

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

Кафедра геофизики

**Удельная механическая энергия (MSE) как критерий подбора
оптимальных параметров режима бурения**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 2 курса 261 группы
направление 05.04.01 геология
профиль «Геофизика при поисках
нефтегазовых месторождений»
геологического ф-та
Чубич Любови Алексеевны

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 2023

Введение. Повышение эффективности процесса бурения геологоразведочных скважин является одной из актуальных научно-прикладных задач. Значительное снижение стоимости нефтедобычи можно получить за счет использования оптимальных режимов работы буровой установки, обеспечивающих снижение удельных затрат электроэнергии, истирающих материалов, а также повышение скорости проходки, сменной производительности и стойкости бурового инструмента.

Актуальность работы состоит в том, что оптимизация процесса бурения является важным аспектом в сфере нефтегазовой промышленности, так как она позволяет снизить затраты на бурение и увеличить производительность скважин.

Одной из главных проблем оптимизации процесса бурения является выбор оптимальных параметров режимов бурения. Эти параметры включают скорость бурения, вес на долото, подачу бурового раствора и другие факторы, которые могут значительно влиять на производительность скважины.

Оценка производительности бурения также является важной задачей, которая позволяет определить, насколько эффективно идет процесс разрушения горной породы. Различные методы оценки могут быть использованы для этой цели, включая измерение удельной механической энергии (MSE). MSE была разработана в 1992 году Рольфом Пессье и усовершенствована в 2005 году компанией «Еххон». Компания «Еххон» провела контролируемые исследования по этой теме и обнаружила увеличение значений механической скорости на 133%. Сегодня мониторинг удельной механической энергии используется на каждой скважине «Еххон» и является частью их «процесса быстрого бурения».

Для написания выпускной квалификационной работы был использован материал со скважин, пробуренных на Твердловском нефтегазоконденсатном месторождении. Объектами исследования являются эксплуатационные скважины №2020, №2021 КП 60 и №2010 КП 61. Район работ в административном отношении находится в Бузулукском районе

Оренбургской области. Наиболее крупными близлежащими населенными пунктами являются сёла Твердилово, Жилинка и Подколки.

Основная **цель** данной работы: оптимизация параметров режима бурения с помощью удельной механической энергии с оценкой и анализом износа долот.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

- изучение и сбор геолого-геофизического материала на территории работ в пределах Твердловского месторождения;
- рассмотрение методик оптимизации процессов бурения;
- изучение теоретических основ удельной механической энергии (MSE);
- расчет удельной механической энергии в пределах скважин, расположенных на одной кустовой площадке;
- выявления закономерностей при подборе оптимальных параметров режимов бурения;
- анализ и оценка долот;
- сравнение полученных результатов и выдача рекомендаций.

Выпускная квалификационная работа состоит из трех разделов: геолого-геофизическая характеристика территории исследования, методическая часть с комплексом оптимизации процессов бурения при геолого-технологических исследованиях, результаты работ. Также работа содержит: введение, заключение, список использованных источников и одно приложение. Для исследования в работе была описана и использована методика оптимизации параметров режима бурения с помощью анализа удельной механической энергии (MSE) с оценкой и анализом износа долот.

Основное содержание работы. Оренбургская область, обладая мощным минерально-сырьевым потенциалом и развитой горнодобывающей и перерабатывающей промышленностью, входит в число наиболее промышленно развитых регионов России. Геологоразведочные и нефтегазодобывающие работы на территории Бузулукского района начались в 50-х годах двадцатого столетия. В Оренбургской области были открыты три

нефтяных месторождения - Воронцовское, Могутовское и Гремячевское. Здесь пробурили 59 поисково-разведочных, 3 эксплуатационных и 102 структурных скважины, которые впоследствии были либо законсервированы, либо ликвидированы.

Оренбургская область является крупным производителем и одновременно потребителем минеральных ресурсов. Ведущее место в области занимает добыча и переработка нефти и природного газа. Из области вывозятся медный и цинковый концентраты, золото и серебро в концентратах, передельный и литейный чугун, металлический никель, сера и серный колчедан, асбест и асбестовые изделия, поваренная соль, гипсовый камень, строительный щебень и цемент. В область завозятся железные руды и концентраты, хромиты, марганцевые руды, огнеупоры, серная кислота, фосфатные и калийные удобрения, стекло, лицевой кирпич, санфаянс, стеновые материалы.

В настоящее время в Оренбургской области Государственным балансом учтены 192 месторождения, в том числе 154 нефтяных, 23 газонефтяных, 1 нефтегазовое, 14 нефтегазоконденсатных.

В тектоническом отношении район работ расположен в северной части Бузулукской впадины. Территория Бузулукской впадины является крупным элементом Волго-Уральской антеклизы. С севера она ограничена Южно-Татарским сводом, с востока Восточно-Оренбургским сводовым выступом, с запада - Жигулевско-Пугачевским сводом. Бузулукская впадина имеет широкое распространение, с запада на восток она распространяется до 400 км, ширина ее составляет 100-140 км, а площадь - около 48 тыс. км².

В разрезе осадочного чехла Бузулукской впадины открыто большое количество нефтяных, газонефтяных, газоконденсатных и газовых залежей, приуроченных к терригенным и карбонатным пластам-коллекторам отложений девонской, каменноугольной и пермской систем.

Методика исследования. Геолого-технологические исследования являются составной частью геофизических исследований нефтяных и газовых

скважин и предназначены для осуществления контроля за состоянием скважины на всех этапах ее строительства и ввода в эксплуатацию с целью изучения геологического разреза, достижения высоких технико-экономических показателей, а также обеспечения выполнения природоохранных требований.

Одна из основных технологических задач геолого-технологических исследований – это оптимизация процесса бурения. Оптимизация – достижение таких допустимых величин и такого состояния параметров, определяющих критерий эффективности системы, при которых выбранный критерий принимает экстремальное по эффективности значение.

Оптимизация процессов бурения и горнопроходческих работ – решение отдельных научно-технических проблем, связанных с теоретическим поиском зависимостей между параметрами режима бурения или проходки горной выработки и оптимальными темпами (наивысшие), затратами (наименьшие) и качеством (высокое) работ и в конечном счете с практической реализацией установленных оптимальных зависимостей при выполнении буровых и горнопроходческих работ.

Современная буровая установка может оснащаться контрольно-измерительными приборами, регистраторами и устройствами автоматического управления. Основным, особенно при высокочастотном алмазном бурении, остается процесс управления углублением скважины, выработка оптимальных параметров режима бурения.

Возможными критериями оптимизации технологии бурения могут быть следующие параметры:

- механическая скорость бурения;
- рейсовая скорость бурения;
- оптимальное время нахождения бурового инструмента на забое;
- проходка на буровой инструмент (его ресурс);
- относительный показатель эффективности;
- оптимальное углубление забоя за один оборот бурового инструмента.

В настоящее время используются различные методы для оптимизации процесса бурения путем мониторинга показателей эффективности и предотвращения возникновения колебаний, путём регулирования параметров бурения в режиме реального времени [19].

Прогрессивным средством оптимизации бурения для достижения наибольшей механической скорости является процесс работы с данными удельной механической энергии (mechanical specific energy). Удельная механическая энергия (MSE) показывает объем работы, проделанной для бурения единичного объема породы. MSE является важным параметром, показывающим эффективность бурового долота в количественных показаниях, приведенных в единицах давления. Анализ данных MSE заключается в выделении условий, при которых при наименьших затратах энергии достигается наибольшая скорость проходки, что служит признаком снижения потерь затрачиваемой энергии.

MSE — это расчетная работа (механическая энергия), выполняемая для разрушения заданного объема горной породы. Когда долото работает с максимальной эффективностью, отношение энергии к объему породы остается относительно постоянным. Эта взаимосвязь используется в процессе эксплуатации путем наблюдения за изменением MSE при регулировке параметров бурения, таких как нагрузка на долото или скорость вращения. Если он остается постоянным при увеличении нагрузки на долото, считается, что долото все еще работает. Если коэффициент MSE значительно увеличивается во время бурения это означает, что долото подвергается износу. Затем бурильщик определяет наиболее вероятную причину износа и соответствующим образом регулирует параметры. Регулировки продолжаются до тех пор, пока значение MSE не будет минимальным. Процесс настройки параметров называется тестированием MSE. Записанные результаты испытаний MSE бурильщика также используются в пост-анализе для руководства перепроектированием буровой системы, когда ограничители скорости проходки не зависят от бурильщика.

Как только бурильщик оптимизировал параметры и долото работает, не теряя эффективности разрушения горной породы, то эти параметры поддерживаются в процессе дальнейшего бурения.

Результаты работ. Анализ данных MSE заключается в выделении условий, при которых при наименьших затратах энергии достигается наибольшая скорость проходки, что служит признаком снижения потерь затрачиваемой энергии. В ходе работ для расчета MSE в кило фунтах-силы на квадратный дюйм (ksi, kip/дюйм²) использовалась следующая формула 1:

$$MSE = MER * \left[\frac{4 * WOB}{\pi * d^2} + \frac{480 * RPM * T}{ROP * d^2} \right], \quad (1)$$

где: MER - механическая отдача (коэффициент полезного действия бурового долота), равная 0,35; WOB - нагрузка на долото (килофунты); d - диаметр долота (дюймы); RPM - частота вращения долота (об/мин); T - крутящий момент бурильной колонны (килофунт-футы); ROP - скорость проходки (м/час). По результатам расчетов значения MSE были приведены к международной системе единиц (СИ) – МПа.

Пост-анализ параметров MSE проводился на основании данных скважин, расположенных в пределах двух кустовых площадок (КП 60 и КП 61), в целях выявления оптимальных параметров режимов бурения. Скважины расположены на территории Твердловского месторождения.

При анализе удельной механической энергии было выявлено, что скорость проходки не всегда соответствует высоким затратам энергии. Для достижения максимальной скорости проходки целесообразно увеличить количество тестов на буримость, при выборе долота учитывать не только вскрываемый разрез, но и опыт бурения соседних скважин.

Данные MSE можно использовать по завершению строительства скважины для выделения наиболее эффективных в части затрат MSE интервалов и формирования целевой MSE для последующих скважин, которые будут находиться в сходных геолого-технологических условиях, а также вводить расчет параметра MSE в режиме реального времени для

текущих скважин, в целях оптимизации режима бурения и поддержания эффективной скорости проходки.

Рекомендации для исследований MSE в режиме реального времени.

Для проведения исследования оптимальных параметров режимов бурения на основе MSE может использоваться следующая методика:

1. Подготовка оборудования и выбор объекта исследования. Для исследования необходимо подготовить буровую установку, инструменты для сбора данных, а также выбрать объект исследования – скважину или группу скважин.

2. Определение списка параметров для экспериментов. Необходимо определить список параметров, которые будут варьироваться при проведении экспериментов. Это могут быть параметры, связанные с оборудованием и инструментами буровой установки, параметры бурового раствора, скорость и давление насосов и др.

3. Планирование экспериментов. Для каждого параметра необходимо определить диапазон его изменения и количество уровней изменения параметра. Для проведения экспериментов можно использовать метод планирования экспериментов, например, полный факторный эксперимент или метод центральной точки.

4. Проведение экспериментов. На основе разработанного плана экспериментов проводятся бурение скважин с различными параметрами. Для каждой скважины собираются данные, которые позволяют рассчитать MSE.

5. Анализ данных и определение оптимальных параметров. Собранные данные анализируются с помощью статистических методов, например, метода анализа дисперсии (ANOVA). На основе результатов анализа данных определяются оптимальные параметры режимов бурения, которые минимизируют MSE.

6. Проверка результатов. После определения оптимальных параметров режимов бурения необходимо провести проверку результатов на практике. Для этого можно провести дополнительные эксперименты на других

скважинах с использованием оптимальных параметров и сравнить полученные результаты с результатами, полученными при использовании стандартных параметров режимов бурения.

7. Также для более точной оценки эффективности бурения на основе MSE может быть использована математическая модель, которая позволяет смоделировать процесс бурения и определить оптимальные параметры режимов бурения на основе анализа результатов моделирования.

Заключение. Удельная механическая энергия характеризует объем работы, сделанной для бурения единичного объема горной породы. MSE является важным параметром, показывающим эффективность бурового долота в количественном выражении, приведенном в единицах давления.

В результате написания научно-исследовательской работы был собран геолого-геофизический материал на территории работ в пределах Твердловского месторождения, по которому была рассмотрена методика оптимизации процессов бурения с помощью удельной механической энергии с оценкой износа буровых долот. Были решены следующие задачи: расчет удельной механической энергии в пределах скважин, расположенных на одной кустовой площадке; выявления закономерностей при подборе оптимальных параметров режимов бурения; анализ и оценка долот; сравнение полученных результатов и выдача рекомендаций.

На основании полученных и проанализированных данных, можно сделать следующие выводы:

- показатель MSE следует использовать для надежной и эффективной диагностики и оптимизации эффективности бурения, что позволяет повышать геологическую эффективность, экономить временные и финансовые затраты на различных операциях бурения.

- показатель MSE допустимо применять при бурении с измерением нагрузки и крутящего момента в скважине, а также MSE является потенциальным показателем эффективности. Наконец, для более

эффективного бурения скважин можно использовать как анализ в реальном времени, так и пост-анализ.

Анализ в режиме реального времени позволит буровой бригаде, а также супервайзеру распознать проблемы до того, как скважинное оборудование будет разрушено, а пост-анализ поможет определить признаки плохой работы для будущих прогнозов эксплуатации. Буровые работы должны быть оптимизированы для достижения максимальной эффективности, а MSE - это новый диагностический инструмент, который помогает безопасно повысить эффективность.