

УДК 622.24.051.62

АНАЛИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ ДОЛОТ РЕЖУЩЕ-СКАЛЫВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

Яхин А.Р.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа
e-mail: 9406622@mail.ru*

Аннотация. *Проведен анализ методик оценки эффективности вооружения долота режуще-скалывающего действия. Рассмотрены вопросы совершенствования его конструкции путем рационального размещения элементов вооружения на основе исследования силовых и энергетических параметров работы модели проектируемого долота в лабораторных условиях.*

Ключевые слова: *вооружение долота, долото режуще-скалывающего действия, методика оценки вооружения, экспериментальная установка*

Технико-экономические показатели строительства и реконструкции нефтяных и газовых скважин в первую очередь определяются показателями работы породоразрушающего и специального инструмента. Темп углубления ствола скважины и качество ее стенок определяют проведение всех последующих технологических операций, объем и стоимость энергетических и материальных затрат. В мировой и российской практике строительства и реконструкции скважин основными инструментами являются шарошечные долота и долота типа PDC (Polycrystalline Diamond Compact), оснащенные алмазами и композиционными алмазосодержащими материалами. Сложность и разнообразие геолого-технологических условий бурения и реконструкции скважин создают необходимость постоянного совершенствования и модернизации инструмента на основе изучения механизмов разрушения природных и искусственных твердых материалов. Зачастую износ вооружения породоразрушающего инструмента происходит неравномерно, это связано как с конструкцией долота, так и со схемой размещения элементов вооружения. Именно поэтому с целью снижения энергоемкости разрушения горных пород необходимо их конструирование для конкретных геолого-технологических условий с учетом подбора конфигурации расположения вооружения, сбалансированности и износостойкости.

При проектировании вооружения буровых долот в последнее время [1, 2] используются как практические данные, полученные в результате промысловых испытаний, так и аналитическая информация, полученная расчетным путем, а также данные, накопленные в нашей стране и за рубежом в процессе выбора конструктивных параметров породоразрушающего инструмента в соответствии с типом разбуриваемых горных пород. Оценка эффективности вновь разработанной конструкции долота связана с дорогостоящими и малоинформативными промысловыми испытаниями, по которым сложно дать однозначное заключение. В процессе

таких испытаний особенно ценной является информация об основных силовых параметрах работы долота: осевой нагрузке, изгибающем и крутящем моментах, причем имеются ввиду не только их средние, но и текущие значения. Из-за несовершенства существующих систем измерения в процессе бурения информации об указанных параметрах недостаточно [3]. Поэтому использовать результаты этих измерений для совершенствования техники и технологии бурения не всегда целесообразно. Проблема осложняется еще и тем, что на работу долота оказывают большое неоднозначное влияние такие условия испытаний, как вид привода, конструкция низа бурильной колонны, свойства промывочной жидкости и ряд других факторов [4, 5]. Поэтому для оценки влияния физико-механических свойств пород на величину и характер изменения динамических нагрузок на забой при бурении большое значение имеют стендовые исследования, при этом значительно облегчаются работы по регулированию параметров режима бурения и регистрации его результатов, упрощаются возможности по выбору пород с заданными физико-механическими свойствами [6]. Все это вместе с полной базой о параметрах работы долота и соответствующим анализом полученных данных позволяет оперативно и с минимальными затратами оценить эффективность конструкции нового породоразрушающего инструмента, а при необходимости наметить пути по его совершенствованию.

В связи с вышеизложенным, целью данной статьи является анализ методик оценки эффективности вооружения долота режуще-скалывающего действия, совершенствование его конструкции путем рационального размещения элементов вооружения на основе анализа силовых и энергетических параметров работы модели проектируемого долота.

Первые работы, касающиеся методов и устройств для оценки совершенства конструкций и исследования породоразрушающих инструментов режуще-скалывающего действия, принадлежат зарубежным авторам. Авторами патента [7] была разработана установка, моделирующая вращательное бурение. С ее помощью определялась энергоемкость, необходимая для разрушения горной породы, как функция от угла наклона одиночного режущего элемента. При этом энергоемкость, определялась как энергия, необходимая для удаления одного кубического дюйма камня. В этом устройстве образец горной породы вращался с заданной частотой, а режущий элемент подавался под давлением воздуха вертикально вниз к поверхности вращающегося камня. Максимально допустимая вертикальная сила достигала 120 фунтов (54,43 кг). Ее величина измерялась с помощью динамометра, к которому подсоединялся режущий элемент. Установки такого типа или установки со схемой обращенного забоя (вращается образец горной породы, а не режущий элемент) не позволяют в полной мере моделировать процесс выноса шлама из-под режущего элемента как это происходит в реальных условиях, что довольно существенно может отразиться на результатах исследова-

ний. Этот недостаток был учтен в работе [8], авторы которой провели анализ сил, действующих на резец с поликристаллической алмазной пластинкой диаметром 0,522 дюйма (13,29 мм) под углом резания 20° (рис. 1).

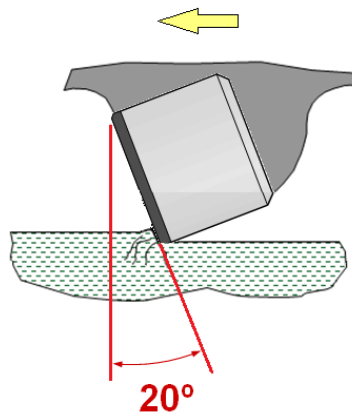


Рис. 1. Схематичное изображение угла резания

Экспериментальная установка представляет собой фрезерный станок, приспособленный для строгания закрепленного на столе образца породы. Резец закреплялся в шпинделе станка на трехосной тензометрической державке, позволяя фиксировать измеряемые силы в аналоговом виде на магнитной ленте. Исследования проводились при атмосферном давлении. Скорость резания составляла 45 дюймов в минуту (114,3 см/мин), глубина проникновения от 0,025 до 0,1 дюйма (0,635 - 2,54 мм). Испытания проводились на мраморе и граните. Полученные экспериментальные данные свидетельствовали о схожести процесса разрушения различных видов горных пород при различном состоянии резца, при этом эффективность процесса резания сильно зависела от «обнажения» соседних участков зоны разрушения. Поэтому возникла необходимость исследования процесса разрушения образца горной породы несколькими резцами, расположенными в непосредственной близости друг от друга. Этот момент был рассмотрен в работе [9], целью которой являлась разработка оптимальных конструкций долот PDC. Отличительной особенностью работы является идея использовать в процессе исследования разрушения образца горной породы несколько аналогичных резцов, перекрывающих друг друга (рис. 2). Это позволило более детально изучить эффекты взаимодействия между близко расположенными резцами.

Первая часть исследований представляет собой лабораторные испытания, которые дают количественную оценку и понимание сущности процессов взаимодействия резца с породой. На основании лабораторных данных автором работы [9] была разработана модель взаимодействия резцов, обеспечивающая прогнозирование работы долота PDC. Во второй части заявленная модель была обобщена и использована для разработки алгоритмов для компьютерной программы

(PDCWEAR), предназначенной для прогнозирования эксплуатации и износа буровых долот PDC. Также были выявлены и проанализированы общие тенденции, относящиеся к особенностям конструкции и работы долот, прогнозируемые посредством программы.

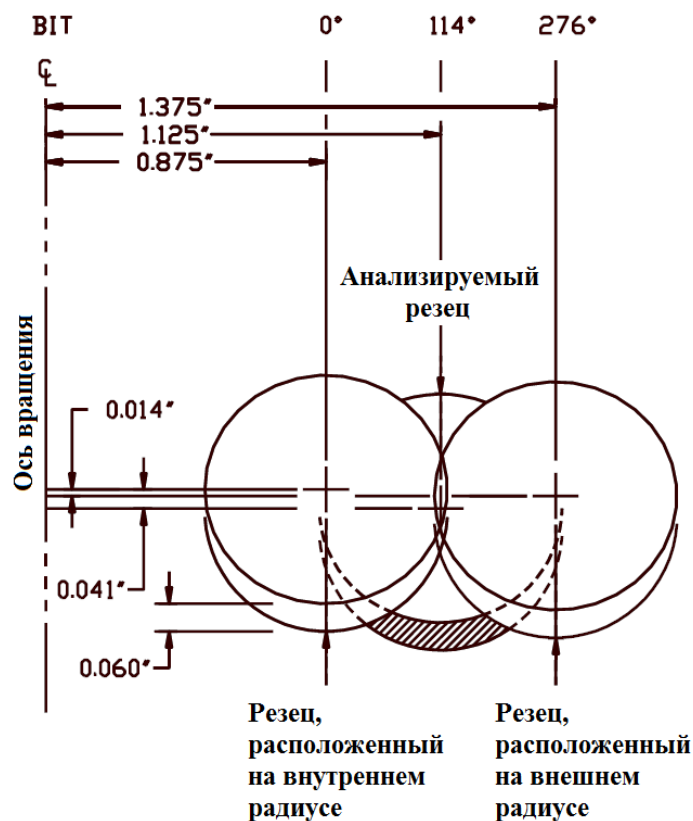


Рис. 2. Схема перекрытия забоя тремя резцами

Наибольший интерес представляют недавние исследования, описанные в работе [10]. Группой специалистов университета Талсы (США) были проведены эксперименты по изучению энергоемкости разрушения образцов горной породы единичным резцом на испытательном устройстве, оснащённом высокоточными датчиками, системой регистрации информации и герметичной камерой, позволяющей создавать необходимое давление в породе (рис. 3).

В опытах был использован 13-мм резец PDC для резания образцов из мрамора и известняка. Глубина проникновения составляла от 0,64 мм до 1,27 мм. Средой для создания давления являлась вода, либо минеральное масло. В ходе проведения экспериментов резец крепился с заданными углами резания и бокового наклона к приводному валу. Образец горной породы фиксировался в держателе и располагался внутри высоконапорной камеры, которая была заполнена соответствующей жидкостью и закрыта. С помощью плунжерного насоса задавалось необходимое давление, после чего привод начинал вращать с заданной частотой

образец горной породы. Затем резец PDC подавался вертикально вниз и внедрялся в горную породу. Данный стенд предназначен для проведения почти одного оборота с фиксированной глубиной проникновения. Используя пневматический поршень для нагружения, система подачи способна создавать вертикальное усилие до 12,5 кН и внедрять резец на установленную глубину в течение десятых долей секунды. Приложенные к резцу силы измерялись набором тензодатчиков, расположенных выше резца на приводном вале. При этом измерялись радиальная, тангенциальная и осевая составляющая сил. Оборудование способно создавать три отдельных давления на горную породу (рис. 3): всестороннее сжимающее давление, действующее на боковые стенки цилиндрического образца породы; давление в поровом пространстве горной породы; забойное давление. При всем обилии задаваемых входных параметров, данная работа не лишена недостатков, связанных с использованием схемы обращенного забоя и отсутствием исследований эффекта взаимодействия соседних резцов, перекрывающих друг друга.



Рис. 3. Принципиальная схема измерительной установки

К сожалению, в описанных выше исследованиях и в ряде других работ [11 - 13] не учитывался и не регистрировался изгибающий момент на моделируемом долоте, хотя именно этот параметр работы долота является одним из самых важных. Так в работе [14] отмечается, что при вращательном способе бурения скважин, при котором проходка обеспечивается в результате одновременных воздействий осевой нагрузки и крутящего момента, также существует тесная связь

между продольными, поперечными и крутильными колебаниями. В работе отмечается, что одним из основных силовых параметров работы долота является поперечная сила, переменная составляющая которой является причиной поперечных колебаний бурильной колонны и «разбивает» породоразрушающий инструмент, а постоянная составляющая «уводит» долото в сторону, искривляя ствол скважины. На сегодняшний день этот вид динамического режима работы породоразрушающих инструментов изучен недостаточно. Таким образом, на показатели процесса бурения и долговечность бурового оборудования значительное влияние оказывают силовые параметры, действующие в колонне бурильных труб. К этим параметрам относят не только осевую силу и крутящий момент, но и поперечную силу, воздействие которой на буровую колонну заменяют изгибающим моментом. Для проведения регистрации указанных силовых параметров работы породоразрушающего инструмента автором исследования [3] было разработано и реализовано автономное измерительное устройство, дополнительно оснащенное датчиком оборотов долота, установленное на шпиндель бурового станка ЗИФ-1200.

Для регистрации механической скорости проходки на шпинделе станка установлен дискретный оптический датчик перемещения шпинделя. Это позволило рассчитывать проходку за один оборот долота, усредненную в пределах регистрации результатов опыта. Система промывки станда, состоящая из центробежного насоса, системы трубопроводов и вертлюга на шпинделе, обеспечивала идеальную, с точки зрения удаления шлама, промывку забоя технической водой при всех возможных режимах бурения. На нижнем конце шпинделя бурового станка ЗИФ-1200 устанавливается специальный тензометрический переводник, к которому приворачивается исследуемое долото. Для регистрации силовых параметров, в том числе изгибающего момента, на измерительный участок тензометрического переводника наклеены тензорезисторы. По результатам стендового бурения автором рассчитывались два показателя работы долота – проходка за один оборот и энергоемкость разрушения породы. Независимыми, задаваемыми параметрами работы долота на стенде являлись средняя осевая нагрузка на долото, частота вращения долота, количество и качество промывочной жидкости. К сожалению, с помощью этой установки невозможно исследовать силовые и энергетические характеристики отдельных участков долота с целью доработки конструкции вооружения, так как работа проводится уже с изготовленным долотом.

Из отечественных устройств для исследования и оценки совершенства конструкции породоразрушающих инструментов режуще-скалывающего действия стоит отметить экспериментальную установку [15], позволяющую изучать износостойкость различных материалов в условиях, приближающихся к забойным. Установка создана на базе радиально-сверлильного станка 2А-55 с широким диапазоном изменения режимных параметров. Испытуемые образцы резцов закрепляются с помощью цанговых патронов на специальной головке, служащей

одновременно и для подвода промывочной жидкости. Стоит отметить, что прототипом предлагаемого решения является модель долота, предложенная институтом сверхтвердых материалов [16], состоящая из нескольких коаксиально расположенных коронок-цилиндров различных диаметров, нижнее основание которых установлено на неподвижной плите, а верхнее оснащено породоразрушающими элементами и включает в себя датчики нагрузки. Модель описанной модификации воспроизводит работу долота с плоским торцом, при этом элементы вооружения находятся по концентрическим окружностям относительно центра долота, однако реальные долота имеют самые различные геометрию и схему размещения вооружения. Также серьезным недостатком является то, что является то, что установка моделирует работу отдельных резцов, не учитывая их расположения и взаимного влияния на процесс разрушения горной породы.

В целом, методика исследований разрушения горных пород породоразрушающими элементами заключается в регистрации силовых и энергетических параметров работы моделируемого долота путем тензометрирования сил при различных схемах расположения элементов вооружения. В процессе исследований применяются резцы, разные по величине и форме режущей поверхности, изменяются проходка и скорость вращения, а также свойства подводимой к зоне разрушения промывочной жидкости и свойства горных пород. Методы других исследователей отличаются определением массового и временного износа материалов элементов вооружения и горных пород, металлографическими и другими видами анализа отработанных поверхностей, применением скоростной киносъемки, измерением тепла трения, шероховатости рабочей поверхности породоразрушающих элементов и т.п.

Подводя итог, отметим, что опыт многочисленных исследований показывает, что долота с экспериментальной схемой размещения элементов вооружения в правильно подобранных условиях обеспечивают существенное повышение технико-экономических показателей бурения скважин. Однако, модернизация вооружения носит в некотором смысле случайный характер из-за несовершенства существующих методов и устройств для оценки эффективности конструкций долот, отсутствия полных данных об указанных силовых и энергетических параметрах. Поэтому на сегодняшний день остается актуальной проблема создания экспериментальной установки, предназначенной для оценки совершенства конструкции долота на основе результатов регистрации силовых параметров его работы. Также не менее актуальна задача обоснования методики оценки эффективности схем размещения элементов вооружения породоразрушающего инструмента, опирающаяся на результаты теоретических и экспериментальных исследований по разрушению горных пород. При этом оптимизации подлежат как форма рабочей поверхности долота, определяющая форму забоя скважины, так и схема перекрытия забоя, количество и порядок размещения элементов вооружения.

Литература

1. Бессон А., Берр Б., Диллард С., Дрейк Э. и др. Новый взгляд на режущие элементы буровых долот // Нефтегазовое обозрение. 2002. Том 7. № 2. С. 4 - 31. http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/russia02/spr02/p4_31.ashx
2. Исследование и разработка эффективных процессов разрушения горных пород при бурении. Промежуточный отчет ВНИИБТ. М., 1978. 170 с.
3. Трушкин О.Б. Анализ силовых и энергетических параметров работы породоразрушающих инструментов на базе разработанного автономного цифрового измерительного устройства: дис. канд. техн. наук. Уфа, 2006. 204 с.
4. Трушкин О.Б. Показатели и параметры работы долот при стендовом бурении // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2006. № 1. 17 с. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Trushkin/Trushkin_1.pdf (дата обращения 16.12.2011).
5. Спивак А.И., Попов А.Н. Разрушение горных пород при бурении скважин. М.: Недра, 1994. 261 с.
6. Исследование процессов разрушения горных пород при бурении. Промежуточный отчет ВНИИБТ. М., 1974. 328 с.
7. Патент № 4098362 США. МПК E21B 9/36. Долото для вращательного бурения и метод его изготовления. Филлип Е.Б. Опубл. 04.07.1978.
8. Zeuch D.H., Finger J.T. Rock Breakage Mechanisms With a PDC Cutter. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 22-26 September 1985, Las Vegas, Nevada.
9. Glowka, D.A. Development of a Method for Predicting the Performance and Wear of PDC Drill Bits, Sandia Report No. SAND86-1745, June 1987.
10. Rafatian N., Miska S., Ledgerwood L.W., Ahmed R., Yu M., Takach N. Experimental Study of MSE of a Single PDC Cutter Interacting With Rock Under Simulated Pressurized Conditions, *SPE Drilling & Completion*, 2010, Volume 25, Issue 1, pp. 10 - 18. SPE-119302-PA. doi: 10.2118/119302-PA.
11. Абдуллин М.М. Разработка нового вооружения для долота типа С на базе экспериментального изучения его взаимодействия с забоем при бурении: дис. канд. техн. наук. Уфа, 1985. 184 с.
12. Мавлютов М.Р. Разрушение горных пород при бурении скважин. М.: Недра, 1978. 215 с.
13. Симонянц Л.Е. Разрушение горных пород и рациональная характеристика двигателей для бурения. М.: Недра, 1966. 228 с.
14. Григулецкий В.Г. Оптимальное управление при бурении скважин. М.: Недра, 1988. 229 с.
15. Арцимович Г.В. Механо - физические основы создания породоразрушающего бурового инструмента. Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.
16. Вовчановский И.Ф. Породоразрушающий инструмент на основе «Славутича» для бурения глубоких скважин. Киев: Наукова думка, 1979. 66 с.

ANALYSIS OF METHODS FOR ESTIMATING THE EFFECTIVENESS OF DRAG BIT

A.R. Yakhin

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
e-mail: 9406622@mail.ru

Abstract. *In article questions of methods for estimating the effectiveness of drag bit cutting structure to improve its design based on the analysis of bench model characteristics of the designed bit are considered.*

Keywords: *drag bit, cutting structure, PDC cutter, experimental assembly, methods*

References

1. Besson A., Berr B., Dillard S., Drake E., Ivie B., Ivie C., Smith R., Watson G. Novyi vzglyad na rezhushchie elementy burovykh dolot, *Neftegazovoe obozrenie - Oilfield Review in Russian*, Spring 2002, Volume 7, Issue 2, pp. 4 - 31. http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/russia02/spr02/p4_31.ashx (transl. from: Besson A., Berr B., Dillard S., Drake E., Ivie B., Ivie C., Smith R., Watson G. On the Cutting Edge, *Oilfield Review*, Autumn 2000, Volume 12, Issue 3, pp. 36 - 57. http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors00/aut00/p36_57.ashx)
2. Issledovanie i razrabotka effektivnykh protsessov razrusheniya gornykh porod pri bureanii. Promezhutochnyi otchet VNIIBT (Research and development of efficient processes for the rock breaking during drilling. Interim report of VNIIBT). Moscow, 1978, 178 p.
3. Trushkin O.B. Analiz silovykh i energeticheskikh parametrov raboty porodorazrushayushchikh instrumentov na baze razrabotannogo avtonomnogo tsifrovogo izmeritel'nogo ustroystva (The power and energy parameters analysis of rock cutting tools on the basis of developed an autonomous digital measuring device). PhD Thesis. Ufa, 2006. 204 p.
4. Trushkin O.B. Pokazateli i parametry raboty dolot pri stendovom bureanii (Indicators and parameters of the bits at the drilling bench), *Electronic scientific journal "Neftegazovoe delo - Oil and Gas Business"*, 2006, Volume 1, 17 p. http://www.ogbus.ru/authors/Trushkin/Trushkin_1.pdf .
5. Spivak A.I., Popov A.N. Razrushenie gornykh porod pri bureanii skvazhin (Destruction of rocks during drilling). Moscow, Nedra, 1994. 261 p.
6. Issledovanie protsessov razrusheniya gornykh porod pri bureanii. Promezhutochnyi otchet VNIIBT (Research of rock breakage processes during drilling. Interim report of VNIIBT). Moscow, 1974. 328 p.
7. US Patent 4098362. E21B 9/36. Rotary drill bit and method for making same. Bonnie Phillip. Published on 04.07.1978.

8. Zeuch D.H., Finger J.T. Rock Breakage Mechanisms With a PDC Cutter. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 22-26 September 1985, Las Vegas, Nevada.
9. Glowka, D.A. Development of a Method for Predicting the Performance and Wear of PDC Drill Bits, Sandia Report No. SAND86-1745, June 1987.
10. Rafatian N., Miska S., Ledgerwood L.W., Ahmed R., Yu M., Takach N. Experimental Study of MSE of a Single PDC Cutter Interacting With Rock Under Simulated Pressurized Conditions, *SPE Drilling & Completion*, 2010, Volume 25, Issue 1, pp. 10 - 18. SPE-119302-PA. doi: 10.2118/119302-PA.
11. Abdullin M.M. Razrabotka novogo vooruzheniya dlya dolota tipa S na baze eksperimental'nogo izucheniya ego vzaimodeistviya s zaboem pri burenii (The development new cutting structure for the bit type C on the basis of the experimental study of its interaction with the bottomhole during the drilling). PhD Thesis. Ufa, 1985. 184 p.
12. Mavlyutov M.R. Razrushenie gornykh porod pri burenii skvazhin (Rock fracture in hole drilling). Moscow, Nedra, 1978. 215 p.
13. Simonyants L.E. Razrushenie gornykh porod i ratsional'naya kharakteristika dvigatelei dlya bureniya (Rocks destruction and drilling motor optimum characteristics). Moscow, Nedra, 1966. 228 p.
14. Griguletskii V.G. Optimalnoe upravlenie pri burenii skvazhin (Well-drilling optimal control). Moscow, Nedra, 1988. 229 p.
15. Artsimovich G.V. Mekhano - fizicheskie osnovy sozdaniya porodorazrushayushchego burovogo instrumenta (Mechanical and physical basis of creating a rock-cutting drilling tool). Novosibirsk, Nauka, 1985. 129 p.
16. Vovchanovskii I.F. Porodorazrushayushchii instrument na osnove «Slavuticha» dlya bureniya glubokikh skvazhin (Rock cutting tools based on the "Slavutych" for the deep wells drilling). Kiev, Naukova dumka, 1979. 66 p.