

УДК 622.24

ДИНАМИКА РАБОТЫ РЕЗЦОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ИНСТРУМЕНТАМИ РЕЖУЩЕ-СКАЛЫВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ТИПА PDC

К.И. Борисов

Томский политехнический университет

E-mail: kibor@tomline.ru

Рассмотрены вопросы кинематические аспекты работы режущих элементов современных породоразрушающих инструментов типа PDC в процессе их динамического взаимодействия с разрушаемой горной породой. На основе экспериментальных исследований и анализа установлено значимое различие условий работы резцов долот PDC на разных сегментах корпуса инструмента, негативно влияющих на результаты бурения скважины. Сформулирован ряд предложений для оптимизации, как размещения режущих элементов в корпусах долот, так и их размерных характеристик.

Ключевые слова:

Долото, PDC, динамическая плоскость резания, геометрические, размерные характеристики резцов; линейная скорость групп резцов долота, периферийные, внутренние резцы.

Key words:

Drill bit, PDC, a dynamic plane of cutting; geometrical, dimensional characteristics of cutters; linear speed of groups of cutters of a bit; peripheral, internal cutters.

В целом ряде работ автора [1–3] содержатся материалы, посвященные фундаментальным аспектам оценки динамических процессов и характеристик разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия (РСД) типа PDC (Polycrystalline Diamond Compact) с алмазно-твердосплавными пластинами класса Stratapax™, все более широко используемыми в настоящее время при бурении геологоразведочных, а также нефтяных и газовых скважин.

Важным направлением развития научной базы о процессах разрушения горных пород инструментами РСД является изучение условий работы породоразрушающих элементов – резцов, функционирующих в составе единого комплекса долота. Наиболее интересными современными работами в этом направлении являются труды ученых Южно-Российского государственного технического университета [4, 5], в которых авторы утверждают о значимом различии условий работы периферийных и внутренних резцов долот с алмазно-твердосплавным вооружением. Представляется целесообразным проведение исследований по развитию актуальных аспектов этой проблемы.

Экспериментальной базой таких исследований стала предложенная автором новая научная методика и универсальная установка УМР, моделирующая переходный и установившийся режимы динамического резания горных пород. Методика и элементы ее технической реализации, подробно изложенные в работах автора, позволяют не только экспериментально моделировать процесс работы единичного режущего элемента, но и регистрировать силовую и энергетическую картину процесса резания слоя горной породы различных размеров (глубин) [6–8].

В качестве образцов для исследований методикой предусмотрено использование обычного, специально не подготовленного, скважинного керна нефтегазовых и угольных месторождений Западной Сибири.

Общеизвестно, и не подвергается сомнению, что в процессе резания (резания-скалывания) горных пород долотами типа PDC, нагруженными постоянной силой G и вращающим моментом M , каждый резец перемещается по собственной траектории в форме пространственной спирали с углом α , но с одинаковым для всех резцов шагом, равным углубке долота за один оборот – δ (рис. 1).

При этом путь резцов в процессе перемещения вдоль наклонной плоскости резания горной породы за один оборот долота, располагающихся на периферийном (внешнем) сегменте корпуса инструмента, значительно превышает путь «внутренних» резцов. Для современных инструментов, к примеру, диаметром 215,9 мм – более чем в 4 раза (рис. 2).

Следовательно, такие показатели, как работа разрушения и износа резцов на различных сегментах корпуса долота, будут также значительно отличаться. Не случайно, некоторые исследователи [4] предлагают для снижения пути резания и износа внешних резцов специальные конструкции породоразрушающего инструмента с отдельно вращающимися периферийными и внутренними частями.

Кроме того, в определенной степени будут проявляться различия и других показателей взаимодействия периферийных и внутренних резцов с разрушаемой горной породой: скорости линейного перемещения и интенсивности вертикального перемещения (динамического внедрения) резцов.

При вращении долота время, затраченное на один оборот и для внешних и для внутренних резцов долота будет одинаковым. Однако их линейная скорость перемещения резцов вдоль динамической плоскости резания горной породы значительно отличается (рис. 3). Это отличие для долот диаметром 215,9 мм составляет до 400 %. Очевидно, что силовые и энергетические характеристики процесса резания для резцов различных сегментов долота будут также значительно отличаться.

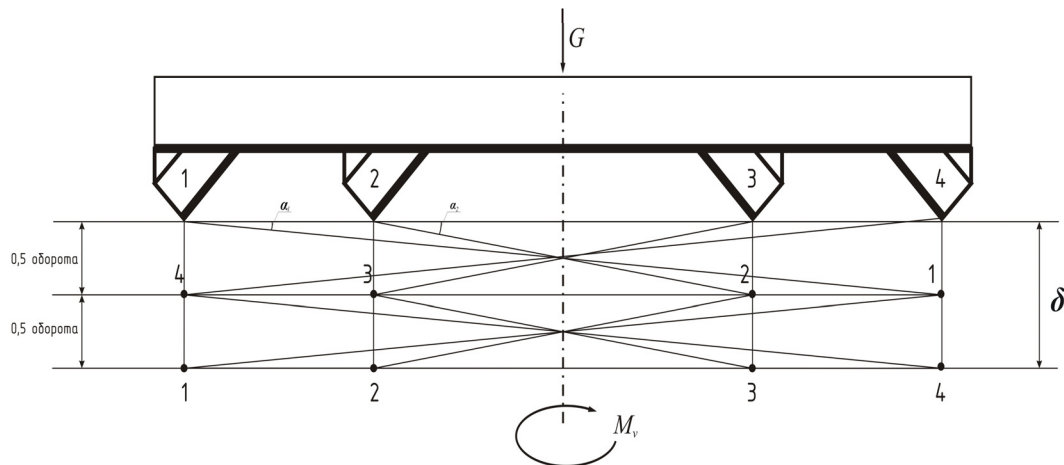


Рис. 1. Схема перемещения резцов долота PDC: 1–4 – резцы типа *Stratapax*TM, закрепленные в корпусе долота; G – осевая нагрузка на долото; M_v – крутящий момент на долоте; δ – углубление инструмента за оборот; α_i – углы наклона траектории заглупления резцов

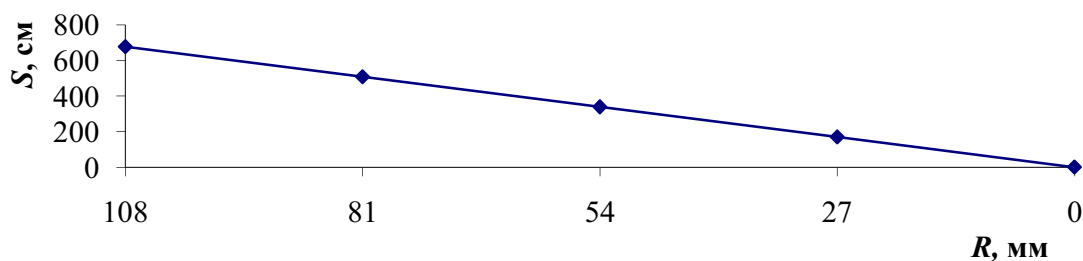


Рис. 2. Зависимость «пути износа» резца S от расстояния его размещения от оси вращения долота R диаметром 215,9 мм

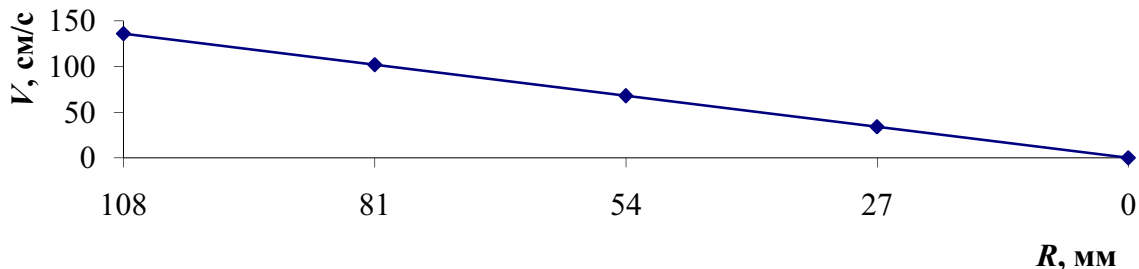


Рис. 3. Зависимость линейной скорости перемещения резца V от расстояния его размещения от оси вращения долота R , (частота вращения долота 120 об/мин)

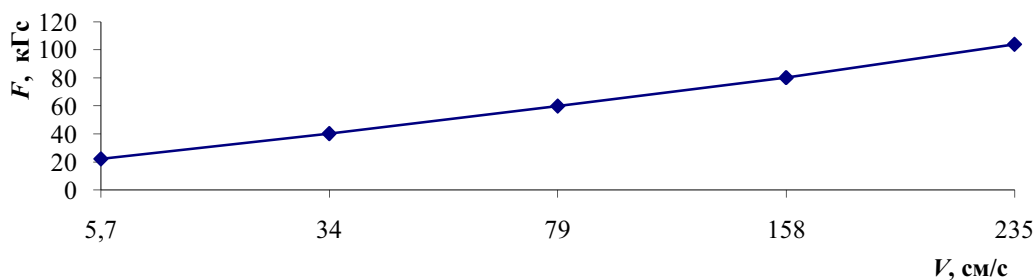


Рис. 4. Влияние линейной скорости перемещения резца V на сопротивление породы разрушению при резании F

Для подтверждения этого предположения были проведены исследования по методике «жестко фиксированными резцами» [6], которые показали, что сила сопротивления внедрению резцов в горную породу, внешних резцов долота, значительно превышает аналогичный показатель для «внутренних» резцов (рис. 4).

Следовательно, несмотря на несколько другие условия осевого нагружения реального инструмента PDC (действует осевая нагрузка постоянной величины) контактные давления, возникающие на периферийных резцах долота, будут значительно выше, чем у «внутренних» резцов. Таким образом, эффект скоростного «упрочнения» разрушаемой

периферийными резцами горной породы, будет негативно влиять, как на процессы их абразивного изнашивания, так и на величину срезаемого (скальваемого) долотом слоя горной породы за один оборот. Авторы [5] подтверждают, что механическая скорость бурения долотом типа PDC под действием неизменной нагрузки G не меняется с увеличением частоты вращения долота. К подобным выводам ранее пришел автор [7] при исследовании работы твердосплавных инструментов типа РСД. Иными словами, эффект увеличения механической работы разрушения горных пород с повышением интенсивности вращения ПРИ, «поглощается» эффектом снижения средней величины снимаемого за оборот слоя разрушаемой породы – «выталкивание долота». Этот процесс в большей степени основан на возрастании роли «выталкивания» более нагруженных периферийных резцов долота буримой горной породой на более высоких частотах вращения инструмента. Пути снижения негативного влияния эффектов, связанных со значительным различием условий эксплуатации резцов, расположенных на разных «радиусах» корпуса долота, целесообразно искать в вариантах оптимизации конструкции породоразрушающих инструментов типа PDC:

- геометрических параметров резцов и их размещения в корпусе;
- систематизации размерных характеристик «вооружения» долота; в частности, предлагается использовать критерий «формирования и поддержания одинаковых контактных нагрузок на всех сегментах размещения резцов в корпусе долота» за счет направленного варьирования их размеров;
- разделении корпуса ПРИ на относительно независимые элементы с собственными системами «вооружения» резцами; данный вопрос требует отдельного изучения и более полных исследований процесса.

Кроме этого, важен постоянный поиск рационального сочетания технологических режимов эксплуатации долот режуще-скалывающего действия, позволяющих минимизировать негативные эффекты от различий в условиях работы периферийных и внутренних резцов, жестко закрепленных в едином корпусе инструмента.

Обратимся, в частности, к другой важной стороне кинематики движения резцов долота РСД. Углы наклона собственных пространственных спи-

ралей, по которым перемещаются резцы ПРИ на различных радиусах вращения α_i , имеют различные значения. Интенсивность заглупления «внутренних» резцов значительно выше, чем у «внешних» (рис. 5). Это обусловлено тем, что при одинаковом шаге спирали траектории – проходке за оборот долота, – путь, проделываемый «внешними» резцами за один оборот, значительно больше, чем внутренними. Таким образом, констатируем факт, что угол наклона плоскости резания для резцов, находящихся на различных радиусах резания горной породы, значительно отличается. Это приводит к тому, что фактические углы резания (передний и задний) периферийных резцов значительно отличаются от углов резания внутренних резцов, а, следовательно, и различаются условия работы данных групп резцов. К примеру, если на периферии динамический передний угол у резцов будет соответствовать примерно 93° при угле наклона траектории в $2...3^\circ$, то на расстоянии «внутреннего» резца от оси в 0,1 радиуса долота (рис. 5), фактический угол резания относительно динамической плоскости резания составит примерно 145° .

Такое различие динамики геометрических характеристик процесса резания в зависимости от размещения резцов в долоте PDC негативно сказывается на суммарном эффекте работы инструмента.

Исследования ВНИИБТ под руководством А.М. Гусмана [9] подтверждают, что важной причиной неэффективной работы долот с АТП является неправильная установка резцов АТП по отрицательному углу атаки в традиционных долотах PDC.

Для приведения условий работы различных групп резцов в одинаковые условия по отношению к динамической плоскости резания горной породы необходимо системно изменять геометрию их размещения в корпусе долота по мере уменьшения радиуса вращения. Критерием оптимальности геометрии установки резцов в корпусе долота PDC на периферийных и внутренних венцах предлагается считать характеристику «идентичности значений угла резания α_i для всех групп резцов долота относительно динамической плоскости резания».

Выводы

1. В рамках нового научного направления оценки динамических прочностных свойств и эффективности разрушения горных пород резанием при бурении скважин детально исследовано влияние кинематики на динамический процесс

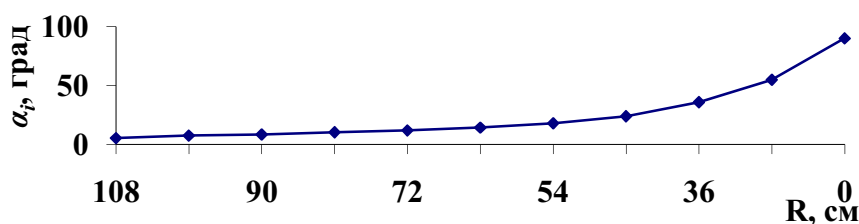


Рис. 5. Изменение угла наклона траектории резца α_i для различных расстояний их размещения от оси вращения долота R

- разрушения пород инструментом режуще-скалывающего действия с алмазно-твердосплавными пластинами типа Strataпах™.
2. Установлено, что в процессе работы долота режуще-скалывающего действия динамическая твердость периферийных участков горной породы линейно возрастает по сравнению твердостью пород внутренних участков забоя. Вследствие этого контактные нагрузки периферийных и внутренних резцов, жестко закрепленных в едином корпусе долота, значительно различаются. Для приведения текущих контактных нагрузок для резцов различных сегментов корпуса долота к одинаковым значениям предлагается использовать резцы определенного размерного ряда.
 3. Отмечено, что для поддержания одинаковых условий работы различных групп резцов на разных радиусах вращения необходимо системно изменять геометрию их размещения в корпусе долота по отношению к динамической плоскости резания горной породы. Критерием оптимальности углов установки резцов в корпусе долота PDC на периферийных и внутренних венцах предложено считать характеристику «идентичности значений угла резания α_i относительно динамической плоскости резания для всех групп резцов долота».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов К.И. Методика оценки эффективности процесса динамического резания горных пород инструментами режуще-скалывающего действия // Нефтяное хозяйство. — 2008. — № 11. — С. 112–113.
2. Борисов К.И. Основные положения научной методики оценки процесса динамического резания горных пород при бурении скважин // Минерально-сырьевая база Сибири: история становления и перспективы: Матер. научно-практ. конф. — г. Томск, март 2009. — Томск, 2009. — Т. 1. — С. 38–40.
3. Борисов К.И. Методика оценки динамических прочностных свойств горных пород и эффективности процесса разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия // Бурение и нефть. — 2008. — № 1. — С. 24–27.
4. Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Е. Научные основы создания многоярусных буровых долот режущего типа для бурения нефтяных и газовых скважин // Проблемы геологии и освоения недр юга России: Труды Междунар. конф. — г. Азов, 2006. — Ростов на Дону, 2006. — С. 176–178.
5. Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Е. Исследование подачи и модуля скорости при вращательном бурении горных пород // Интервал. — 2006. — № 2. — С. 25–27.
6. Борисов К.И. Экспериментальная количественная оценка силовых характеристик резания горных пород // Известия Томского политехнического университета. — 2002. — Т. 305. — № 8. — С. 216–219.
7. Борисов К.И. Влияние скорости движения породоразрушающих элементов на величину сил резания // Механика горных пород при бурении: Труды научно-практ. конф. — пос. Агой, 1986. — Грозный, 1986. — С. 47–49.
8. Борисов К.И. Исследование работы коронок режуще-скалывающего действия с целью повышения эффективности их применения при бурении геологоразведочных скважин: дис. ... канд. техн. наук. — Томск, 1981. — 206 с.
9. Гусман А.М. Пути создания эффективных долот PDC для бурения крепких пород // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. — 2000. — № 1. — С. 28–32.

Поступила 25.05.2010 г.