

УДК 622.232.5.05

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРУШЕНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД ГИДРОИМПУЛЬСНЫМИ СТРУЯМИ

Жабин А.Б., докт. техн. наук., проф.,

Головин К.А., канд. техн. наук., доц., Поляков А.В., аспирант,

Тульский государственный университет

*Рассмотрены особенности гидроимпульсных струй. Описана разработанная экспериментальная база и гидроимпульсный инструмент для исследования таких струй. Экспериментально доказана перспективность применения импульсных струй. Приведены результаты исследований по определению параметров гидроимпульсных струй и установлен диапазон их оптимальных значений*

*The hydro-impulse stream parameters are present. It Is Described The designed experimental base and hydro-impulses tool for study such stream is described. Perspectives of using pulsed stream are proved by experimentally. The results of the studies on determination parameter hydro-impulses stream are present and range of their best values is installed.*

### **Введение**

Совершенствование способов разрушения горных пород имеет большое значение для повышения эффективности работы исполнительных органов горных машин. Известно [1], что одним из перспективных способов является гидромеханический, основанный на использовании механического инструмента режущего или скалывающего действия и высокоскоростной струи воды, ориентированной тем или иным путем относительно его. Гидромеханический способ разрушения предполагает одновременное воздействие на породу струи воды и механического инструмента. Эффективность комбинированного разрушения определяется эффективностью каждого из способов в отдельности [1]. В настоящее время создание гидромеханических исполнительных органов горных машин базируется на двух основных схемах комбинированного разрушения [1]: щелевой (обеспечивается образование опережающей щели глубиной  $h$  высокоскоростной струей воды) и бесщелевой (струя воды создает напряженную область в зоне контакта инструмента с массивом или на некотором расстоянии

от его режущей кромки). При этом, в основном, применяются только непрерывные струи воды.

В настоящее время рассматриваются различные варианты повышения производительности непрерывных высокоскоростных струй воды (увеличение глубины прорезаемой щели  $h$ ) и здесь одним из направлений является изменение характера воздействия струи на породу за счет создания и применения гидроимпульсных струй воды. Идея применения гидроимпульсных струй не является новой. Они уже нашли широкое применение для удаления ненужных покрытий с различных поверхностей и резания всякого рода металлических и неметаллических материалов. Однако возможность использования гидроимпульсных струй для разрушения горных пород еще не достаточно изучена. Наряду с этим есть работы, в которых такие струи считаются недостаточно перспективными [2] для разрушения горных пород. Между тем исследования импульсных струй и роль ударных гидравлических нагрузок для разрушения горных пород представляют немалый интерес.

#### *Постановка и решение задачи*

Независимо от способа получения гидроимпульсные струи состоят из последовательных отдельных струй, продольный и поперечный размер эффективной части которых одного порядка. Схема гидроимпульсной струи показана на рис. 1. Параметры импульсной струи изменяются периодически по определенному закону и характеризуются различной частотой следования импульсов, т.е. другими словами гидроимпульсная струя представляет собой некоторую колеблющуюся систему.

Известно [3], что характеристики колебательной системы описываются безразмерным параметром  $S_d$ , который для струи имеет следующий вид:

$$S_d = \frac{fd_0}{V}, \quad (1)$$

где  $f$  – частота следования гидравлических импульсов;  $d_0$  – диаметр отверстия струеформирующей насадки;  $V$  – скорость струи (см. рис. 1).

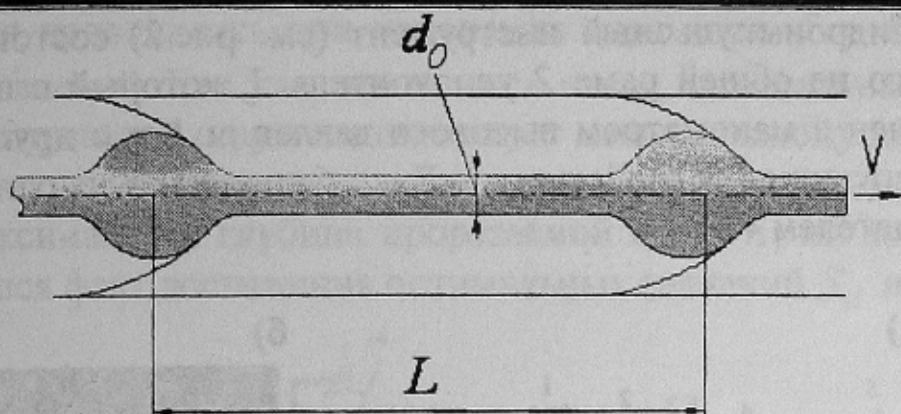


Рис. 1. Схема гидроимпульсной струи

Кроме того, если гидроимпульсную струю рассматривать как волну, распространяющуюся со скоростью  $V$ , то одним из параметров, характеризующим струю, является и длина волны (импульса)  $L$  (см. рис. 1), которая определяется по формуле

$$L = \frac{V}{f}. \quad (2)$$

Указанные параметры были приняты нами в качестве основных параметров, описывающих струю. В результате исследований импульсных струй давлением до 40 МПа и диаметром отверстия струеформирующей насадки более 2 мм установлено [3], что такие импульсные струи приобретают оптимальную характеристику (максимальное давление в точке контакта с разрушаемой поверхностью) при  $0,3 < S_d < 1,2$ . Представляется целесообразным установить диапазон значений  $S_d$  и  $L$  и для тонких (диаметром менее 2 мм) гидроимпульсных струй при разрушении горных пород.

При исследовании гидроимпульсных струй практический интерес представляет не столько сам по себе источник воды высокого давления, сколько гидроимпульсный инструмент. Для получения гидроимпульсной струи (прерывания непрерывной струи воды) могут использоваться различные способы [3]. Одним из таких способов, принятых нами при экспериментальных исследованиях, является способ, основанный на внешнем прерывании струи с использованием вращающихся дисков. Выбор этого способа обусловлен еще и тем, что он позволяет однозначно установить частоту вращения диска и как следствие, частоту следования гидравлических импульсов. Схема гидроимпульсного инструмента показана на рис.2.

Гидроимпульсный инструмент (см. рис.2) состоит из установленного на общей раме 2 успокоителя 3, который с одной стороны соединен с манометром высокого давления 1, а с другой - со струеформирующим устройством 5. Диск 6 крепится на оси, соединенной с вращателем 4.

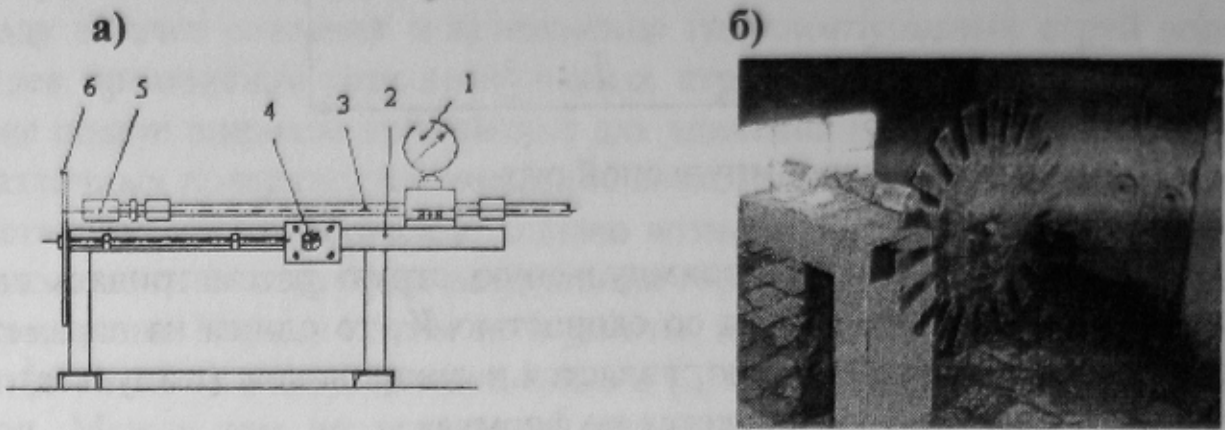


Рис. 2. Гидроимпульсный инструмент:  
а - конструктивная схема; б - общий вид

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено три диска, один из которых представлен на рис. 3. Диск (см. рис. 3) имеет одну прорезь с углом при вершине  $\alpha = 18^\circ$ . Два других диска имеют по 20 и 150 прорезей, расположенных равномерно по их окружности, с углом при вершине  $\alpha = 9$  и  $1,2^\circ$  соответственно.

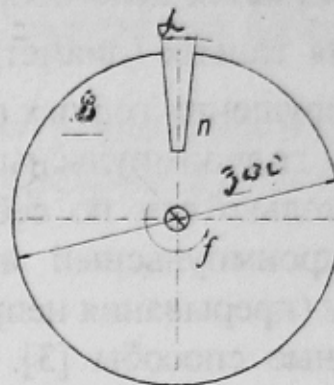


Рис. 3. Схема вращающегося диска

Для проведения экспериментальных исследований была разработана специальная установка, показанная на рис. 4.

Поскольку и параметр  $S_d$ , и длина  $L$  зависят от частоты следования импульсов  $f$  (см. зависимость 1 и 2), то экспериментальные

исследования проводились при изменении параметра  $f$  в широком диапазоне значений. Как уже отмечалось выше, оптимальная характеристика импульсной струи соответствует максимальному давлению в точке контакта с разрушаемой поверхностью и тем самым обеспечивается максимальная глубина прорезаемой щели  $h$ , по которой и устанавливался факт достижения оптимальных значений  $S_d$  и  $L$ .

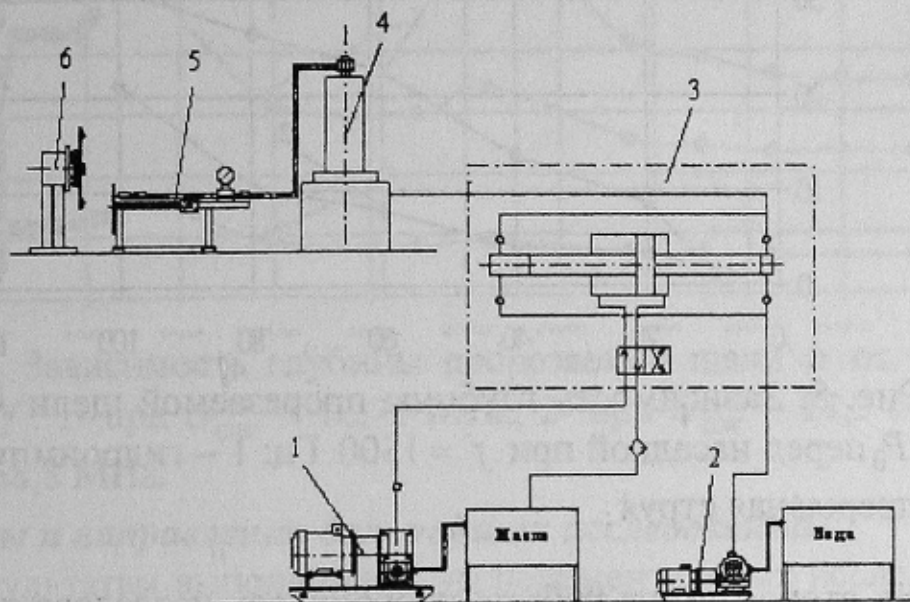


Рис. 4. Схема экспериментальной установки: 1 - приводной насосный блок; 2 - водяной насосный блок низкого давления; 3 - преобразователь давления; 4 - гидроаккумулятор воды высокого давления; 5 - гидроимпульсный инструмент; 6 - поворотный стол с кронштейном для крепления образца разрушаемой породы

На первом этапе работы проводились сравнительные экспериментальные исследования непрерывных и импульсных струй по производительности резки, т.е. глубине прорезаемой щели  $h$ . Исследования выполнялись при следующих параметрах: давление воды перед насадкой  $P_0 = 10, 20, 40, 60; 80$  и  $100$  МПа, диаметр струеформирующей насадки  $0,4 \cdot 10^{-3}$  м, скорость перемещения образца горной породы относительно инструмента  $1 \cdot 10^{-3}$  м/с и частоте импульсов  $f = 1300$  Гц.

На основании проведенных опытов были построены графики зависимости  $h = f(P_0)$  для непрерывной и импульсной струй, представленные на рис. 5.

Как видно из рис. 5, производительность гидроимпульсной струи оказалась выше, чем непрерывной во всем диапазоне значений давления  $P_0$ .

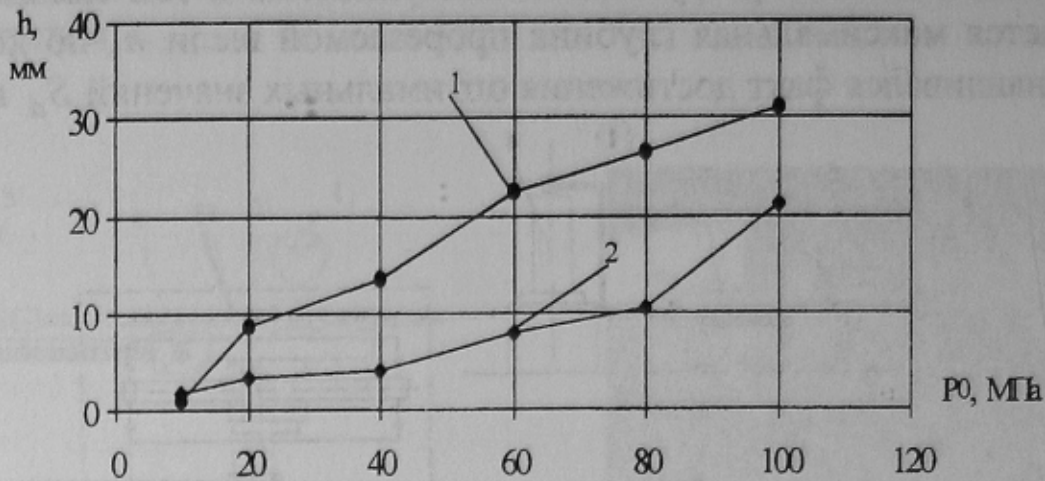


Рис. 5. Зависимость глубины прорезаемой щели  $h$  от давления воды  $P_0$  перед насадкой при  $f = 1300$  Гц: 1 - гидроимпульсная струя; 2 - непрерывная струя

На втором этапе работы проводилось исследование параметров гидроимпульсной струи. Исследования выполнялись при следующих значениях параметров: расстояние от среза насадки до образца горной породы -  $30 \cdot 10^{-3}$  м, давление воды перед насадкой -  $P_0 = 80$  МПа, диаметр отверстия струеформирующей насадки -  $0,4 \cdot 10^{-3}$  м, скорость перемещения образца горной породы относительно инструмента -  $1 \cdot 10^{-3}$  м/с. Гидроимпульсному разрушению подвергались образцы песчано-глинистого сланца с пределом прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж} = 12,75$  МПа, мрамора с  $\sigma_{сж} = 27,3$  МПа и известняка с  $\sigma_{сж} = 68,8$  МПа.

На основании результатов исследований построен график зависимости  $h = f(f)$ , который приведен на рис. 6.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что глубина прорезаемой щели с увеличением частоты импульсов возрастает, достигая максимального значения при частоте  $f$ , находящейся в диапазоне 1200 - 1800 Гц. Дальнейшее увеличение частоты  $f$  ведет к снижению глубины щели.

Частотам 1200 - 1800 Гц соответствуют диапазон значений параметра  $S_d = 0,0016 - 0,0024$  и длина  $L = 0,25 - 0,17$  м.

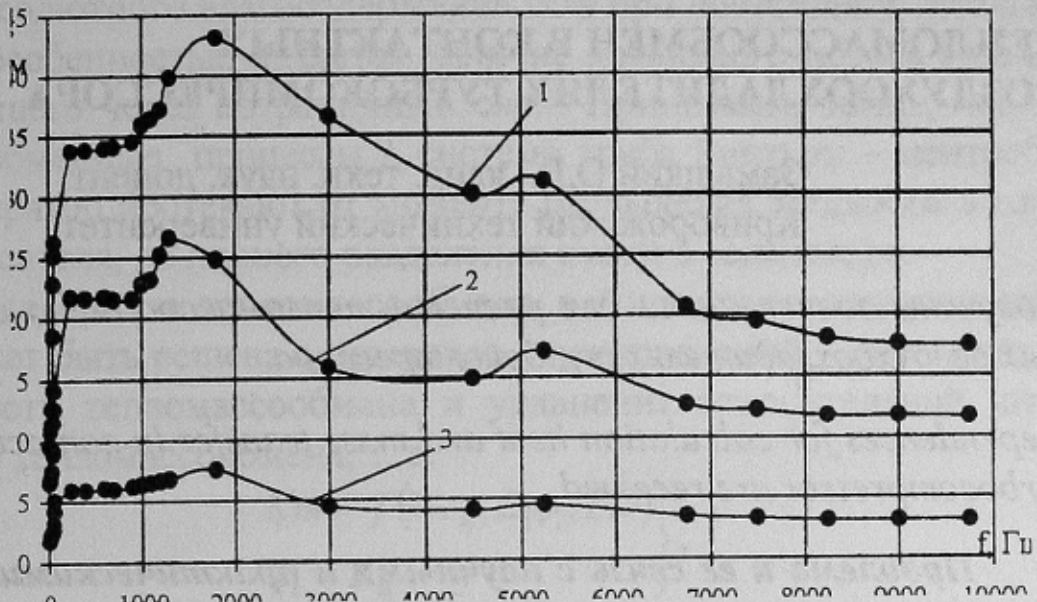


Рис. 6. Зависимость глубины прорезаемой щели  $h$  от частоты импульсов  $f$ : 1- при  $\sigma_{сж} = 12,75$  МПа; 2- при  $\sigma_{сж} = 27,3$  МПа; 3 – при  $\sigma_{сж} = 68,8$  МПа.

**Выводы и направления дальнейших исследований**

По результатам выполненных экспериментальных исследований можно заключить:

- производительность гидроимпульсных струй оказалось выше непрерывных и тем самым перспективность их использования при разрушении горных пород не вызывает сомнения;

- выбраны параметры, характеризующие гидроимпульсную струю, являющиеся производными от частоты следования импульсов  $f$ , и установлен диапазон их оптимальных значений при разрушении горных пород.

Представляют интерес дальнейшие исследования гидроимпульсных струй при разрушения горных пород в широком диапазоне всех действующих факторов, влияющих на процесс, и определение критерия сопротивляемости горных пород гидроимпульсному разрушению.

Список источников.

1. В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, А.Е. Пушкарев, М.М. Щеголевский. Гидроструйные технологии в промышленности. Гидромеханическое разрушение горных пород. – М.: Изд-во АГН. 2000. – 343 с.
2. Ю.Г. Коняшин, Г.М. Веселов. О применении импульсных струй высокой скорости для резания горных пород. – Научн. сообщ. ИГД им. А.А. Скочинского. Вып. 20, 1963.
3. Chahine G.L., Johnson V.E., Frederick G.S. The feasibility of passively interrupting water-jets for rock cutting applications. HYDRONAUTICS, Incorporated Technical Report 8228-1, 1982. – 75 p.