние от скважины до зоны пласта, где давление полагается постоянным и равным текущему пластовому давлению;

$L_{эфф}$ – суммарная длина продуктивных интервалов;

r_w - радиус скважины по долоту в интервале вскрытия пласта.

Рассмотрим процедуру определения успешности геонавигации на основании сравнения теоретического и фактического дебитов скважины:

- 1) Расчет теоретического дебита скважины Q_1 , на основании текущей секторной геологической модели;
- 2) Расчет теоретического дебита скважины Q_2 , на основании данных LWD, полученных во время бурения;
- 3) Нормализация Q_1 и Q_2 относительно фактического дебита скважины;
- 4) Вычисление Δ — разницы между нормированными величинами Q_1 и Q_2 .

Чем больше значение Δ , тем более эффективно была проведена геонавигация.

Исходя из вышесказанного и вышеописанного подхода к общей оценке эффективности проведения геонавигации, можно утверждать, что модель оптимизации процессов бурения будет состоять из двух компонентов: оптимизация затрат бурения при отсутствии необходимости перебурирования скважины и увеличение выручки от реализации нефти с данной скважины за счет увеличения её стартового дебита.

Суть оптимизации затрат при бурении горизонтальных скважины с применением автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения заключается в сокращении затрат прямо пропорционально увеличению эффективности проходки горизонтального ствола. Формула расчета оптимизированных затрат при бурении горизонтальных скважин с применением технологии автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения будет выглядеть следующим образом:

$$Z_{\text{опт}} = \frac{K_{\text{эфф}} * Z_{\text{сс_план}}}{L_{\text{общ}}} \quad (3)$$

где $Z_{\text{опт}}$ – Затраты на бурение горизонтального ствола скважины, скорректированные применением технологии автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения, ден. ед./м.;

$K_{\text{эфф}}$ – коэффициент эффективной проходки горизонтального ствола;

$Z_{\text{сс_план}}$ – затраты на бурение горизонтального ствола скважины до применения автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения, ден. ед.;

$L_{\text{общ}}$ – общая проходка горизонтального ствола скважины, м.

Коэффициент эффективности проходки по горизонтальному стволу определяется как отношение $L_{\text{эфф}}$ (эффективной проходки ствола при проведении автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения) к $L_{\text{общ}}$ (общая длина горизонтальной проходки). $L_{\text{эфф}}$ определяется как сумма метров проходки по пласту, в котором ископаемые микроорганизмы находились на одном геологическом периоде, совпадающим с геологическим периодом продуктивного пласта.

Прирост выручки со скважины за счет увеличения дебита, в котором успешно было применено автоматизированное биостратиграфическое сопровождение бурения, определяется как перемножение разницы между плановым дебитом Q_1 и дебитом, полученным при применении технологии биостратиграфического сопровождения бурения Q_2 на стоимость продажи тонны нефти, и будет иметь следующий вид:

$$R_{\text{эфф}} = (Q_2 - Q_1) * P \quad (4)$$

где $R_{\text{эфф}}$ – прирост выручки за счет увеличения стартового дебита, ден. ед.;

Q_1 – плановый дебет, тонн;

Q_2 – дебет, скорректированный после проведения автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения, тонн;

P – цена реализации нефти, ден. ед./тонн.

Имея полученные данные, можно рассчитать прибыль, полученную со скважины, в которой было успешно проведено автоматизированное биостратиграфическое сопровождение бурения:

$$P_{\text{эфф}} = R_{\text{эфф}} - Z_{\text{опт}} \quad (5)$$

где $P_{\text{эфф}}$ – прибыль от проведения автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения.

Имея полученные данные, далее можно рассчитать чистую прибыль от использования вышеописанной технологии, что впоследствии позволит нам высчитать рентабельность от проведения автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения:

$$R_{\text{бс}} = \frac{\text{ЧП}_{\text{эфф}}}{L_{\text{эфф}}} \quad (6)$$

где $R_{\text{бс}}$ – рентабельность от проведения автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения;

$\text{ЧП}_{\text{эфф}}$ – Чистая прибыль, полученная при проведении вышеописанной технологии, ден. ед.;

$L_{\text{эфф}}$ – длина эффективной проходки по пласту, м.

Данный показатель позволит определить сколько ден. ед. прибыли со скважины приходится на 1 метр эффективной проходки по горизонтальному стволу, при использовании технологии автоматизированного биостратиграфического сопровождения бурения.

Выводы

В сегменте бурения нефтесервисного рынка России наблюдается тенденция роста доли горизонтального бурения. Для наиболее эффективной проходки по пласту и наиболее удачного расположения точек ГРП, используются технологии геонавигации. Одной из таких технологий является биостратиграфическое сопровождение бурения. В данной статье были рассмотрены сложности применения данной технологии, а также предложено решение её автоматизации. Интеграция результатов данной технологии с ГМ и ГДМ скважин позволит скорректировать траекторию бурения горизонтального участка, что позволит повысить эффективность и снизить издержки бурения горизонтальной скважины. Также был предложен алгоритм оптимизации процессов бурения, основанный на вышеописанной технологии.

Литература

1. Деловой Журнал Neftegaz.RU [Электронный ресурс]/URL: <https://neftgaz.ru/tech-library/geologiya-poleznykh-iskopaemykh/147767-trudnoizvlekaemye-zapasy-nefti-triz/> (дата обращения 13.12.2021).
2. Обзор нефтесервисного рынка России – 2020 Компании «Делойт» [Электронный ресурс]/URL: <https://www2.deloitte.com/ru/ru/pages/energy-and-resources/articles/2020/oil-gas-survey-russia-2020.html> (дата обращения 13.12.2021).
3. Пресс-релиз инновационного центра «Сколково» [Электронный ресурс] / URL: https://old.sk.ru/news/b/pressreleases/archive/2016/12/06/kompaniya-geonavigacionnye-tehnologii-privlekla-2400_2-mln-investiciy.aspx (дата обращения 13.12.2021).
4. Стишенко С.И. Геонавигация в 5 кликов/ Стишенко С.И., Сабиров А.Н. – М.: ООО ЕАГЕ Геомодель, 2018. – 161 с.