



УДК 622.24

ОСНОВЫ РЕЗАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД РЕЗЦАМИ PDC

FUNDAMENTALS OF ROCK CUTTING WITH PDC CUTTERS

Третьяк Александр Александрович

доктор технических наук,
профессор кафедры «Нефтегазовая техника и технологии»,
Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова
13050465@mail.ru

Черкасов Сергей Сергеевич

студент,
Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова
Cherkasov.s201@gmail.ru

Савенко Никита Сергеевич

студент,
Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова
Savenkonikita971@gmail.ru

Аннотация. В статье представлено обоснование процесса изнашивания и образования поломок инструмента при бурении поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин в целях сокращения сроков их строительства и повышения их экономической эффективности, посредством создания новых высокопроизводительных породоразрушающих инструментов. Установлено, что важнейшей характеристикой буровых инструментов, армированных PDC, является показатель интенсивности износа пластин по высоте во времени. На основании структурного подобия крепких крупнозернистых пород и абразивных заточных, а также лабораторных исследований были получены зависимости, позволяющие рассчитывать механическую скорость бурения и наработку буровых инструментов, армированных PDC. Показано, что основные виды поломок PDC происходят от ударных нагрузок, действующих со стороны передней и со стороны задней граней режущих элементов и формирующихся при возникновении в бурильной колонне крутильных и продольных колебаний. Приведена расчетная схема при резании-скалывании горной породы резцом PDC.

Ключевые слова: буровой инструмент, резцы PDC, резание горных пород.

Tretyak Alexander Alexandrovich

Doctor of Technical Sciences,
Professor of the department
«Oil and gas equipment and technologies»,
South Russian State Polytechnic University
(NPI) named after M.I. Platova
13050465@mail.ru

Cherkasov Sergey Sergeevich

Student,
South Russian State Polytechnic University
(NPI) named after M.I. Platova
Cherkasov.s201@gmail.ru

Savenko Nikita Sergeevich

Student,
South Russian State Polytechnic University
(NPI) named after M.I. Platova
Savenkonikita971@gmail.ru

Annotation. The article presents the rationale for the process of wear and the formation of tool breakages during the drilling of exploratory, exploration and production wells in order to reduce their construction time and increase their economic efficiency through the creation of new high-performance rock cutting tools. It has been established that the most important characteristic of PDC-reinforced drilling tools is the rate of wear of the plates along the height in time. Based on the structural similarity of hard coarse-grained rocks and abrasive grinding tools, as well as laboratory studies, dependences were obtained that allow calculating the mechanical drilling speed and the operating time of drilling tools reinforced with PDC. It is shown that the main types of PDC failures are caused by impact loads acting from the front and back faces of the cutting elements and formed when torsional and longitudinal vibrations occur in the drill string. The design scheme for cutting-chipping of rock with a PDC cutter is given.

Keywords: drilling tool, PDC cutters, rock cutting.

Одним из решений в сокращении сроков строительства скважин и повышения их экономической эффективности является создание новых высокопроизводительных породоразрушающих инструментов. Главной составляющей повышения эффективности бурения является оптимизация конструкций долот режуще-скалывающего действия, армированных пластинами PDC (polycrystalline diamond compact).

Большое количество экспериментальных исследований отдельных авторов и опыт многих буровых компаний в области вращательного бурения скважин показывает, что эффективность обработки долот, армированных PDC, зависит не только от технологических режимов бурения, но и от характера их обработки.

При бурении поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин буровой инструмент проходит через сланцы, известняки, песчаники, кварциты и другие породы различной крепости и абразивности. Для определения степени износа долот (коронки) приходится поднимать инструмент на поверхность. Длительность процесса спускоподъемных операций значительно удорожает строительство скважин.



Известно, что процесс резания горных пород, независимо от их категории по буримости, во много раз более рациональный, чем процесс вдавливания, так как затраты энергии на разрушение отличаются в разы.

Разрушение горной породы резанием – это сложный технологический процесс, в котором задействовано большое количество факторов, начиная от главных – технологических или режимных параметров бурения (нагрузка на породоразрушающий инструмент, кН, частота вращения породоразрушающего инструмента, об/мин., качество и количество промывочной жидкости, л/мин) и заканчивая физико-техническими и горно-технологическими свойствами горных пород.

С учетом вышеизложенного оценить эффективность процесса резания горных пород довольно сложно, что требует инновационных подходов.

Известно, что при бурении новым долотом и при оптимальном усилии подачи происходит процесс резания, то есть объемное разрушение горной породы. Однако по мере затупления резцов PDC площадь контакта их с породой увеличивается, контактные напряжения в породе становятся меньше ее твердости на вдавливание, объемное разрушение переходит в усталостное, а затем в поверхностное, то есть идет процесс истирания. Избежать этого в значительной мере можно изменением параметров бурения по мере затупления резцов PDC. Для этого необходимо разработать оперативные методы, позволяющие с минимальными затратами прогнозировать износ резцов.

Износ резцов PDC зависит, прежде всего, от абразивности породы, геометрии рабочей части долота, режима бурения (нагрузка, частота вращения) и интенсивности удаления продуктов разрушения. В соответствии с этим, чтобы повысить скорость бурения, необходимо правильно подобрать тип долота, технологический режим бурения и соблюдать определенный порядок отработки долот.

Уровень отработки долот, армированных PDC, оценивается с помощью технико-экономических показателей, к которым относятся: механическая скорость бурения (м/ч); величина проходки за рейс (м); количество метров, пробуренных одним долотом (м); стоимость 1 м пробуренной скважины (руб.)

Известно, что долота PDC, после отработки, изнашиваются неравномерно – наиболее всего изнашиваются резцы по периферийной части из-за наибольших удельных мощностей трения, а наименее центральные. По опыту отработок износ в центральной части лопасти чаще всего отсутствует [1, 2].

Одной из причин износа породоразрушающего инструмента является неоптимальная нагрузка на отдельные участки рабочих поверхностей, а также возникающие разрушительные вибрации. В связи с этим, необходимо проектировать геометрию долот в зависимости от и распределения данных нагрузок. Для этого необходимо оценить влияние физико-механических свойств горных пород на условия работы породоразрушающего инструмента. Для оценки влияния большое значение имеют стендовые исследования. Данные, полученные при их исследовании, позволят с минимальными затратами оценить эффективность конструкции породоразрушающего элемента, а также наметить пути по их совершенствованию [3, 7].

Современное развитие добывающих отраслей промышленности требует усовершенствования технологии бурения скважин, увеличения механической скорости проходки, проходки на долото, снижения вибрационного режима в процессе бурения в условиях высокой изменчивости физико-механических свойств горных пород. Особенно высоки требования к эксплуатационным параметрам долот при проходке глубоких и протяженных стволов скважин сложного профиля, предназначенных для добычи углеводородного сырья. В таких условиях выбор конструкции долота, схемы резцов и параметры режима бурения имеют большое значение для технико-экономических показателей процесса бурения горных пород.

Важнейшим параметром работы долота режуще-скалывающего действия является линейная скорость перемещения резца по забою. Ранее рядом авторов рассмотрено влияние на процесс резания-скалывания горной породы линейной скорости резца и других параметров.

Целью исследования является повышение стойкости долот с резцами PDC, определяющей их ресурс и производительность за счет применения усовершенствованной теории при проектировании долот с учетом динамических особенностей механизма разрушения горных пород и сопротивления среды.

Рассматривая технологию резания горных пород резцами PDC необходимо отметить, что относительно оси вращения долота резцы PDC могут располагаться параллельно, наклонно и с поворотом на некоторый угол, что определяет угол резания – σ° , который может быть прямым ($\sigma = 90^\circ$), положительным ($\sigma > 90^\circ$) и отрицательным ($\sigma < 90^\circ$).

Экспериментальные исследования показали, что оптимальной является технология бурения горной породы резцом PDC, когда передний угол составляет 10–35 градусов. Схема резания горной породы приведена на рисунке 1.

Передний угол – один из главных элементов режущей части породоразрушающего инструмента. Его величина является средством, с помощью которого можно изменять сопротивление резанию и расход энергии на резание. От величины переднего угла зависит количество выделяющейся теплоты при бурении горных пород, температура, износ и стойкость инструмента.

При использовании долот, армированных резцами PDC большое значение имеет выбор схемы резания, так как от этого зависит эффективность разрушения горных пород. Основной схемой резания является свободная схема резания, представленная на рисунке 2.

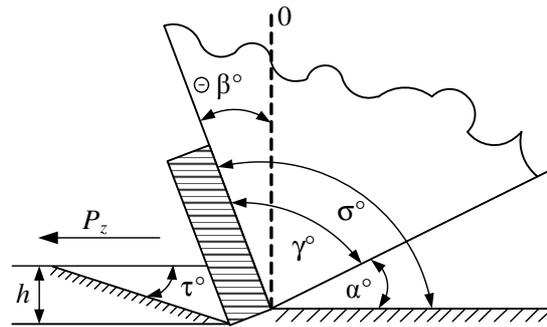


Рисунок 1 – Схема резания горной породы:
 $\tau \approx 15^\circ$ при $\sigma > 90^\circ$; β° – передний угол; σ° – угол резания; α° – задний угол; γ° – угол заострения

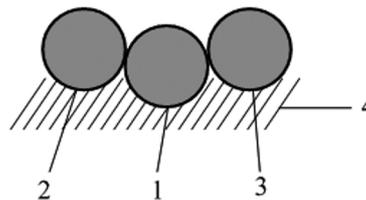


Рисунок 2 – Свободная схема резания горной породы:
 1 – резание горной породы забуривающей борозды резцом PDC; 2, 3 – резание горной породы скалывающей борозды резцами PDC; 4 – горная порода

Преимущества этой схемы резания заключается в том, что при такой схеме энергоёмкость разрушения горных пород будет самой эффективной, особенно для резца PDC под номером 2 и 3
 На рисунке 3 показана расчетная схема при резании-скалывании горной породы с резцом PDC [4, 5].

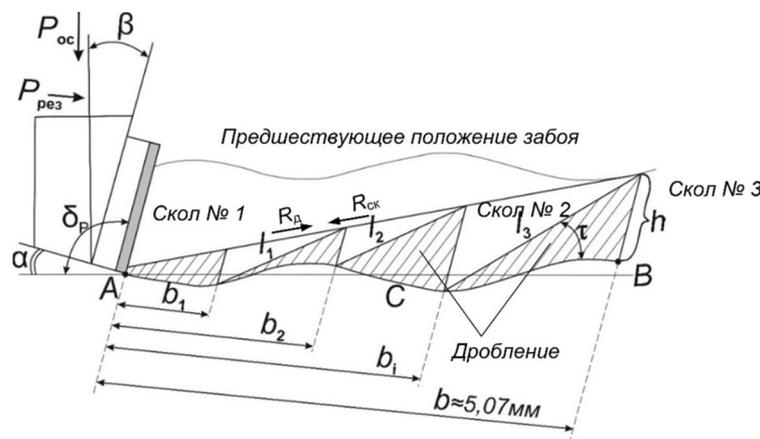


Рисунок 3 – Расчетная схема при резании-скалывании горной породы режущим элементом с резцом PDC:
 $P_{ос}$ и $P_{рез}$ – направление действия осевой нагрузки и силы резания; h – текущая величина толщины срезаемого слоя породы; b_i и l_i – размеры участков дробления и скола; τ – угол скола i -го элемента; β – передний угол; δ_p – угол резания; α – задний угол; A и B – точки начала и конца крупного скола; A, B – точки начала и конца крупного скола

При выполнении экспериментальных работ было установлено, что разрушение пластично-хрупкой горной породы резанием единичным резцом имеет скачкообразный характер. Резцы с фаской изменяют соотношение окружных и вертикальных нагрузок на резец в сторону увеличения вертикальных нагрузок. По мере увеличения нагрузки разрушения горной породы, начиная со второй области, наблюдается снижение энергоёмкости ее разрушения и сближение энергоёмкостей разрушения острыми резцами и резцами с притупленными фасками.

При этом, прочностные характеристики режущих элементов значительно превышают прочностные характеристики бурильных пород. Так у твердосплавной основы PDC твердость $86 \div 91$ HRA, прочность на изгиб $1000 \div 1800$ МПа, ударная вязкость $2 \div 7$ дж/см², модуль упругости $6 \cdot 10^5$ МПа, так как у алмазного слоя предел прочности при сжатии 2000 МПа, следовательно, поломки могут происходить только от действия ударных нагрузок.



Выводы

Выполненные на кафедре «Нефтегазовая техника и технологии» экспериментальные исследования позволили установить следующее:

- При конструировании долот, армированных резцами PDC угол установки резцов должен изменяться от 10 до 35 градусов.
- Линейная скорость перемещения резца PDC по забою является основным параметром работы долота.

Список литературы:

1. Буренков Н.Н., Третьяк А.А., Чихоткин А.В. Режущая часть долота PDC: оптимизация геометрических параметров // Oil&Gas Journal Russia. – 2013. – № 5.
2. Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Е., Третьяк А.А. Разработка методики расчета наработки породоразрушающего инструмента с алмазно-твердосплавным вооружением // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 12. – С. 2–5.
3. Стабилизирующая кольцевая буровая коронка // Патент № 2577351 Рос. Федерации / Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Савенок О.С. и др. Заявл. 26.01.15, опубл. 20.11.16, Бюл. № 8.
4. Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А. Определение скорости бурения и наработки коронок нового поколения, армированных алмазно-твердосплавными пластинами // Деловой журнал Neftegaz.ru. – 2017. – № 3. – С. 46–49.
5. Третьяк А.А., Кузнецова А.В., Борисов К.А. Определение поломок резцов PDC с помощью регрессионного и нейросетевого моделирования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 5. – С. 169–177.
6. Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А. Влияние крутильных и продольных колебаний на скорость бурения и образование поломок элементов буровых долот, армированных PDC // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – № 11.
7. Нескоромных В.В., Попова М.С. Основы системного подхода к проектированию бурового инструмента // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 8. – С. 26–31.

List of references:

1. Burenkov N.N., Tretiak A.A., Chikhotkin A.V. Cutting part of the RDS bit: optimization of geo-metric parameters // Oil&Gas Journal Russia. – 2013. – № 5.
2. Litkevich Y.F., Aseeva A.E., Tretiak A.A. Development of calculation methodology of rock destruction tool run with diamond-hard-alloy armament // Construction of oil and gas wells onshore and offshore. – 2010. – № 12. – P. 2–5.
3. Stabilizing ring drill bit // Patent № 2577351 of the Russian Federation. F., Savenok O.S. et al. Claim. 26.01.15, publ. 20.11.16, Bull № 8.
4. Tretiak A.A., Litkevich Y.F., Borisov K.A. Determination of drilling speed and operating time of new generation crowns, reinforced with diamond-solid plates // Business Journal Neftegaz.ru. – 2017. – № 3. – P. 46–49.
5. Tretiak A.Y., Kuznetsova A.V., Borisov K.A. Determination of PDC cutter breaks using regression and neural network modeling // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. – 2019. – V. 330. – № 5. – P. 169–177.
6. Tretiak A.A., Litkevich Y.F., Borisov K.A. Influence of torsional and longitudinal oscillations on drilling speed and breakage formation of PDC-reinforced drill bit elements // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. – 2019. – № 11.
7. Nesromnykh V.V., Popova M.S. Fundamentals of the system approach to the design of drilling tools // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2018. – № 8. – P. 26–31.