

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ БУРЕНИИ ИНСТРУМЕНТОМ, ОСНАЩЕННЫМ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ВСТАВКАМИ**

*Корнеев П.А., Корнеев В.А.*

*Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк*

**Ключевые слова:** горная порода, резец, разрушение, усилие, внедрение, лезвие.

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию взаимодействия резца с горной породой в процессе ее бурения. Приведены и описаны схемы взаимодействия резца с породой при ее бурении, предложенные разными исследователями.

## **FEATURES OF THE PROCESS OF DESTRUCTION OF A COAL MASSIF DURING ROTATIVE DRILLING WITH A TOOL EQUIPPED WITH A SOLID INSERT**

*Korneyev P.A., Korneyev V.A.*

*Siberian state industrial university, Novokuznetsk*

**Keywords:** rock, cutter, destruction, feed, introduction, blade.

**Abstract.** The article is devoted to the study of the interaction of the tool with the rock during its drilling. The schemes of interaction of the tool with the rock during its drilling, proposed by different researchers, are given and described.

Представления о механизме разрушения горных пород при бурении вращательным способом менялись и уточнялись в течение длительного времени по мере накопления результатов наблюдений.

Первые попытки описания механизма разрушения горных пород в процессе вращательного бурения были сделаны в начале 20-го века В.А. Гуськовым. В основе этого описания лежало большое число допущений и проводилось оно в полной аналогии с резанием пластичных металлов. Стоит отметить, что при резании пластичных металлов их разрушение в основном происходит в результате пластических деформаций, а в процессе резания горных пород пластические деформации незначительны, следовательно, выше упомянутую попытку описания механизма разрушения можно рассматривать только как первое приближение [1].

Значительный этап в развитии теории резания горных пород ознаменован работами М.И. Слободкина и М.М. Протодьяконова [2]. В вышедшей в 1946 году монографии М.И. Слободкина рассмотрена аналитическая теория резания угля. Эта монография вызвала большую

дискуссию в среде ученых и практиков, чем способствовало дальнейшему развитию теории резания пород и вращательного бурения.

Схема взаимодействия резца с горной породой по данным М.И. Слободкина приведена на рисунке 1. В процессе разрушения горной породы резцом происходит отделение от пласта элемента  $OAA'$  по трем плоскостям скалывания, две из которых являются продолжением боковых плоскостей резца, а третья –  $I-I$ , наклонена под углом скалывания  $\omega$  к направлению движения резца  $aa$  [2].

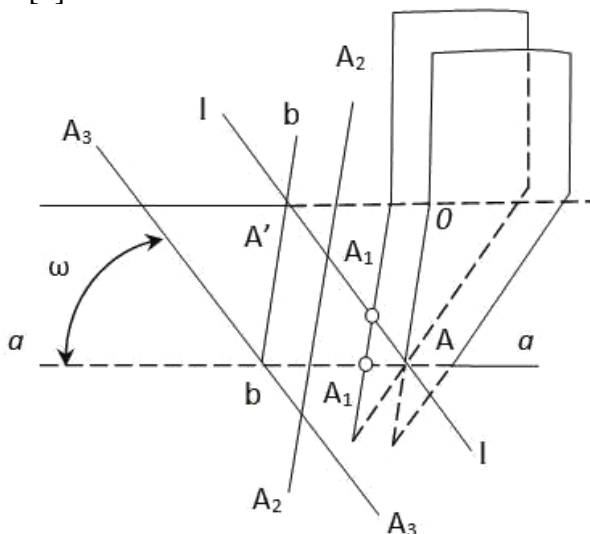


Рис. 1. Схема взаимодействия резца с породой по М.И. Слободкину

Перед тем как передняя поверхность резца займет положение  $bb$  и произойдет следующее скалывание по плоскости  $A_3A_3$ , движение резца может происходить с дроблением мелких частиц по плоскостям  $A_1A_1$  и  $A_2A_2$ . При положении передней поверхности бурового резца по плоскостям  $A_1A_1$  и  $A_2A_2$  возможно скалывание по трем плоскостям. По утверждению М.И. Слободкина, угол  $\omega$  может быть принят постоянным и равным  $45^\circ$ , а величины усилий, воздействующих на резец, и полную работу, можно определять, при рассмотрении угла как изотропного тела, подчиняющегося законам теории упругости [2].

В дальнейшем исследования показали, что процесс разрушения горных пород более сложен. Необходимо производить учет многих дополнительных факторов, определяющих влияние на процесс разрушения горной породы, как ее свойств, так и качества рабочего инструмента [2].

Е.Ф. Эпштейном [3] рассматривалось статическое равновесие бурового резца под действием приложенных к нему осевого усилия  $P_n$  и усилия резания  $P_r$  и сил сопротивления горной породы (рис. 2). Для оценки сопротивляемости горных пород бурению были введены специальные параметры  $R_z$  и  $k_s$ , названные критическими напряжениями при внедрении и скалывании. По утверждению Е.Ф.Эпштейна, величины  $R_z$  и  $k_s$  необходимо определять экспериментальным путем при учете геометрических параметров резца.

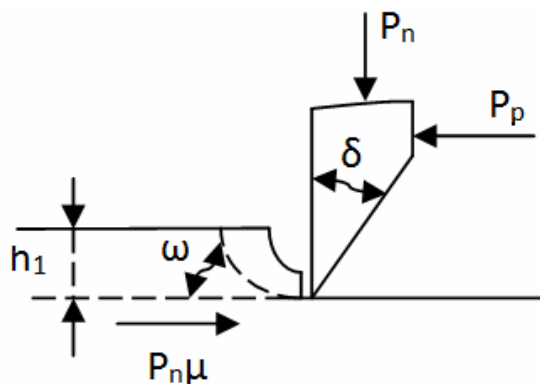


Рис. 2. Схема взаимодействия реза с породой по Е.Ф. Эпштейну

Угол скалывания частиц горной породы  $\omega$  был принят постоянным и равным  $20^\circ$  [3].

На рисунке 2 так же обозначены:  $\mu$  – коэффициент трения реза о горную породу;  $h_1$  – толщина стружки;  $\delta$  – угол приострения реза.

Среди ученых и практиков стоит выделить Л.А. Шрейнера [4] введшего уточнение в оценку сопротивляемости горных пород разрушению при бурении. Обоснованная им твердость породы на вдавливание штампа  $r_{ш}$ , оказалось более универсальным параметром, в отличие от критических напряжений при внедрении и скалывании  $R_z$  и  $k_s$ , поскольку определение твердости не связано с необходимостью учитывать геометрические параметры конкретного реза. Характер внедрения реза в горную породу Л.А. Шрейнер представил как многократное скачкообразное углубление с характерным скачкообразным изменением значений усилий (рис. 3).

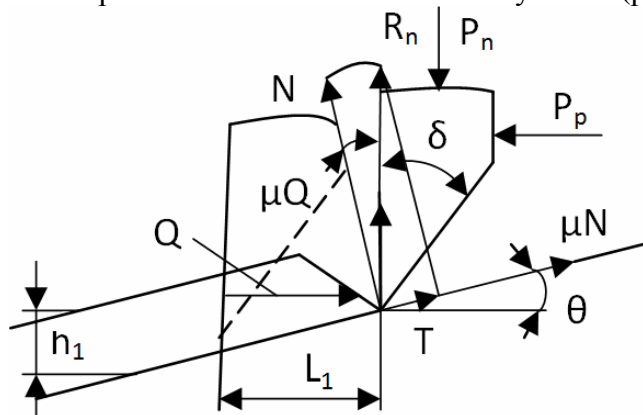


Рис. 3. Схема взаимодействия реза с породой по Л.А. Шрейнеру

По утверждению Л.А. Шрейнера [4], среднюю величину углубления бурового реза  $h_1$ , можно представить в виде результата нескольких углублений на величину  $h_0$ . При анализе процесса разрушения, Л.А. Шрейнером учитывался угол уклона линии резания и вводится понятие шага скалывания  $L_1$ . Так же им предлагалось учитывать угол скалывания в большем диапазоне  $\omega=30\div 35^\circ$ .

На рисунке 3 так же обозначены:  $Q$  – сила сопротивления срезу;  $N$  – нормальная составляющая реакции забоя;  $T$  – тангенциальная составляющая реакции забоя;  $\theta$  – угол уклона линии резания.

По мнению Г.Н. Покровского [2], при изучении вращательного бурения пород невозможно учитывать следующие явления: проявление фактора времени и масштабного эффекта; действия на буровой резец двух пар сил, вызванных равнодействующей сил скалывания и равнодействующей сил трения, которые приложены в разных точках лезвия. Ввиду этого он считал целесообразным производить описания основных закономерностей бурения при помощи эмпирических зависимостей.

Основываясь на проведенных исследованиях по резанию горных пород на токарном станке Г.Н. Покровским [2] были сделаны выводы: элементы скалывания стабильно повторяются по направлению, как вдоль линии резания, так и по радиусу шпура; образование элементов скалывания иногда происходит одновременно по всей длине лезвия; отделяемые элементы могут складываться ниже плоскости резания; угол скалывания  $\omega = 18 \div 25^\circ$ ; шаг скалывания  $L_1$  и длину элемента скалывания  $L_2$  можно выразить через среднюю толщину стружки  $h_1$  как  $L_1 = (1 \div 3) \cdot h_1$  и  $L_2 = (2 \div 6) \cdot h_1$ , т.е.  $L_2 = 2L_1$  (рис. 4).

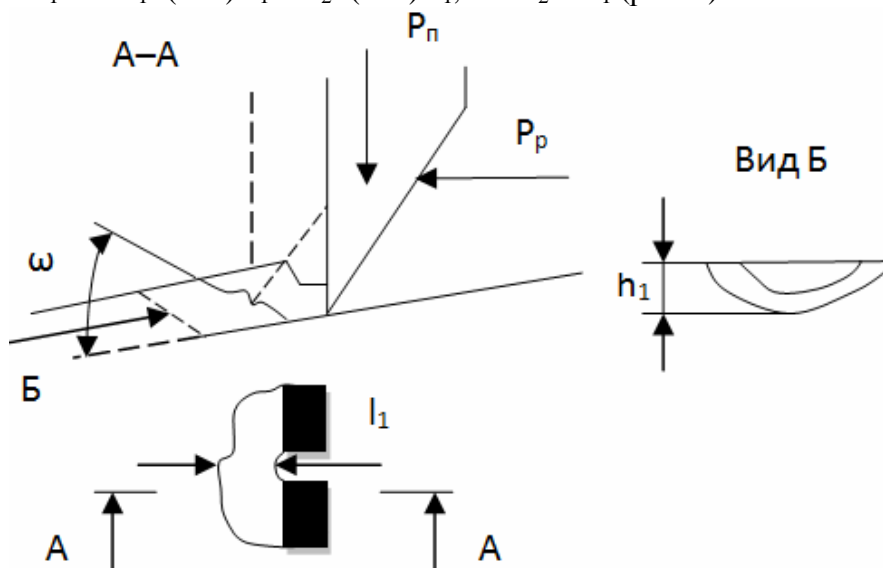


Рис. 4. Схема взаимодействия резца с породой по Г.Н. Покровскому

О.Д. Алимовым и Л.Т. Дворниковым в своих исследованиях [2] было установлено, что основным элементом при изучении процесса вращательного бурения является представление о начале каждого разрушения как о пластическом деформировании и уплотнении горной породы перед буровым резцом. Неравномерность осевых нагрузок и крутящих моментов, действующих на лезвия инструмента в процессе бурения вызвано периодичностью скалывания элементов стружки перед передней гранью резца. Чем больше колебания величин моментов, тем значительнее глубина снимаемой стружки и выше крепость разрушаемой горной породы.

Стоит отметить, что скалывание частиц породы происходит не одновременно и не всегда по всей длине лезвия резца. Неоднородность скалывания на разных лезвиях ведет к неустойчивости резца в забое шпура и миграции его оси вращения. Все это приводит к нарушению цилиндрической формы шпура [2].

В.И. Гетопановым [5] при проведении исследований вращательного бурения горных пород было введено понятие уплотненного ядра перед передней гранью лезвия резца. Это ядро работает подобно клину и вызывает как отрыв частиц горной породы, так и формирование осевого усилия (рис. 5).

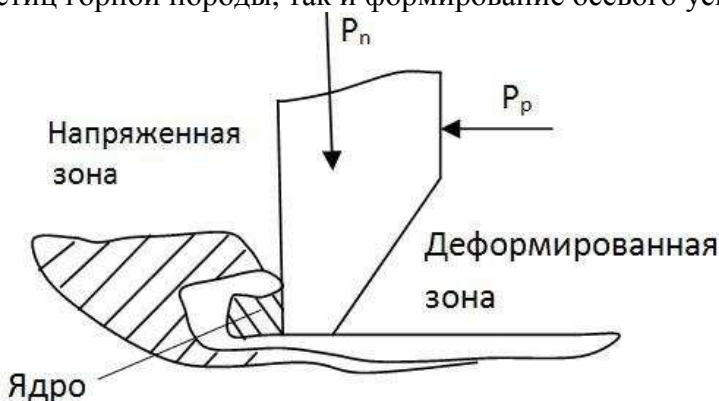


Рис. 5. Схема взаимодействия резца с породой по В.И. Гетопанову

По мнению П.С. Кучерова [2], ядро перед передней гранью резца постоянно обновляется, ввиду этого нет причин для образования нароста. В процессе вращательного бурения резец подминает горную породу на глубину  $\lambda$ , которая включает в себя упругую  $\lambda_{упр}$  и остаточную  $\lambda_{ост}$  части (рис. 6).

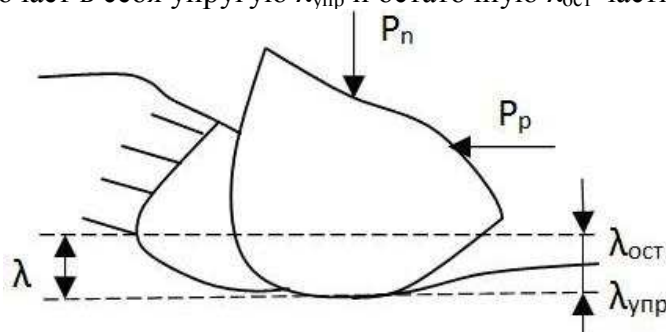


Рис. 6. Схема взаимодействия резца с породой по П.С. Кучерову

По мнению М.Г. Крапивина [6] при вращательном бурении с малыми удельными подачами резца (2-3 мм), пылевидное ядро или не образуется совсем, или его роль не существенна. Им были получены полуэмпирические зависимости без учета угла уклона линии резания и разницы в коэффициентах трения по передней и торцевой граням бурового резца с постоянным углом скалывания  $\omega=25^\circ$ . Для проведения оценки свойств горных пород М.Г. Крапивинным была введена специальная характеристика, заключающаяся в сопротивлении породы дроблению, которая определяется экспериментально.

В работе А.Ф. Суханова и Б.Н. Кутузова рассматривается формирование усилия резания на резце, которое происходит без существенного его продвижения. Далее, после скалывания, возможно ускорение движения лезвия резца и удар в породу. Исследователями Карагандинского политехнического института уделено внимание добавочным усилиям, образующимися в процессе износа резца. При проведении исследований было установлено, что износ бурового резца влечет за собой существенное изменение переднего угла резания [2].

В исследовании процесса разрушения горной породы проведенным Ф.И. Кучерявым [2] с использованием киносъёмки, было наглядно показано образование скалываемого элемента и последующее его отделение от массива. Это способствует образованию неизбежных колебаний нагрузки на лезвиях бурового резца. Кадры киносъёмки приведены на рисунке 8.

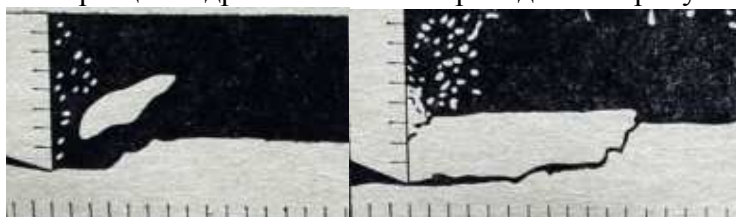


Рис. 8. Процесс отделения стружки

Н.Н. Буренковым [7] было выявлено, что на процесс вращательного бурения оказывают влияние продольные и крутильные колебания, передающиеся от бурильной машины и буровой штанги. В виду этого толщина стружки, срезаемая режущей кромкой резца, является переменной величиной и определяется как разность между текущим положением точек забоя и предыдущим.

В исследованиях проведенных С.Г. Мирным [8] было установлено, что с увеличением частоты вращения резца происходит уменьшение толщины слоя горной породы нарушенного трещинами под торцевой площадкой на 25-30 % практически по линейной закономерности. В конечном итоге это влечет увеличение энергоёмкости бурения, а так же снижение его скорости. Этот недостаток С.Г. Мирный предлагает устранить при корректировке частоты вращения буровой штанги в зависимости от текущего состояния системы «резец-забой».

Анализируя выше приведенные исследования, процесс вращательного бурения углеродного массива можно представить в следующем виде [2]. При соприкосновении с забоем буровой резец (рис. 9) под действием на него осевого усилия внедряется в породный массив на некоторую глубину  $h_0$ . В процессе вращения резца с осевой подачей возрастает сопротивление перед его передней гранью, что приводит к упругой деформации буровой штанги и резца и замедлению его движения. Ввиду накопившихся потенциальных сил в упругой системе, а так же возросшего крутящего момента привода, происходит скол частиц породы по всей длине лезвия или по его части. После

скола буровой резец приобретает угловую скорость из-за упругого раскручивания системы штанга-резец, и происходит его перемещение из положения 1' в положение 2 на величину  $L$ .

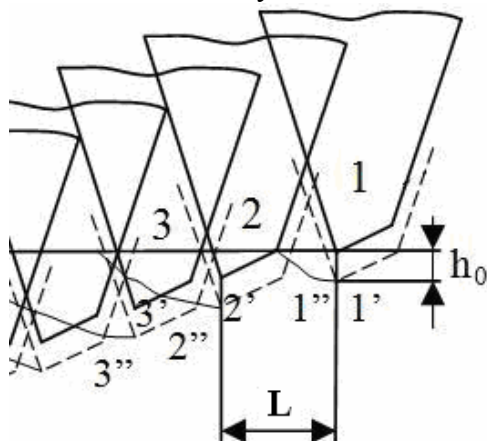


Рис. 9. Фрагмент развертки шпура

При следующем внедрении резца на величину  $h_0$  он меняет свое положение из 2 в 2'. Глубина его внедрения  $h_0$  зависит от геометрических параметров рабочего инструмента, сопротивления породы при внедрении и осевого усилия. С дальнейшим его внедрением происходит возрастание усилия резания до следующего крупного скола по линии 2". Далее буровой резец примет положение 3, смяв перед собой неровности забоя. После увеличения на него осевой силы, он внедрится на величину  $h_0$  и окажется в положении 3'. В дальнейшем разрушение горной породы происходит по линии 3" [2].

Выше приведенные описания различных исследователей процесса разрушения углепородного массива, обобщенные авторами настоящей статьи, будут использованы при формировании диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук в области исследования горного инструмента.

#### Список литературы

1. Берон А.И. Резание угля / А.И. Берон, А.С. Казанский, Б.М. Лейбов, Е.З. Позин. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 439 с.
2. Алимов О.Д. Бурильные машины / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников. – М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
3. Эпштейн Е.Ф. Теория бурения – резания горных пород твердыми сплавами. – Л.: ГОНТИ, 1939. – 180 с.
4. Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород. – М.-Л.: Гостоптехиздат, 1950. – 212 с.
5. Гетопанов В.И. О природе осевого усилия на резце при вращательном бурении // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1962. – № 3. – С. 89-94.
6. Михайлов В.Г. Горные инструменты / В.Г. Михайлов, М.Г. Крапивин. – М.: Недра, 1970. – 216 с.
7. Буренков Н.Н. Совершенствование инструмента и разработка устройства по его замене с целью повышения производительности самоходных бурильных установок: дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1986. – 289 с.

8. Мирный С.Г. Обоснование и выбор рациональной частоты вращения штанги машин для сверления шпуров в породах повышенной крепости и абразивности: дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2005. – 142 с.

### References

1. Beron A.I. Coal cutting / A.I. Beron, A.S. Kazanskiy, B.M. Leybov, E.Z. Pozin. – M.: Gosgortehizdat, 1962. – 439 p.
2. Alimov O.D. Boring machines / O.D. Alimov, L.T. Dvornikov. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 295 p.
3. Epshteyn E.F. Theory of drilling – cutting rocks with hard alloys. – L.: GONTI, 1939. – 180 p.
4. Shreyner L.A. Physical fundamentals of rock mechanics. – M.-L.: Gostoptehizdat, 1950. – 212 p.
5. Getopanov V.I. On the nature of axial force on the tool during rotary drilling // University news. Mining journal. – 1962. – № 3. – P. 89-94.
6. Mihaylov V.G. Mining tools / V.G. Mihaylov, M.G. Krapivin. – M.: Nedra, 1970. – 216 p.
7. Burenkov N.N. Improving the tool and developing a device for replacing it to improve the performance of self-propelled drilling rigs: diss. ... cand. techn. sciences. – Novocherkassk, 1986. – 289 p.
8. Mirniy S.G. Substantiation and selection of a rational frequency of rotation of the rod of machines for drilling holes in rocks of increased strength and abrasivity: diss. ... cand. techn. sciences. – Novocherkassk, 2005. – 142 p.

#### *Сведения об авторах:*

#### *Information about authors:*

<b>Корнеев Петр Александрович</b> – заведующий лабораторией кафедры геотехнологии, <a href="mailto:pustelli@mail.ru">pustelli@mail.ru</a>	<b>Korneyev Piotr Aleksandrovich</b> – head of the laboratory of the department of geotechnology, <a href="mailto:pustelli@mail.ru">pustelli@mail.ru</a>
<b>Корнеев Виктор Александрович</b> – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией кафедры прикладных информационных технологий и программирования	<b>Korneyev Victor Aleksandrovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, head of the laboratory of the department of applied information technology and programming
Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк, Россия	Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia

*Получена 26.06.2019*