



УДК 622.24:622.016.25:622.243.2:622.243.23-045.79

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ТЕЛЕСИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗКИ НА ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ И РИСКОВ СЛОМА КНБК

USE OF DIAGNOSTIC DATA FROM MWD SYSTEMS TO ASSESS THE QUALITY OF LOAD TRANSFER TO THE ROCK-BREAKING TOOL AND THE RISKS OF BHA BREAKAGE

Лукьянов Семен Алексеевич

аспирант
кафедры бурение нефтяных и газовых скважин
института нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «СамГТУ»,
начальник телеметрической службы,
ООО «СПП Развитие»
sem@luckyanov.ru

Живаева Вера Викторовна

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой бурение нефтяных и газовых скважин
Института нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «СамГТУ»
bngssamgtu@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена методам оценки эффективности использования породоразрушающего инструмента в компоновках низа бурильной колонны, включающих в себя телеметрические комплексы реального времени. Оценка рисков и востребованности решения проблем сломов КНБК при неконтролируемом росте вибраций на забое.

Ключевые слова: телесистема, КНБК, гидроканал, бурение, скважина, электромагнитный разделитель, зонд, пульсатор, канал связи, забой, скорость передачи, инклинометр, гамма-каротаж, резистивиметр.

Semyon Alekseyevich Lukyanov

Postgraduate Student,
Department of Oil and Gas Wells Drilling,
Institute of Oil and Gas
Technologies of SamGTU VO,
Head Of Telemetry Service,
LLC SPP Razvitie
sem@luckyanov.ru

Zhivaeva Vera Viktorovna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Head of Oil and Gas Drilling Department
Institute of Oil and Gas Technologies of
SamSTU VO
bngssamgtu@mail.ru

Annotation. This article is devoted to methods for evaluating the efficiency of using rock-breaking tools in the BHA, which include MWD systems. Assessment of the risks and relevance of solving the problems of BHA breakage with an uncontrolled increase in vibrations at the bottom.

Keywords: MWD, BHA, hydraulic channel, drilling, borehole, electromagnetic separator, probe, pulser, channel of communication, bottom hole, transfer speed, inclinometer, gamma-ray logging, resistivity tool.

Введение. Актуальность проблемы

Бурение скважины – это организационно и технологически сложный процесс, подразумевающий взаимодействие оборудования и специалистов разных направлений, основным вектором развития которого является повышение эффективности работ за счет технических и экономических показателей, снижение производственных рисков. В соответствии с этими целями, любое экономически выгодное изменение технологии строительства или дополнительное использование технических средств, снижающее итоговые временные затраты на проведение работ и не ухудшающее остальные нормативные показатели, является актуальным для конечного заказчика и отрасли в целом.

При разработке технологии бурения скважин, наиболее ценными инструментами повышения эффективности использования технических средств, безусловно, являются те, которые требуют минимальных затрат на модернизацию самого оборудования или их полное отсутствие. Основное преимущество освещенных в данной статье мероприятий заключается в использовании имеющегося телеметрического оборудования [1] для получения диагностических и косвенных данных, позволяющих лучше понять состояние призабойной зоны и особенности поведения КНБК с возможностью влияния на них в режиме реального времени для увеличения скоростей бурения, исключая разрушающие оборудование факторы, снижая тем самым сроки и стоимость строительства скважин.

Тема вибрационных нагрузок КНБК и косвенных диагностических параметров, поступающих от ТМС с забоя изучена весьма слабо. Это связано с тем, что производители телеметрического оборудования в первую очередь заботятся о его надежности и сохранности в тяжелых режимах работы. Каждый производитель имеет в перечне технических характеристик свою градацию уровня нагрузок, привязывая её опционально к зависимостям их частоты, направления, силы, продолжительности средневзвешенных значений, температуре, количеству шоковых значений высоких уровней, другим методикам расчета.

За всё время изучения этой темы нам встретилось не более десятка источников, которые затрагивали бы эту проблему с рекомендациями для полевого персонала по дальнейшим действиям. Почти все они написаны компаниями полного цикла – игроками большой тройки. Это внутренние документы, field alert, полевые уведомления, главы регламента работы инженеров, и все они строго для внутреннего пользования. Они не претендуют на научные исследования, и основной акцент в них стоит на бережливом от-



ношении к технике, а не на улучшении технологии строительства скважины, что безусловно логически пересекается, но не в полной мере раскрывает всю структуру взаимосвязи косвенных и диагностических параметров, получаемых от забойного телеметрического оборудования, с безопасностью, скоростью и финансовой экономией при строительстве скважины. Наша же задача исследовать и описать технологию, возможно, произвести оборудование, которое сможет эффективно и оперативно анализировать нагрузки на КНБК в режиме реального времени, оставляя возможность инженерному составу на объекте принимать решения, согласно рекомендаций описанной методики, влиять на процесс бурения, снижая аварийность и увеличивая скорость проходки вне зависимости от типа долота, состава КНБК, используемых телеметрических комплексов и уровня подготовки инженеров на объекте работ.

Данная работа подразумевает глубокий анализ физических процессов, происходящих при бурении, влияющих на работу КНБК и породоразрушающего инструмента в частности. Помимо констатации факта негативного влияния определенных видов вибраций на скорость углубления, работа своей целью ставит создание понятного, удобного, эффективного алгоритма и, как следствие, интерфейса, позволяющего оператору – инженеру по бурению – принимать своевременные решения о смене текущих режимов бурения, планировать изменение режимов и состава КНБК на следующие скважины схожей конструкции в этом регионе работ. Коснувшись это проблемы в 2015 году, и видя лишь часть факторов, влияющих на поведение КНБК, решение задачи выглядело куда более простым, а объем необходимых для исследования данных и получаемой на выходе информации тянул в лучшем случае на пару статей и несколько полевых уведомлений для своих же коллег, однако сейчас очевидно, что исследование этого вопроса, лежащего на стыке информационных технологий, обработки и анализа информации, нефтяной производственной сферы.

В настоящее время проводится много исследований, разработка устройств и технологий бурения, снижающих вибрационные и шокковые нагрузки оборудования КНБК. Проводится анализ полезных и опасных вибраций, их классификация, расчет допустимых значений и прочее. Но именно методик их регистрации, контроля, использования мероприятий по снижению их негативного воздействия в разрезе уже имеющего в КНБК электронного устройства (телесистемы), своим функционалом полностью перекрывающего потребности этих исследований, до сих пор нет.

Таким образом, цель работы: опираясь на пороговые значения допустимых нормальных, средних, высоких и недопустимых критических нагрузок, установленные производителями телесистем, проанализировать возможности повышения эффективности процесса строительства скважины, не внося изменений в конструкции используемого оборудования, опираясь лишь на данные, которые в настоящее время не принимаются к анализу. Получить рекомендации или прогноз по дальнейшему вектору развития телеметрических комплексов, который позволит проводить этот анализ удобнее и, соответственно, повысит скорость и результативность реагирования на изменения скважинных условий в процессе бурения. Результатом полученных данных станет перечень конкретных действий и рекомендаций инженеру сервиса наклоно-направленного бурения, направленный на повышение эффективности и снижение аварийности работ.

Невозможно переоценить важность и актуальность этой задачи, особенно в настоящее время, когда ввоз нового высокотехнологичного оборудования в Россию существенно осложнен [3], цены на него за последние годы увеличились более, чем в 2 раза, а производство запасных частей и принадлежностей так и не удастся локализовать, за исключением редких чисто механических единиц, вроде центров, несложных втулок и некоторых геометрически простых твердосплавных элементов.

Применимость методов

Уже имея определённую базу знаний, и имея возможность производить эксперименты на собственных объектах работ, нам удастся углубляться в тему с каждой пробуренной скважиной. Безусловно в настоящее время, мы получаем как положительный, так и отрицательный результат, иногда сохраняя элементы КНБК и увеличивая скорость проходки, а иногда, экспериментируя с режимами, тратя на это 10–30 часов бурения, мы приходим к положительному, но не выдающемуся результату, как раз по причине потраченного на оттачивание технологии времени. Очевидно, что лояльности генерального заказчика к подобным испытаниям это не добавляет.

На текущий момент мы проводим исследования с помощью телесистем с электромагнитным [2] и гидравлическим [4] каналом связи отечественного и зарубежного производства. Об их особенностях, преимуществах и недостатках можно прочитать в некоторых других моих работах.

Для дальнейшего понимания этой статьи скажу лишь то, что в любом инклинометре есть датчик вибраций, который тесно взаимодействует с блоком акселерометров и магнитометров, и часто является их частью, что позволяет определять не только силу, но и направление вибрационных и ударных нагрузок. Дальнейшие алгоритмы обработки этих данных отличаются от производителя к производителю, но общая суть одинакова: есть «сырые вибрации» – циклический процесс противоположно направленных векторов ускорений, есть так называемые RMS – среднеквадратичные значения за определенные периоды времени, шокковые пики – Shock Warning, у которых к расчетам принимается их высота и количество за единицу времени или рейс. Исходя из этих значений можно делать выводы о типах и направлениях нагрузок. Классификация типов строится на структуризации реакций датчика шок и, следовательно, основных и второстепенных направлений природы вибрации: осевые, латеральные и торсионные.

Осевые вибрации связаны с неравномерностью прилегания вооружения долота к плоскости соприкосновения с вырабатываемой породой. Относительно инклинометра телесистемы вектор этих



нагрузок направлен параллельно его собственной продольной оси. Так как в процессе бурения долото практически не имеет возможности отрыва от забоя, по амплитуде вибраций данного типа можно судить о постоянном изменении нагрузки на долото. Повышенные осевые вибрации, как правило, наиболее характерны для КНБК, имеющих в своем составе шарошечные или несимметричные бицентричные долота, при агрессивном расхаживании инструмента на проработках пробуренных интервалов, ударах компоновки об забой, работа Яса или неравномерное вращение КНБК.

Вектор усиления латеральных вибраций лежит в перпендикулярной плоскости вектора осевых вибрационных нагрузок. Эти нагрузки возникают из-за больших изгибающих напряжений при движении элементов КНБК внутри пробуренного интервала ствола между стенками скважины. Именно для этих нагрузок характерно постоянно наличие знакопеременных шоков, что приводит к разрушению оборудования КНБК.

Торсионные вибрации представляют собой неравномерные (в основном радиальные) нагрузки, вызванные изменением скорости вплоть до полной остановки вращения долота или всех элементов КНБК при бурении. Этот эффект получил название *stick & slip*. При этом, чем больше длина КНБК и инструмента, тем более ярко выражен этот процесс. Данные вибрации опасны, так как после кратковременного снижения скорости или остановки долота (даже при постоянной скорости вращения забойного двигателя) следует возобновление движения с большим ускорением, что приводит к разрушению вооружения долота и усталостному износу резьбовых соединений элементов КНБК.

В своей работе я выделяю следующие типы вибрационных нагрузок, имеющие важные принципиальные различия, подразумевающие различные подходы к работе с их воздействием на инструмент: подскок долота, осевой резонанс, латеральные шоки, резонанс долота, зацепление долота, зацепление КНБК, торсионный резонанс, запаздывание вращения и комбинированные вибрационные нагрузки, которые не поддаются однозначному описанию и каждый раз могут быть условно включены в более узкое обозначение типа с определенным уровнем допущений.

Имея на вооружении теоретическую часть с описанием поведения КНБК при тех или иных вибрационных нагрузках, можно сужать выборку превалирующих типов, и, обращаясь к описанию, изменять способы компенсации или снижения их влияния, увеличивая ресурсность инструмента, долота, и других элементов КНБК, а также, что стоит во главе целей данной работы, увеличивая скорость проходки при строительстве каждой секции скважины.

Заключение о целесообразности применения алгоритмов контроля вибрационных и шоковых нагрузок

Вибрации – это необходимый и неустраняемый процесс в работе любого технического устройства. Изучая их в процессе бурения скважин, надо понимать, что, помимо разрушительного воздействия, они обеспечивают процесс движения инструмента на участках профиля с большими зенитными углами, позволяют породоразрушающему инструменту эффективно входить в зацепление с породой и многое другое. Управление в реальном времени величиной и направлением вибрационных и шоковых нагрузок позволяет нам устранить лишние, опасные, неэффективные составляющие, энергия которых не тратится на углубление, а приводит к повышенному износу оборудования, и снижению полезной энергии, разрушающей породу.

Несмотря на очевидность некоторых утверждений в данной работе, процесс повсеместного внедрения её результатов и методик видится мне чрезвычайно сложным и долгим в виду консервативности отрасли и сложности договорных отношений подрядчиков, оказывающих отдельные сервисные услуги на объектах работ.

Тем не менее, уже на данном этапе виден и экономический и технических эффект от предпринимаемых мер контроля вибраций и изменения режимов бурения, направленного на повышение эффективности строительства наклонно-направленных и горизонтальных участков ствола скважины.

Литература:

1. Лукьянов С.А., Живаева В.В. Использование преимуществ различных типов забойных телесистем, комбинирование их элементов при строительстве скважин // НТЖ «Нефть. Газ. Новации». – 2018. – № 10. – С. 50–54.
2. Keman Liu. Model and control method of a downhole electromagnetic transmitter for EM-MWD system // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2020.
3. Lukyanov S.A., Zhivaeva V.V. New Reality of Directional Drilling Services During Production Decline and Coronavirus Pandemic // IES 2020: Economic Systems in the New Era: Stable Systems in an Unstable World. – P 133–139.
4. Mouhammed Jandal. Laboratory investigations of a hybrid mud pulse telemetry (HMPT) // A new approach for speeding up the transmitting of MWD/LWD data in deep boreholes / Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2019.

References:

1. Lukyanov S.A., Zhivaeva V.V. Using the advantages of different types of downhole telesystems, combining their elements in the construction of wells // NTJ «Oil. Gas. Novations». – 2018. – № 10. – P. 50–54.
2. Keman Liu. Model and control method of a downhole electromagnetic transmitter for EM-MWD system // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2020.
3. Lukyanov S.A., Zhivaeva V.V. New Reality of Directional Drilling Services During Production Decline and Coronavirus Pandemic // IES 2020: Economic Systems in the New Era: Stable Systems in an Unstable World. – P 133–139.
4. Mouhammed Jandal. Laboratory investigations of a hybrid mud pulse telemetry (HMPT) // A new approach for speeding up the transmitting of MWD/LWD data in deep boreholes / Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2019.