

М.С. Попова, канд. техн. наук

*Сибирский федеральный университет, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 95,
660095, г. Красноярск, Россия, e-mail: alleniram83@mail.ru*

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БУРОВОГО АЛМАЗНОГО ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Некоторые этапы проектирования алмазного бурового породоразрушающего инструмента сталкиваются с проблемой недоступности экспериментального исследования. Современные методы научного познания позволяют замещать промышленные испытания компьютерным моделированием, которое хорошо зарекомендовало себя на мировой арене научных разработок различной направленности.

Цель исследований: определение возможностей применения компьютерного программирования в области проектирования бурового алмазного породоразрушающего инструмента.

Методы исследований: аналитические исследования, анализ, метод компьютерного моделирования.

Результаты исследований. Компьютерное моделирование, помимо достоверности и точности получения результатов, обладает преимуществом возможности комплексного учета самых мелких, но многочисленных параметров, которые во многом оказывают влияние на результаты работы спроектированного инструмента.

Практическое значение. Полученное программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс проектирования и конкретизировать многие этапы исследования работы бурового породоразрушающего инструмента.

Ключевые слова: *бурение, породоразрушающий инструмент, механизм разрушения, алмазный резец, моделирование.*

Постановка проблемы

Для получения конструкции эффективного алмазного бурового породоразрушающего инструмента при его проектировании необходимо учитывать как можно больше факторов, влияющих на результат его работы. Существующие методы проектирования во многом предполагают упрощение изучаемой системы. Это связано с ограниченностью инструментов исследования. К примеру, практически невозможно экспериментально отследить все процессы, происходящие в зоне взаимодействия алмазного резца с горной породой, особенно это трудно, учитывая габариты элементов и динамику процессов, сопровождающих бурение.

Востребованным современным колонковым породоразрушающим буровым инструментом является импрегнированный инструмент. При этом, по сравнению с другим буровым инструментом он обладает самым мелким резцом. Размер алмаза, которым армируют импрегнированный инструмент, часто не превышает четверти миллиметра. Естественно об экспериментальных методах исследования такой мелкогабаритной системы речи не идет. Если и применяются, то как правило, косвенные методы эксперимента, которые не всегда отличаются точностью результатов или не учитывают все нюансы исследуемого процесса.

Анализ достижений

В последнее время разработчиками породоразрушающего инструмента широко применяются возможности компьютерного программирования. Такие ведущие на мировом рынке компании по производству породоразрушающего инструмента как *Smith Bits*, *Smith Technologies*, *Varel* и др. основные свои разработки осуществляют с применением программного обеспечения.

К примеру, компания *Smith Bits* разработала программную инженерно-аналитическую платформу *IDEAS*, которая, учитывая геологию и динамику бурения, позволяет осуществлять проектирование долот типа *PDC*. А компания *Smith Technologies* при помощи программы моделирования *Yield Point* занимается изучением особенностей гидравлических процессов бурения и разработки промывочных систем породоразрушающего инструмента, способствующих не только эффективной очистке и охлаждению (так важного для алмазного армирования), но и разрушению породы на забое скважины.

Нерешенные вопросы

Как правило, существующие программные продукты, исчерпывая свои возможности, основаны на комплексных методах и являются недоступными для пользования внекорпоративной среде. Однако преимущества их использования неоспоримы и дают плодотворные результаты.

Известными исследованиями [1–8] доказано, что на общий результат работы породоразрушающего инструмента влияют факторы, возникающие при внедрении единичного резца в породу. При изучении механизма разрушения горной породы алмазным резцом особое внимание необходимо уделять величине глубины резания породы алмазом, формированию лунки разрушения породы, расположению ядра сжатия породы под алмазом, длине и направлению трещины отрыва разрушенной породы от массива, силам сопротивления внедрению резца в породу [3, 7] и т.д. Перечисленные параметры оказывают важное влияние на общую эффективность работы бурового породоразрушающего инструмента, но при этом отличаются небольшими размерами области исследования.

Основной целью работы является выявление возможностей применения компьютерного программирования при изучении механизма разрушения горной породы алмазным резцом и определение связи параметров данного процесса с конструктивными элементами породоразрушающего инструмента.

Методика

При проектировании алмазного породоразрушающего инструмента необходимо исследовать его работу на забое, комплексно учитывая температурный режим, гидродинамику процесса бурения и механизм разрушения породы его режущей частью.

Результаты компьютерного моделирования работы однослойных алмазных коронок показали, что наибольшему нагреву подвергаются алмазы, расположенные во втором радиальном ряду набегающей части сектора (рис. 1) [8]. Таким образом, определились проблемы конструирования рабочей части алмазного инструмента. Это необходимость повышения термоустойчивости алмазных резцов набегающей части сектора и разработка развернутой промывочной системы алмазного инструмента.

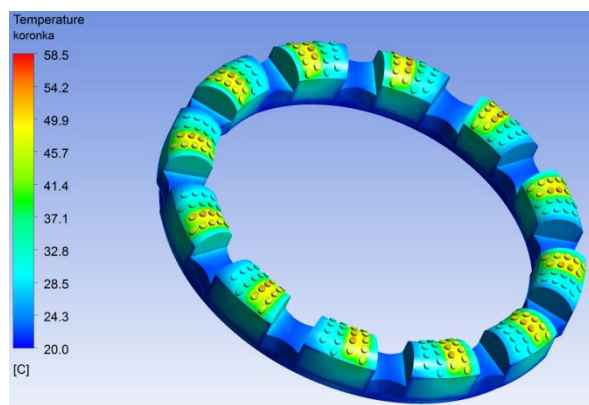


Рис. 1. Результаты компьютерного моделирования температурного режима работы однослойной алмазной коронки

Для исследования механизма разрушения породы алмазом актуальной является схема, представленная на рис. 2, показавшая свою востребованность и продуктивность в научных трудах, посвященных вопросам изучения разрушения горной породы [3].

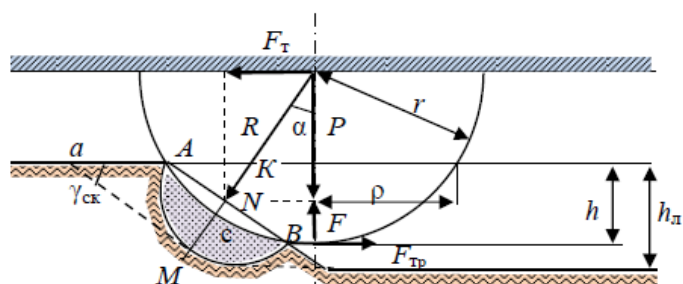


Рис. 2. Схема взаимодействия алмаза с горной породой [3]

значимые параметры исследуемой системы. Учитывая результаты аналитических вычислений [3, 7], за исходные приняты: радиус алмазного резца; осевая нагрузка на алмаз; тангенциальное усилие, испытываемое алмазом; сила трения алмаза о породу; предел прочности породы на скалывание; выпуск алмаза; скорость перемещения резца; угол внутреннего трения породы; угол скола; твердость породы по штампу; коэффициент внешнего трения на контакте резца с породой; передний угол алмаза.

Последние исследования [7] показали, что на глубину резания-скалывания породы резцом оказывает влияние среда, образованная на забое скважины в процессе бурения. Такая среда складывается из промывочной жидкости, обогащенной шламом, и разрыхленной породы забоя. Эта субстанция обладает достаточно большой плотностью и, подверженная процессу гидродинамики бурения, оказывает выталкивающее действие на резец. Этот процесс недоступен для изучения экспериментальным методом, но нагляден при компьютерном моделировании, например, в системе ANSYS. Особо ярко картина данного явления наблюдается при моделировании бурения резцом PDC. Создающееся под рабочей частью резца давление среды сконцентрировано именно на контакте с породой (рис. 3), что, учитывая передний угол установки и геометрии резца, способствует противодействию его внедрению в забой [7].

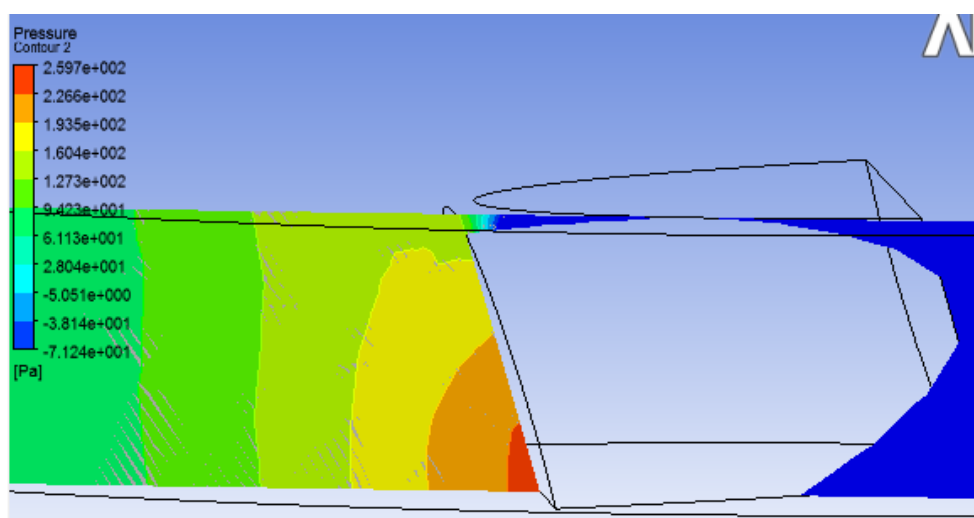


Рис. 3. Давление в пределах резца PDC (моделирование в системе ANSYS)

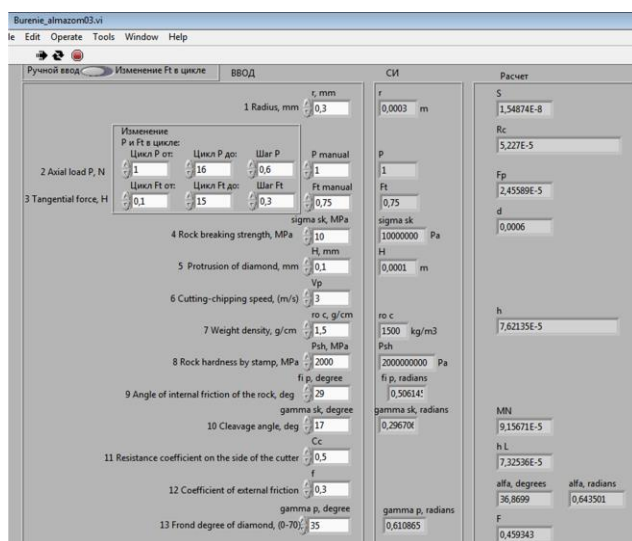
Таким образом, в качестве исходных данных обязательно должны учитываться: весовая плотность среды (с учетом плотности бурового раствора и разрушаемой горной породы) и коэффициент сопротивления со стороны резца, учитывающий форму плоскости резца [7].

Взаимовлияние всех параметров отражается в выражениях расчета глубины резания-скалывания горной породы алмазом (h , рис. 1), глубины борозды разрушения ($h_{л}$, рис. 1), глубины распространения ядра сжатия (MN , рис. 1) [3].

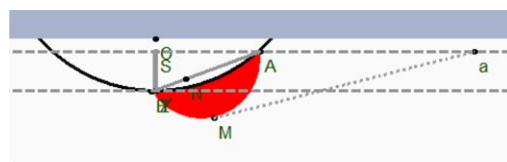
Результаты исследования должны демонстрировать механизм разрушения путем изменения расчетных параметров в зависимости от исходных данных.

Для реализации предложенного алгоритма можно создать программу, к примеру, в графической среде программирования *LabVIEW*. Опыт применения компьютерного моделирования процессобурения в среде *LabVIEW* [9] показывает, что данный программный продукт позволяет получить достоверные и точные результаты. К тому же *LabVIEW* обладает мощным математическим аппаратом и графическим редактором, что способствует визуализации полученных результатов.

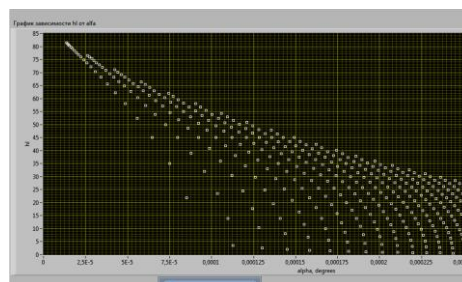
Реализованная методика исследования механизма разрушения породы алмазом [3] в программе *LabVIEW* выводит на экран все расчетные значения (рис. 4, а), отображает схему взаимодействия алмаза с породой (рис.3, б) и, путем интерпретации трехмерной графической зависимости (рис.3, в), позволяет определять оптимальные режимы бурения (выбор осевого и тангенциального усилий) для эффективного разрушения заданного вида породы.



а



б



в

Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования в системе *LabVIEW*

Имея полученные данные, регулируя геометрические параметры установки алмазного резца в инструменте (передний угол, выпуск, диаметр алмаза), можно добиться такой конструкции ПРИ, которая будет наиболее эффективна в заданных геологических условиях его использования.

Выводы

Проектирование бурового породоразрушающего инструмента требует детального изучения всех факторов, оказывающих влияние на результативность его работы. При проектировании алмазнопородоразрушающего инструмента изучению подвергаются зоны, отличающиеся особо малыми размерами, что недоступно для непосредственного экспериментального исследования. В связи с необходимостью комплексного изучения всех

процесів, що виникають при взаємодії малих алмазів з породою в процесі буріння, актуальним є використання методів комп'ютерного моделювання.

Комп'ютерне моделювання дозволяє дослідити навіть найменші та найскладніші зони будь-якої досліджуваної системи. Виявляючи проблемні місця, відкриває великі можливості в проектуванні породо-розрушаючого інструмента. Основною перевагою комп'ютерного моделювання є можливість реалізації системного, комплексного підходу до вивчення роботи режущої частини та подальшого застосування отриманих результатів в проектуванні найбільш ефективного бурового інструмента.

M. S. Popova

Siberian Federal University, Russia

TO THE QUESTION OF DESIGNING A DRILLING DIAMOND ROCK CUTTING TOOL

Some stages of the design of diamond drilling rock cutting tools are faced with the problem of inaccessibility of experimental research. Modern methods of scientific knowledge make it possible to replace industrial tests with computer modeling, which has established itself in the world arena of scientific developments of various kinds.

Research objective: determination of the possibilities of using computer programming in the design of diamond drilling rock cutting tool.

Research Methods: analytical studies, analysis, computer simulation method.

Research results. In addition to the reliability and accuracy of obtained results, another advantage of computer modeling is the ability to comprehensively account for the smallest but numerous parameters, which in many respects affect the results of the designed tool.

Practical value. The resulting software allows you to automate the design process and specify many stages of the study of drilling rock cutting tool.

Key words: *drilling, rock cutting tool, destruction mechanism, diamond cutter, modeling.*

M. C. Попова

Сибірський федеральний університет, Росія

ДО ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ БУРОВОГО АЛМАЗНОГО ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Деякі етапи проектування алмазного бурового породоруйнівного інструменту стикаються з проблемою недоступності експериментального дослідження. Сучасні методи наукового пізнання дозволяють замінити промислові випробування комп'ютерним моделюванням, яке добре зарекомендувало себе на світовій арені наукових розробок різної спрямованості.

Мета досліджень: визначення можливостей застосування комп'ютерного програмування у галузі проектування бурового алмазного породоруйнівного інструменту.

Методи досліджень: аналітичні дослідження, аналіз, метод комп'ютерного моделювання.

Результати досліджень. Комп'ютерне моделювання, крім достовірності та точності отримання результатів, має перевагу можливості комплексного обліку найдрібніших, але численних параметрів, які багато в чому впливають на результати роботи спроектованого інструменту.

Практичне значення. Отримане програмне забезпечення дозволяє автоматизувати процес проектування і конкретизувати багато з етапів дослідження роботи бурового породоруйнівного інструменту.

Ключові слова: *буріння, породоруйнівний інструмент, механізм руйнування, алмазний різець, моделювання.*

Литература

1. Богданов Р.К., А.П. Загора, А.М. Исонкин и др. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте. – Екатеринбург: изд-во УГГГА, 2003. – 138 с.
2. Будюков Ю.Е., Власюк В.И., Спирин В.И. Алмазный породоразрушающий инструмент. – Тула: ИПП «Гриф и К°», 2005. – 288 с.
3. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при бурении скважин: учебное пособие. – М.: ИНФРА-М; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 336 с
4. Нескоромных В.В., Попова М.С. Разработка алмазного инструмента с применением данных компьютерного моделирования и результатов системных исследований // Инженер-нефтяник. – 2018. – № 3. – С. 18–23.
5. Соловьев Н.В., Исонкин А.М., Богданов Р.К. и др. Механизм разрушения горной породы и определение составляющих сил ее резания буровым инструментом, оснащенным алмазно-твердосплавными пластинами // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 1. – 35 с.
6. VarelInternational. Каталог продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.varelintl.com/ru/Oil-and-Gas/PDC-Drill-Bits/>.
7. Нескоромных В.В., Чихоткин А.В., Головченко А.Е., Шубенина Е.Е. Анализ влияния сил сопротивления на эффективность бурения инструментом типа PDC // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – 2020. – № 1. – С. 16–23.
8. Попова М.С. Результаты компьютерного моделирования температурного режима алмазного бурового инструмента // Инженер-нефтяник. – 2018. – № 2. – С. 23–26.
9. Попова М.С., Харитонов А.Ю. Компьютерное моделирование процессов, протекающих при бурении скважин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 12. – С. 18–27.

Поступила 08.05.20

References

1. Bogdanov, R.K., Zakora, A.P., Isonkin A.M., et al. (2003) *Sverhtverdye materialy v geologorazvedochnom instrumente [Superhard materials in an exploration tool]*. Yekaterinburg: publishing house of the UGGA [in Russian].
2. Budyukov, Yu.E., Vlasyuk, V.I., & Spirin, V.I. (2005). *Almaznyi porodorazrushaiushchii instrument [Diamond rock cutting tool]*. Tula: IPP “Vulture and K°” [in Russian].
3. Neskormnykh, V.V. (2015) *Razrushenie hornykh porod pri burenii skvazhin: Uchebnoe posobie [Destruction of rocks during drilling: The manual]*. Moscow: INFRA-M; Krasnoyarsk: SFU [in Russian].
4. Neskormnih, V.V., & Popova, M.S. (2018). *Razrabotka almaznoho instrumenta s primeneniem dannykh kompiuternoho modelirovaniia i rezultatov sistemnykh issledovaniy [Diamond tool development using computer modelling data and system reserch results]*. *Inzhener-neftiannik –Petroleum Engineer*, 3, 18–26 [in Russian].
5. Soloviev, N.V., Isonkin, A.M., Bogdanov R.K., et al. (2010) *Mekhanizm razrusheniya gornoj porody i opredelenie sostavlyayushchih sil ee rezaniya burovym instrumentom, osnashchennym almazno-tverdosplavnymi plastinami [The mechanism of rock destruction and determination of the components of its cutting forces with a drilling tool equipped with diamond carbide inserts]*. *Inzhener-neftiannik –Petroleum Engineer*, 1, 35 [in Russian].
6. Varel International. Product Catalog. (n.d.). *varelintl.com*. Retrieved from <http://www.varelintl.com/ru/Oil-and-Gas/PDC-Drill-Bits/>.
7. Neskormnykh, V.V., Chikhotkin, A.V., Golovchenko, A.E., & Shubenina, E.E. (2020) *Analiz vliyaniya sil soprotivleniya na effektivnost' bureniya instrumentom tipa PDC [Analysis of the influence of resistance forces on drilling efficiency with a PDC tool]*. *Nauchno-tehnicheskij Inzhener-neftiannik –Petroleum Engineer*, 1, 16–23 [in Russian].

8. Popova, M.S. (2018) Rezultaty kompiuternoho modelirovaniia temperaturnoho rezhima almaznogo burovoho instrumenta [The results of computer simulation of the temperature regime of a diamond drilling tool]. *Inzhener-neftiannik –Petroleum Engineer, 1*, 23–26 [in Russian].
9. Popova, M.S., & Kharitonov, A.Y. (2019) Kompiuternoe modelirovanie processov, rotakaiushchikh pri burenii skvazhin [Computer simulation of processes at well drilling]. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta – News of Tomsk Polytechnic University, Vol. 330, 12*, 18–27 [in Russian].

УДК 622.24.051, 622 .156

DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-72-78

О.С. Васильчук, аспірант; **А.Л. Майстренко**, чл.-кор. НАН України; **Г.А. Петасюк**, д-р техн. наук; **Н.О. Олійник**, **Г.Д. Ільницька**, **О.П. Виноградова**, **А.П. Загора**, кандидати технічних наук; **Г.А. Базалій**

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074, Україна, e-mail: oleyunik_nonna@ukr.net*

РОЗПОДІЛЕННЯ ЧАСТИНОК ЗА РОЗМІРАМИ ТА МАГНІТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛАМУ, ЯКИЙ ОТРИМУЮТЬ ПРИ ОБРОБЦІ ПІСКОВИКУ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ З КАМ НА МЕТАЛЕВИХ ЗВ'ЯЗКАХ

Наведено результати дослідження шламу обробки пісковика Торезького родовища експериментальними функціональними елементами з КАМ (композиційними алмазовмісними матеріалами) на основі матеріалу Ni(94%)-Sn(6%), оснащеного порошком синтетичного алмазу. КАМ виготовлені методом інтенсивного резистивного електроспікання під тиском 300 МПа. Встановлено, що розміри частинок та інтервал розподілення частинок шламу за розмірами, які встановлено з використанням приладу DialInspect.OSM фірми VOLLSTÄDT DIAMANT GmbH, зменшуються при збільшенні інтенсивності зношування з 75 до 170 мг/км. Більше за 90 % кількості частинок шламу розподіляється в інтервалі розмірів 12–90 мкм. Питома магнітна сприйнятливості складових шламу дорівнює: пісковика Торезького родовища – $2,36 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, алмазного порошку марки АС 200 зернистості 400/315 – $8,4 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, металовмісних складових функціональних елементів з КАМ – $(9000–10000) \cdot 10^{-8}$ м³/кг. Величина питомої магнітної сприйнятливості залежить від інтенсивності зношування функціональних елементів з КАМ. Зростання інтенсивності зношування функціональних елементів з 75 до 170 мг/км призводить до зростання питомої магнітної сприйнятливості шламу у 2 рази, магнітної фракції – в 1,5 рази, вмісту магнітної фракції – в 1,8 рази.

Ключові слова: функціональні елементи з КАМ, інтенсивність зношування, шлам, питома магнітна сприйнятливості

Ефективність роботи породоруйнівного алмазовмісного інструменту з використанням композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ) в умовах екстремального термосилового навантаження забезпечується використанням високоміцних термостійких алмазних порошоків і відповідних зв'язок КАМ [1]. Для створення нового інструменту або його вдосконалення необхідні встановлення механізмів зношування КАМ на металевих зв'язках при руйнуванні гірських порід та розрахунок енергетичних затрат при різних умовах роботи.

Дослідження шламу, який утворюється в процесі руйнування або обробки гірської породи, вивчення розподілення за розмірами його частинок та магнітно-фракційного складу може дати необхідну інформацію.