

С.А. Лавренко, И.С. Труфанова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ КЕМБРИЙСКИХ ГЛИН РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Рассматривается процесс разрушения массива кембрийских глин исполнительными органами проходческих комплексов для нахождения оптимальных режимных параметров их работы и предлагается режущее-испытательный стенд для экспериментальных исследований процесса резания одиночным резцом.

Ключевые слова: резец, разрушение, кембрийская глина, исполнительный орган.

Для проверки результатов теоретических исследований, выполненных в программной среде ANSYS, необходимо провести экспериментальные исследования процесса резания образцов кембрийской глины. Воссоздание реального процесса резания возможно при использовании лабораторного стенда с полноразмерным резцом.

С учетом этого были сформулированы следующие основные требования к проектируемой стендовой установке:

- конструкция стенда должна включать сменные резцы и силовой привод, обеспечивающий перемещение резца;
- комплекс измерительной аппаратуры должен состоять из поверенных приборов, обеспечивающих регистрацию, обработку и запись информации об основных показателях процесса резания: силы резания, скорости движения резца, длины реза;
- резание необходимо осуществлять на образце кембрийской глины с сохранением ее структуры;

Эффективность исполнительных органов (ИО) горных машин рассматривается в зависимости от свойств разрушаемого массива в зоне взаимодействия исполнительного органа с забоем. Исследования проводятся с целью увеличения интенсификации

процесса разрушения кембрийских глин резанием, определения основных закономерностей процесса и анализа силовых и энергетических показателей для снижения энергоемкости разрушения глин и увеличения темпов проходки выработок метро, а также повышения устойчивости технологического процесса и безопасности ведения проходческих работ при возрастающих нагрузках на забой при резании.

Общие положения методики исследований

Изучение процесса разрушения глин одиночным резцом планируется осуществлять экспериментально-статистическим методом исследований [1]. Данный метод апробирован, проверен и является наиболее эффективным при разработке инженерных методик расчета резания горных пород и углей [2].

Данный метод предусматривает проведение ряда экспериментальных исследований с использованием полноразмерной физической модели процесса разрушения образцов кембрийской глины одиночным резцом. При исследованиях на физической модели есть возможность изменять глубину внедрения резца в породу, что не всегда возможно при проведении экспериментальных исследований в условиях

шахты и нет ограничений в использовании вычислительной аппаратуры.

При проведении экспериментальных исследований процесс резания приводился к стационарному процессу заданием постоянной величины заглубления реза в породу h .

Оценка близости процесса к стационарности производилась также по плотности распределения вероятности значений сил резания.

Необходимая доверительная вероятность результатов экспериментов принята равной 0,95, при относительной погрешности результатов измерений на уровне 0,05 [3].

Стенд для исследования процесса резания кембрийских глин

В соответствии с требованиями, сформулированными ранее, была спроектирована и изготовлена оснастка (стол с зажимным устройством для закрепления образца разрушаемой по-

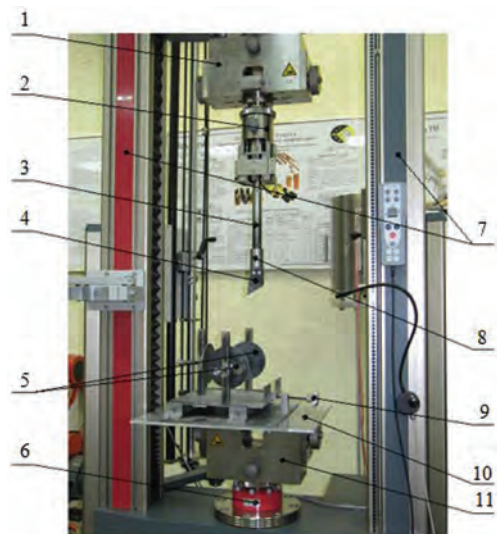


Рис. 1. Стенд для исследования процесса резания кембрийской глины одиночным резцом: 1 – подвижная траверса; 2 – подвесной захват; 3 – штанга; 4 – резец; 5 – зажимы; 6 – датчик силы; 7 – направляющие профили; 8 – резцедержатель; 9 – винт-регулятор; 10 – стол с зажимным устройством для закрепления образца кембрийской глины; 11 – неподвижная траверса

роды, резцедержатель и комплект резцов для универсальной испытательной машины Zwick/Roell Z100 (рис. 1), что позволило проводить исследования процесса резания различных горных пород, в том числе кембрийских глин.

Стенд является физической моделью процесса разрушения массива кембрийской глины одиночным резцом и позволяет исследовать силовые, энергетические показатели процесса резания и параметры элементарных сколов.

Датчик силы преобразует физическую величину усилия в электрически измеряемое напряжение. Он состоит из механического деформационного корпуса с наклеенными тензорезисторами (DMS). DMS представляют собой зависимые от деформации электрические резисторы, они подключены к измерительному мосту. Значение измеренного напряжения на выходе мостовой схемы аналогично измеряемому усилию, которое влияет на деформационный корпус и на всю систему датчика.

Датчик силы предназначен для измерения статических и динамических усилий при растяжении и сжатии. Его следует устанавливать в направлении оси и можно использовать только до заданного номинального усилия.

Методика экспериментальных исследований процесса разрушения кембрийских глин резанием

Исходные данные

Исследования проводятся на образцах кембрийской глины с глубины 60 м, отбитой при проходке на шахте ОАО «Метрострой» Санкт-Петербург. Сопrotивляемость резанию около $A_p = 160$ Н/мм.

Порода представлена аргиллитоподобной глиной котлинского горизонта зеленовато-серого цвета, в верхней части тонкослоистой, прочностью $R_{сж}$ от 10 до 17 МПа.

Породоразрушающий инструмент – резец с прямоугольной режущей кромкой и плоской передней гранью. Ширина режущей кромки $b_p = 10$ мм, задний угол $\beta = 10^\circ$. Угол резания $\alpha = 60^\circ$. Привод резца осуществляется при помощи шарико-винтовой передачи. Тип реза: блокированный с выровненной поверхности. Скорость движения резца $V_p = 0,0125$ м/с, данная скорость является максимально возможной реализуемой на данной испытательной машине.

Последовательность проведения испытаний

Перед проведением экспериментальных исследований на цокольную траверсу универсальной испытательной машины устанавливается необходимая оснастка с зажимным устройством, куда впоследствии укладывается образец кембрийской глины максимальный размер 20×20 см, а по высоте ограничивается лишь конструктивными параметрами испытательной установки. Далее в подвесной захват устанавливается штанга с резцедержателем и сам резцовый инструмент. Включается вся необходимая контрольно-измерительная аппаратура.

Исследования проводятся при значении величины заглубления резца в массив в диапазоне $h = 10\text{--}20$ мм с шагом в 2,5 мм. Изменение величины заглубления осуществляется при помощи винта-регулятора. Результаты каждого отдельного реза осуществляются с одновременной записью данных измерительной аппаратуры на персональный компьютер.

По окончании каждого реза производится сбор, измерение и анализ формы крупных элементов – сколов, исследуются поверхности разрушения, осуществляется их взвешивание.

Расчет удельных энергозатрат процесса разрушения осуществляем по формуле [4]:

$$H_w = 0,0272 \cdot \frac{P_z \cdot L \cdot \rho}{G} \quad (1)$$

где H_w – удельные энергозатраты процесса резания, кВт·ч/м³; P_z – сила резания, Н; L – длина среза, см; G – вес продуктов разрушения, г; ρ – плотность кембрийской глины в массиве, г/см³.

Результаты экспериментальных исследований процесса разрушения глин резанием

Анализ силовых параметров процесса разрушения кембрийской глины блокированными резами выполнялся по трем осциллограммам, полученным при одинаковых условиях.

Удельные энергозатраты процесса разрушения кембрийской глины при $h = 10$ мм и $\alpha = 60^\circ$ блокированными резами с выровненной поверхности составили $H_w = 1,57$ кВт·ч/м³.

Процесс разрушения кембрийской глины является сложным многофакторным циклически повторяющимся процессом чередования фаз контактного дробления и образования крупных сколов. Глина, как правило, разрушается крупным сколом, так при $h = 10$ мм максимальная длина крупных сколов составляет порядка 70 мм (рис. 2).

Поверхность реза при $h = 10$ мм и $\alpha = 60^\circ$ можно видеть на рис. 3. Форма сколов и геометрические параметры относительно постоянны.

Крупный скол, как можно видеть из рис. 4, отделяется от поверхности массива полукруглым контуром трещины.



Рис. 2. Крупный элементарный скол при резании глины ($h = 10$ мм, $\alpha = 60^\circ$)

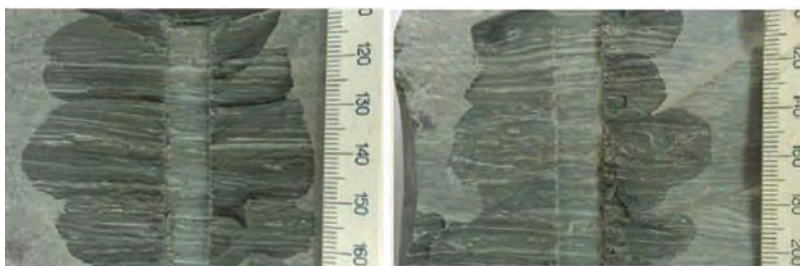


Рис. 3. Поверхность разрушения кембрийской глины сколами

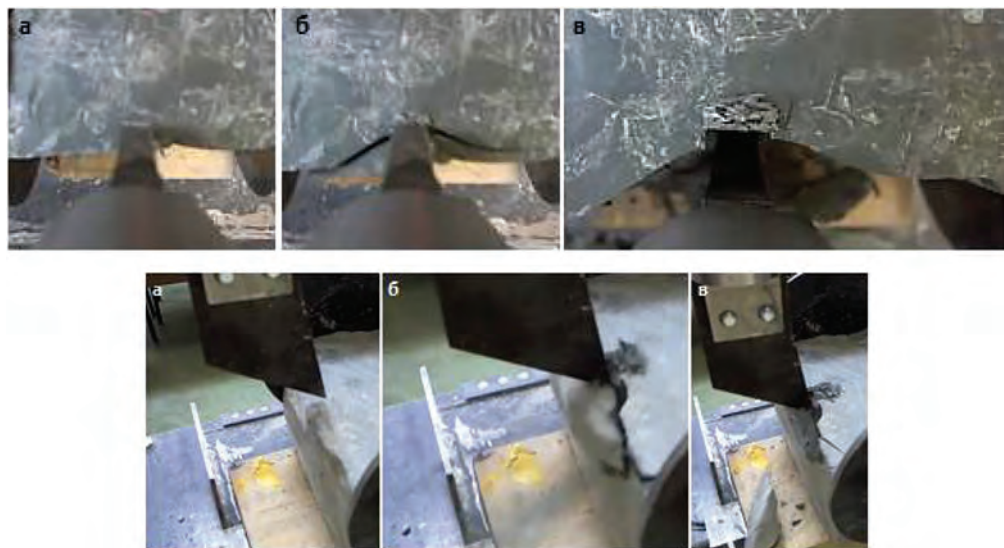


Рис. 4. Формирование крупного скола: а) внедрение резца в глину; б) зарождение трещины отрыва; в) образование элементарного скола



Рис. 5. Область наведенных трещиноватостей

В местах пересечения боковых и нижней поверхности реза образуются зоны развития наведенных трещиноватостей (рис. 5).

В поперечном сечении сколы имеют форму трапеции, образующие боковых сторон вогнуты относительно открытой поверхности (рис. 6).

При внедрении резца в породный массив и отделения от него некоторого объема породы, на поверхности формируются резы, характеризующиеся наличием трех поверхностей разрушения (двух боковых и нижней). Боковой развал формируется не на всю глубину реза, нижняя поверхность бороздки резания остается прямолинейной, что объясняется высокой вязкостью кембрийской глины, при указанных параметрах резания она составляет 2–3 мм. Дно реза неровное, имеются характерные неровности, образованные при проходе резца.

Структура боковых поверхностей резов и поверхностей разрушения крупных сколов характерна для хрупкого разрушения.

В ходе экспериментальных исследований было выявлено, что передняя грань резца «залепляется», образуется глиняный нарост, в результате чего увеличиваются удельные энергозатраты на ее разрушение.

Значение средней силы резания (математического ожидания) при $h = 15$ мм и $\alpha = 60^\circ$ составляет $P_{z.c.p.} = 244,6$ Н, а удельные энергозатраты процесса разрушения кембрийской глины равны $H_w = 0,87$ кВт·ч/м³.

В ряде опытов зафиксировано (рис. 7), что при указанных параметрах реза нижняя поверхность бороздки резания остается прямолинейной, а ее величина составляет 4–5 мм, что несколько больше, чем при резании с толщиной стружки (глубиной внедрения резца) $h = 10$ мм, данный факт позволяет говорить об увеличении доли вязкого разрушения.

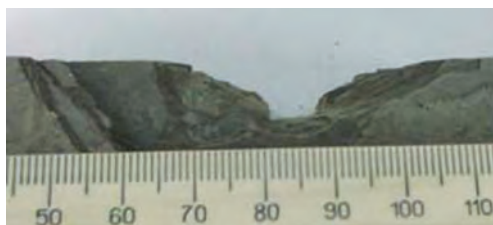


Рис. 6. Структура поверхностей разрушения образца кембрийской глины ($h = 10$ мм, $\alpha = 60^\circ$)

Сколы при указанных выше параметрах приобретают слабо очерченную форму (рис. 8).

Значение средней силы резания при $h = 20$ мм и $\alpha = 60^\circ$ равно $P_{z.c.p.} = 406$ Н. Удельные энергозатраты на разрушение составили $H_w = 1,33$ кВт·ч/м³.

При $h = 20$ мм нижняя поверхность бороздки резания составляет порядка 7 мм (рис. 9). Таким образом, можно сделать вывод о нецелесообразности резания глин с такими толщинами стружки, так как на забое будут образовываться щели, что затруднит его разработку.

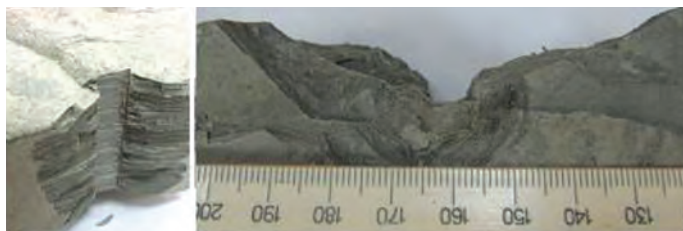


Рис. 7. Структура поверхностей разрушения кембрийской глины ($h = 15$ мм, $\alpha = 60^\circ$)



Рис. 9. Структура поверхностей разрушения кембрийской глины ($h = 20$ мм, $\alpha = 60^\circ$)



Рис. 8. Поверхность разрушения кембрийской глины



Рис. 10. Поверхность разрушения кембрийской глины

Очертания сколов слабо выражены (рис. 10). Дно реза характеризуется наличием сильно выраженных неровностей.

Исходя из полученных в процессе проведения эксперимента данных, построим зависимость изменения удельной энергоёмкости резания от величины заглупления реза и сравним с

результатами компьютерного моделирования в среде ANSYS (рис. 11).

Для сравнительной оценки удельных энергозатрат и средних нагрузок между экспериментальными испытаниями и компьютерным моделированием возьмем точку, соответствующую оптимальным показателям разрушения $h = 15$ мм.

Разница удельной энергоёмкости между компьютерным моделированием и экспериментальными испытаниями составит:

$$\left(1 - \frac{H_{w.э.}}{H_{w.т.}}\right) \cdot 100\% = 15\%$$

где $H_{w.э.} = 0,87$ кВт·ч/м³ – удельные энергозатраты процесса разрушения кембрийской глины, полученные по результатам эксперимента; $H_{w.т.} = 1,03$ кВт·ч/м³ – удельные энергозатраты процесса разрушения массива кембрийских глин, полученные при компьютерном моделировании.

Разница в средних нагрузках на резы составит:

$$\left(1 - \frac{P_{z.э.}}{P_{z.т.}}\right) \cdot 100\% = 2\%$$

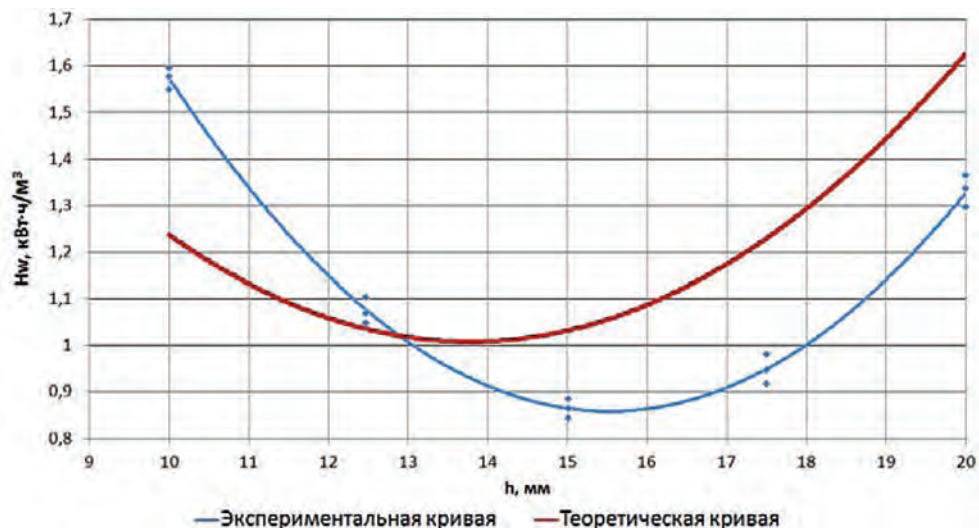


Рис. 11. Зависимость энергоёмкости разрушения глин резанием от величины заглупления реза

где $P_{z.э.} = 244,6$ Н – средняя сила резания, полученная экспериментально; $P_{z.т.} = 240,2$ Н – средняя сила резания, взятая по результатам компьютерного моделирования.

Таким образом, можно сделать вывод, что модель разрушения резанием кембрийской глины удовлетворительно описывает изучаемый процесс.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Лавренко Сергей Александрович – кандидат технических наук, ассистент кафедры, e-mail: sergey18.09.89@mail.ru,

Труфанова Инна Сергеевна – кандидат технических наук, ассистент кафедры, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протодяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. – М.: Наука, 1970. – 76 с.

2. Позин Е.З. Методические основы исследования процессов разрушения угля механическим способом / Разрушение углей и горных пород: научные сообщения. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1989. – С.4–13.

3. ГОСТ 21878–76. Случайные процессы и динамические системы. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 33 с.

4. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. – М.: Недра, 1984. – 288 с. **ИИАС**

UDC 622.233

EXPERIMENTAL STUDIES OF CAMBRIAN CLAY CUTTING TOOL

Lavrenko S.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant of Chair, e-mail: sergey18.09.89@mail.ru,

Trufanova I.S.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant of Chair, ¹ National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

The process of destruction of the array of Cambrian clay by effectors of the tunnel complexes for finding optimal parameters of the regime is considered and a cutting-test-bed for experimental studies of the process of cutting by single tool is developed.

Key words: cutter, destruction, cambrian clay, effector.

REFERENCES

1. Protod'yakonov M.M., Teder R.I. *Metodika ratsional'nogo planirovaniya eksperimentov* (Rational experimental design procedure), Moscow, Nauka, 1970, 76 p.

2. Pozin E.Z. *Razrushenie uglei i gornyx porod: nauchnye soobshcheniya* (Breakage of coal and rocks: Scientific reports), Moscow, IGD im. A.A. Skochinskogo, 1989, pp. 4–13.

3. *Sluchainye protsessy i dinamicheskie sistemy. Terminy i opredeleniya. GOST 21878–76* (Random processes and dynamic systems. Terms and definitions. State Standart 21878–76), Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1976, 33 p.

4. Pozin E.Z., Melamed V.Z., Ton V.V. *Razrushenie uglei vyemochnymi mashinami* (Coal cutting by winning machines), Moscow, Nedra, 1984, 288 p.

