

УДК 622.232.522.24

**Н.Г. Бойко**, д-р техн. наук, проф.,  
**О.А. Геммерлинг**, канд. техн. наук, доц.,  
Донецкий национальный технический университет

## **РАЗРУШЕНИЕ УГОЛЬНОГО МАССИВА ГИДРОИМПУЛЬСНОЙ УСТАНОВКОЙ**

*В работе описан механизм взаимодействия гидроимпульсной струи установки с разрушаемым массивом угля и приведена математическая модель разрушения угольного массива гидроимпульсной установкой.*

**математическая модель, разрушение, уголь, гидроимпульсная установка, угольный блок, воронка**

**Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.** Гидроимпульсные установки применяются для механизации очистных и подготовительных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты крутого падения со сложными горно-геологическими условиями. Повышение уровня механизации на указанных работах шахт Центрального района Донбасса является актуальной задачей. Для создания и обеспечения высокопроизводительной работы гидроимпульсных установок необходимо обосновать ряд параметров: давление, частоту, шаг разрушения, диаметр насадок гидроимпульсной установки и установить характер разрушения угольного массива гидроимпульсной установкой.

Актуальность работы обусловлена необходимостью исследования процесса разрушения угольного массива гидроимпульсной установкой и составления математической модели процесса разрушения угля.

**Анализ исследований и публикаций.** В работе [1] описан стенд для исследования процесса разрушения угольного массива гидроимпульсной установкой. В работе [2] приведены закономерности взаимодействия гидроимпульсной струи с угольным массивом. В работе [3] описан механизм взаимодействия импульсной струи жидкости с разрушаемым массивом угля и приведены полученные результаты. В работе [4] определена сила удара гидроимпульсной струи при прохождении ее через слой разрушенного угля и по воздушной среде для гидроимпульсных установок, предназначенных для проведения нарезных работ. Работа [5] посвящена определению параметров гидро-

импульсных установок для проведения нарезных работ на пластах крутого падения.

**Постановка задачи.** Настоящая статья является продолжением указанных работ. Целью данного исследования является изучение процесса разрушения угля гидроимпульсной установкой и разработка математической модели процесса разрушения угольного массива гидроимпульсной установкой.

**Изложение материала и результаты.** Для исследования процесса разрушения угольного массива был разработан и изготовлен специальный угольный блок [1].

Адекватность разработанного угольного блока реальному пласту угля подтверждается следующими факторами:

- технологическая схема проведения скважин предполагает одну обнаженную поверхность. Поэтому угольный образец был залит с боковых сторон в бетонный раствор толщиной 0,2 м;
- размеры угольного образца (0,3х0,3х0,4 м) примерно на порядок превышают размеры отдельных воронок и поэтому размеры блока являются достаточными для моделирования процесса взаимодействия;
- угольный образец в блоке был сжат по вертикальной и горизонтальной оси и напряжение сжатия по вертикальной оси составило  $\sigma_{сж.в} = 9,7$  кПа, по горизонтальной –  $\sigma_{сж.г} = 8,5$  кПа;
- для угольного образца использовался наиболее характерный для Центрального района Донбасса уголь марки К;
- результаты, полученные при использовании угольного блока, подтверждены практикой: рекомендуемое давление импульсной струи было проверено на гидроимпульсных установках, работающих на шахтах ГП «Артемуголь».

Изучение процесса разрушения угля осуществлялось при перпендикулярном воздействии импульсной струи, на расстоянии  $l_p = 0,3$  м между насадком генератора и угольным блоком (в пределах начального участка  $l_p < 100 d_n$ ), на выровненную поверхность угольного блока с размерами 0,3×0,3×0,4 м.

При проведении эксперимента фиксировались параметры образующей импульсной струей воронок: наружный  $D_e$  и внутренний  $d_e$  диаметры, глубина  $h$ , в зависимости от числа импульсов струи  $N$  и параметры гидроимпульсной установки: давление воды на входе и на выходе установки, соответственно,  $P_{вх} = 30-32$  МПа,  $P_{в} = 23-25$  МПа;

діаметр насадки  $d_n=10$  мм, тривалість імпульса  $\tau_u=12-15$  мс, частота імпульсів  $\nu=3-4$  Гц.

Були проведені експерименти для різного числа імпульсів по окремій воронці і отримані залежності  $h=f(N)$  і  $D=f(h)$  (рис. 1, 2). Число імпульсів змінювалося від 1 до 11.

На основі аналізу кривої  $D=f(h)$  (рис. 2) виділимо три стадії утворення воронки імпульсною струєю:

1. Стадія інтенсивного росту діаметра воронки: глибина воронки змінюється від 0 до 7,8 см (обозначено на графіку АВ).

2. Стадія інтенсивного росту глибини воронки: глибина воронки змінюється від 7,8 до 26,5 см (обозначено на графіку ВС).

3. Стадія уповільнення углублення воронки: глибина воронки змінюється від 26,5 до 34 см (обозначено на графіку СД).

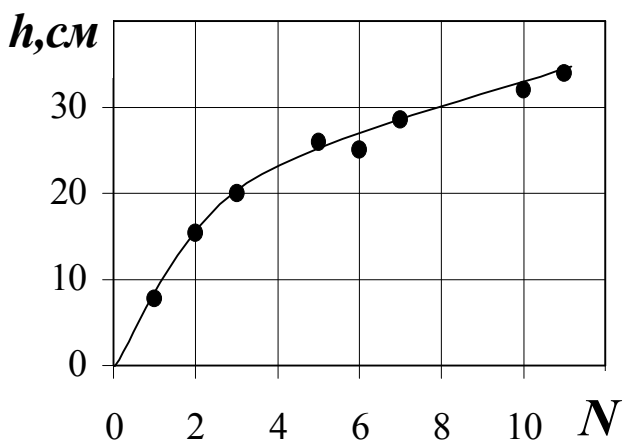


Рисунок 1 – Залежність глибини воронки  $h$  від кількості імпульсів  $N$

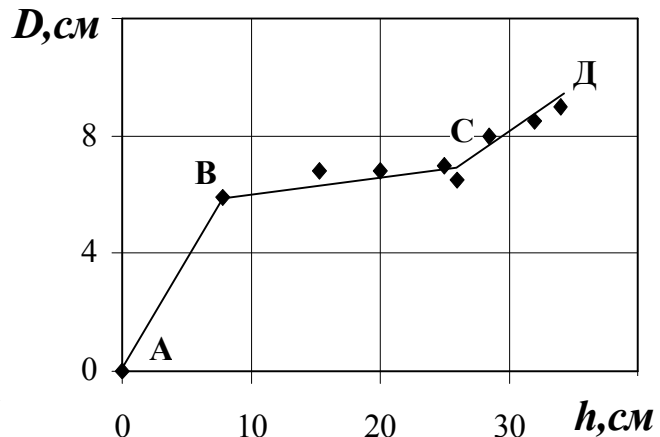


Рисунок 2 – Графік співвідношення глибини  $h$  і діаметра  $D$  воронки

Процес руйнування вугля імпульсною струєю складається з двох основних стадій: утворення окремої (врубової) воронки і нарізання щели [3, 5].

Розглянемо процес утворення окремої воронки (рис. 3, а) одним імпульсом струї. Імпульс струї умовно розділено на п'ять частин (А, В, С, D, Е). Удар імпульсною струєю об вугільний блок викликає стискаючі, сдвигаючі і розтягуючі напруження. Під дією ділянки АВ імпульсною струєю (рис. 3, б) в вуглі зростають сдвигаючі напруження, і після досягнення граничного значення відбувається сколювання окремих частинок (рис. 3, б). Вугілля, який утворився, дробиться і вимивається з елементарної воронки 1 ділянкою ВВ імпульсною струєю (рис. 3, а, б). При подальшому русі імпульсною струєю, з масивом вугля взаємодіє частина В (рис. 3, а), при цьому відбуваються аналогічні процеси, описані вище для

части А, и образывается элементарная воронка 2 (рис. 3, а). Далее процесс повторяется аналогично до окончания действия импульса струи, при этом образуются элементарные воронки 3, 4 и 5.

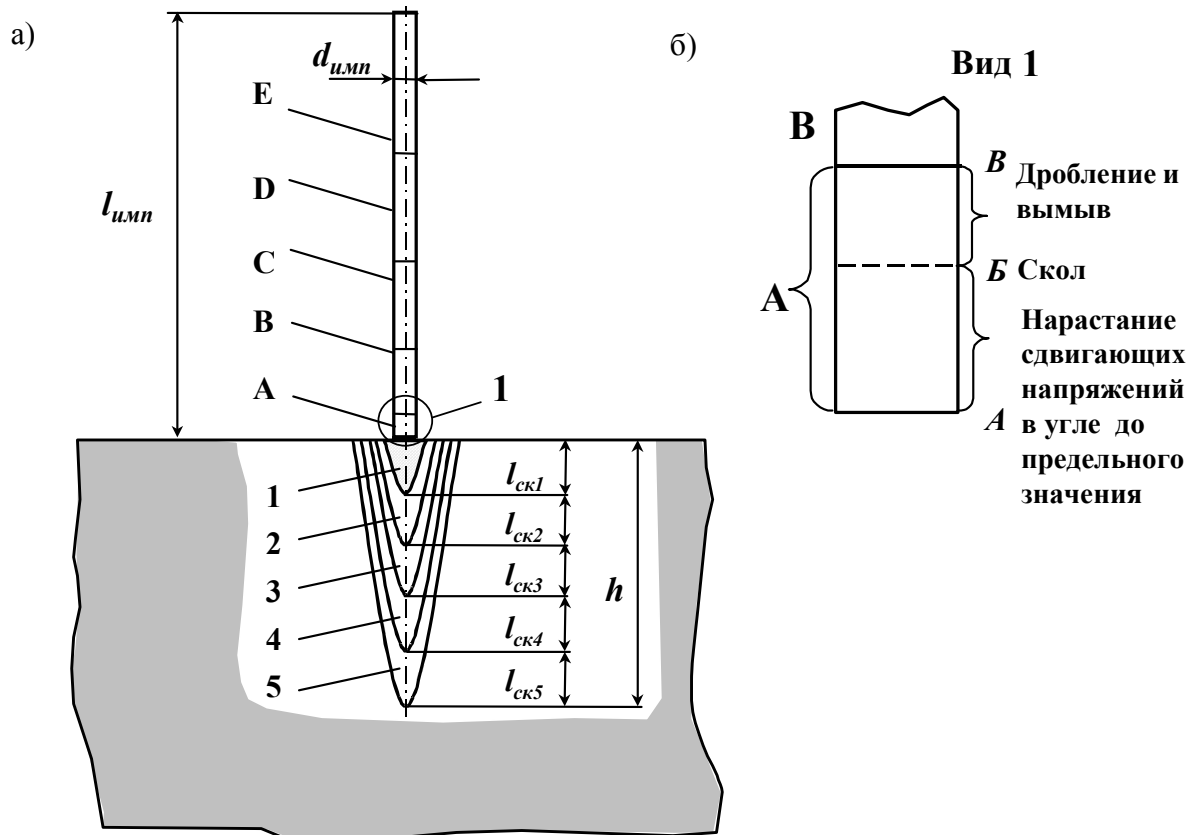


Рисунок 3 – Схема процесса разрушения массива угля одним импульсом струи

Фактически происходит образование 8-15 элементарных воронок при действии одного импульса. При увеличении числа ударов по отдельной воронке свыше трех уменьшается длина скола массива угля до 1-2мм и возрастает число сколов, и при этом эффективное разрушение угля заканчивается (рис. 4).

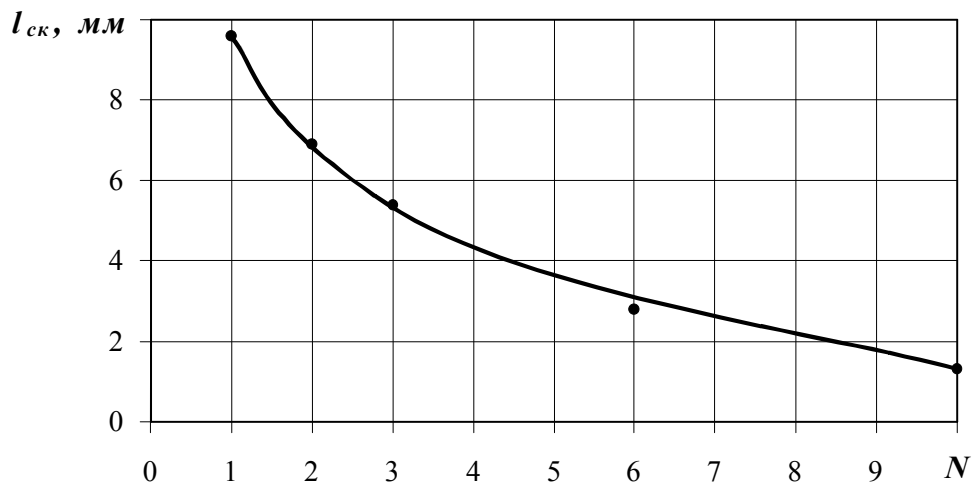


Рисунок 4 – Зависимость средней длины сколов от числа импульсов струи

При числе импульсов по отдельной воронке свыше трех наблюдается следующее явление: первые 4-6 сколов крупнее приблизительно в два раза, чем следующие.

При разработке математической модели разрушения угольного массива гидроимпульсной установкой примем следующие допущения:

1. Прочностные свойства разрушаемого угля – сопротивляемость угля резанию – является случайной величиной с распределением вероятности, не противоречащим закону Гаусса [2, 3, 5].

2. Разрушение угля происходит сколами с распределением вероятности их длины, не противоречащим закону Вейбулла [2, 3, 5].

3. Усилие, необходимое для разрушения угля, является линейной функцией сопротивляемости угля резанию и длины скола [2, 3, 5].

4. Сопротивляемость угля резанию и длина скола угля являются независимыми случайными величинами [3, 5].

Усилие, необходимое для разрушения массива угля импульсной струей, с учетом принятых допущений, (рис. 5) запишем в виде

$$F = \begin{cases} k_{oc} k_{cm} A_{pu} l_{ск}; & 0 \leq l_{ск} < l_{ск1}; \\ k_{oc} k_{cm} A_{pu} l_{ск1} \frac{l_{ск2} - l_{ск}}{l_{ск2} - l_{ск1}}; & l_{ск1} \leq l_{ск} < l_{ск2}; \\ 0; & l_{ск2} \leq l_{ск} \leq l_{ск3}; \end{cases} \quad (1)$$

где  $k_{oc}$  – коэффициент, учитывающий ослабление угольного пласта трещинами. Для пластов крутого падения Центрального района Донбасса принимаем коэффициент равный 0,75-0,85 [4, 5];

$k_{cm}$  – коэффициент, учитывающий условия разрушения угля импульсной струей (уменьшение передачи энергии струей при увеличении уг-

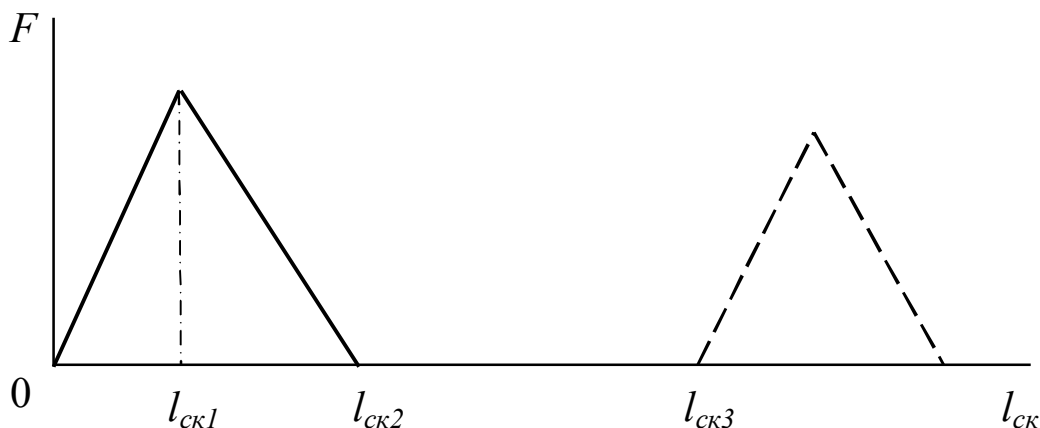


Рисунок 5 – Изменение усилия при разрушении массива угля гидроимпульсной установкой

ла расхождения струи: для угла расхождения струи  $0^{\circ}30' - 0^{\circ}45'$ , согласно данным [5], коэффициент изменяется от 1,04 до 1,29; изменение поперечного сечения струи из-за нелинейной скорости и аэрацию струи, составляющую 2-3% для расстояния до 1 м),  $k_{cm}=1,10-1,30$ .

Тогда приняв, что  $Z = A_{pu} l_{ck}$  получим выражение закона распределения усилия, необходимого для разрушения массива угля импульсной струей

$$\begin{aligned}
 F(A_{pu}, l_{ck}) &= k_{oc} k_{cm} \times \\
 &\times \left[ \int_{-\infty}^0 \int_{\frac{Z}{A_{pu}}}^{\infty} f(A_{pu}, l_{ck}) dA_{pu} dl_{ck} + \int_0^{\frac{Z}{A_{pu}}} \int_{-\infty}^{\infty} f(A_{pu}, l_{ck}) dA_{pu} dl_{ck} \right] = \\
 &= \frac{k_{oc} k_{cm} b}{a \sigma_{A_{pu}} \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \int_{\frac{Z}{A_{pu}}}^{\infty} A_{pu} l_{ck} e^{-\left[ \frac{(A_{pu} - \bar{A}_{pu})^2}{2\sigma_{A_{pu}}^2} + \left( \frac{l_{ck} - c}{a} \right)^b \right]} \left( \frac{l_{ck} - c}{a} \right)^{b-1} dA_{pu} dl_{ck} + \\
 &+ \frac{k_{oc} k_{cm} b}{a \sigma_{A_{pu}} \sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{Z}{A_{pu}}} \int_{-\infty}^{\infty} A_{pu} l_{ck} e^{-\left[ \frac{(A_{pu} - \bar{A}_{pu})^2}{2\sigma_{A_{pu}}^2} + \left( \frac{l_{ck} - c}{a} \right)^b \right]} \left( \frac{l_{ck} - c}{a} \right)^{b-1} dA_{pu} dl_{ck}.
 \end{aligned} \quad (2)$$

Из выражений (1-2) следует, что усилие, необходимое для разрушения пласта, является случайной двухпараметрической величиной, обусловленной сопротивляемостью угля разрушению с распределением вероятности по закону Гаусса и длиной скола с распределением вероятности по закону Вейбулла. Для характеристики усилия, необходимого для разрушения пласта, достаточно использовать в зависимости (1) только первое выражение, которое определяет усилие, необходимое для разрушения угольного пласта гидроимпульсной установкой.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Получена математическая модель разрушения угольного массива гидроимпульсной установкой и зависимость для определения силы необходимой для разрушения угольного пласта.

Материалы данного исследования будут использоваться как для составления математической модели процесса взаимодействия гид-

роимпульсной струи установки с разрушаемым массивом угля, так и при проектировании гидроимпульсных установок, предназначенных для работы на пластах крутого падения и при модернизации существующих установок. В дальнейшем, с целью уточнения полученных экспериментальных зависимостей, планируется провести аналогичные исследования в реальных условиях на крутопадающем угольном пласте.

#### Список литературы

1. Бойко Н. Г., Геммерлинг О. А. Стенд для исследования процесса взаимодействия гидроимпульсной струи с разрушаемым массивом угля / Н. Г.Бойко, О. А.Геммерлинг // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. - 2002. - № 3 - С. 70-71.
2. Бойко Н.Г. Математическая модель процесса взаимодействия гидроимпульсной струи с разрушаемым массивом угля при проведении скважин / Н.Г.Бойко, Геммерлинг О.А. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - Краматорськ: ДДМА, 2005. - № 1. - С. 143-148.
3. Геммерлинг О. А. Установление закономерностей разрушения угольного массива импульсной струей жидкости // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-електромеханічна». - Донецьк: ДонНТУ. - 2004. №83.- С. 64-70.
4. Бойко Н.Г. Определение силы удара гидроимпульсной струи при прохождении ее через слой разрушенного угля и по воздушной среде // Н.Г.Бойко, О.А.Геммерлинг // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-електромеханічна». - Донецьк: ДонНТУ, 2008. - 16 (142). - С. 10-15.
5. Геммерлінг О.А. Обґрунтування параметрів гідроімпульсної установки для проведення нарізних робіт на пластах крутого падіння: автореф. дис ... канд. техн. наук.: 05.05.06 / Олег Альбертович Геммерлінг; Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ, 2007. - 19 с.

**М.Г. Бойко, О.А. Геммерлінг. Руйнування вугільного масиву гідроімпульсною установкою. У роботі описаний механізм взаємодії гідроімпульсного струменя установки з масивом вугілля, що руйнується, і приведена математична модель руйнування вугільного масиву гідроімпульсною установкою.**

**математична модель, руйнування, вугілля, гідроімпульсна установка, вугільний блок, воронка**

**N.G. Boyko, O.A. Gemmerling. Destruction of Coal Massif by Hydroimpulse Machine. The paper describes the mechanism of interaction of an impulse jet with a destroyed coal massif and offers a mathematical model of destruction of coal massif by hydroimpulse machine.**

**mathematical model, destruction, coal, hydroimpulse machine, coal block, crater**

Стаття надійшла до редколегії 31.10.2009

Рецензент: зав. каф. «Гірничі машини» ДонНТУ, д-р техн. наук, проф. А.К.Семенченко

© Бойко Н.Г., Геммерлинг О.А., 2010