



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ГИДРОУДАРНОГО УСТРОЙСТВА ДВУХСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ
ДЛЯ ВИБРОУДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОРОДНЫЙ МАССИВ**

Л. В. Городилов, В. Г. Кудрявцев

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: vit22@ngs.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Представлена физическая модель гидроударного устройства, в котором регулировка частоты осуществляется типовым регулятором расхода, энергии удара — оригинальным распределителем с дроссельным управлением, позволяющим производить задержку движения бойка перед началом фазы обратного хода. Проведены серии опытов с регистрацией характеристик рабочих циклов, необходимых для анализа динамики системы. Даны рекомендации по улучшению работы ударного устройства.

Гидроударная система, давление задержки, расход, частота, предупредительная скорость, распределитель

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE OPERATING MODES OF TWO-WAY
HYDRAULIC PERCUSSION DEVICE PRODUCING VIBRO-IMPACT ON ROCK MASS**

L. V. Gorodilov and V. G. Kudryavtsev

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
E-mail: vit22@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

A physical model of a hydraulic percussion device is presented, in which the frequency is regulated by a standard flow rate controller, and impact energy — by an original distributor with throttle control, which allows delaying the striker before the start of the reverse phase. A series of experiments is conducted with recording of the characteristics of the work cycles required for the analysis of the system dynamics. Recommendations for possible improvements of the hydraulic percussion device performance are given.

Hydraulic percussion system, delay pressure, flow rate, frequency, pre-impact speed, distributor

В последнее время значительное внимание уделяется разработке гидроударных устройств с регулируемой энергией и частотой ударов [1 – 5]. Особо можно отметить разработку конструкций адаптивных ударных устройств [4, 5], в которых ударная мощность регулируется в зависимости от прочностных свойств обрабатываемого материала. В теории показано [6], что в обычно используемой на практике простой схеме гидроударного устройства (автоколебательного с обратными связями между бойком ударного узла и подвижным элементом распределителя по положению бойка) существует достаточно жесткая связь между этими характеристиками и расходом подаваемой к устройству рабочей жидкости. Поэтому при необходимости управлять энергетическими характеристиками ударного устройства следует вводить дополнительные элементы, регулирующие работу распределительного устройства. В [6] численно исследовали динамику гидроударной системы объемного типа, особенностью которой является возможность работы в режимах без задержки и с задержкой (движение бойка при обратном ходе возможно

лишь при достижении давлением в системе определенного значения, называемого давлением задержки) движения бойка. В [7] представлены результаты экспериментальных исследований системы с задержкой, распределитель которой имеет дроссельное управление (пат. 2321777 РФ), показавших эффективность такого конструктивного решения. При совершенствовании этого распределителя была предложена конструкция с регулируемым в зависимости от давления в системе дросселем (пат. 2674289 РФ), которая может быть прототипом системы управления адаптивного гидроударного устройства.

В ИГД СО РАН создан прототип гидроударного устройства двухстороннего действия с управляемой камерой прямого хода, который может быть использован при решении широкого круга задач в горном деле и строительстве, с системой распределения жидкости (пат. 2321777 РФ) и регулируемым дроссельным управлением. В настоящей работе приводятся описание устройства и результаты его испытаний: осциллограммы динамических характеристик и графики зависимостей предупредных скоростей и частот циклов от подаваемого к устройству расхода и давления задержки.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОУДАРНОГО УСТРОЙСТВА, СТЕНД И ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Гидравлическое устройство, которое показано на рис. 1, имеет ударный узел 1, включающий корпус и боек, и распределитель 2, состоящий из корпуса и золотника. На корпусе распределителя 2 устанавливается напорный аккумулятор 3, штуцеры для напорной и сливной линий, а также штуцеры для соединения трубками с ударным узлом 1. Устройство крепится на стенде в виде массивной рамы с вертикальными стойками 5.

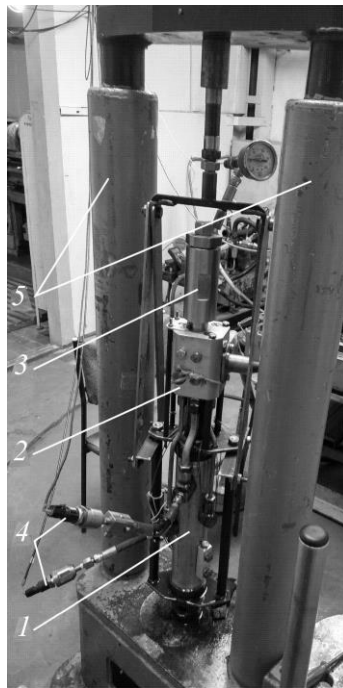


Рис. 1. Фотография стенда и физической модели: 1 — ударный узел; 2 — распределитель; 3 — напорный аккумуляторы; 4 — датчики давления; 5 — стойки стенда

Конструктивно ударное устройство представляет собой устройство двухстороннего действия с управляемой камерой прямого хода. Масса бойка 5.2 кг, площади бойка со стороны камеры прямого хода 3.33 см², камеры обратного хода — 1.38 см², длина фазы обратного хода до подачи командного сигнала на распределительное устройства для переключения его на фазу торможения и прямого хода бойка 40 мм. Общая масса устройства 33.5 кг. Давление зарядки аккумулятора 2.8 – 3.0 МПа.

В опытах задействована маслостанция с насосом НШ14, приводом которой служит электродвигатель мощностью 5.9 кВт и регулятором расхода МПГ55-12. Регулятор позволяет изменять подачу насоса в диапазоне 2–32 л/мин. Предохранительный клапан маслостанции настроен на максимальное давление 11 МПа. Для регистрации динамических характеристик использовались датчики давления Honeywell AP121DN с классом точности 0.3 и Honeywell MLH03 с классом точности 2, датчики перемещения RIDS-100FS и ДЛП-6 фирмы “Сенсорика-М” и расходомер расхода жидкости DV04.7 с классом точности 0.3, для обработки сигналов — согласующий блок, аналого-цифровой преобразователь Е-440 и персональный компьютер с программой PowerGraph.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

При испытаниях ударного устройства проведено несколько серий опытов. В каждой из серий при одинаковой настройке регулятора расхода МПГ55-12 (перед началом устанавливали величину идеального, без нагрузки, расхода) проводили опыты с разной настройкой регулировочных дросселей распределителя: дросселя Др1, соединяющего камеру управления с каналом управления, и дросселя Др2 — соединяющего ее со сливом (пат. 2321777 РФ).

На рис. 2а–в изображены осциллограммы (окна программы PowerGraph 3.3) динамических характеристик гидроударной системы: давлений в аккумуляторе, камерах обратного и прямого хода, перемещений золотника и бойка и импульсов расходомера, полученные при идеальном расходе $q_0 = 15$ л/мин и различных площадях сечения дросселя Др1.

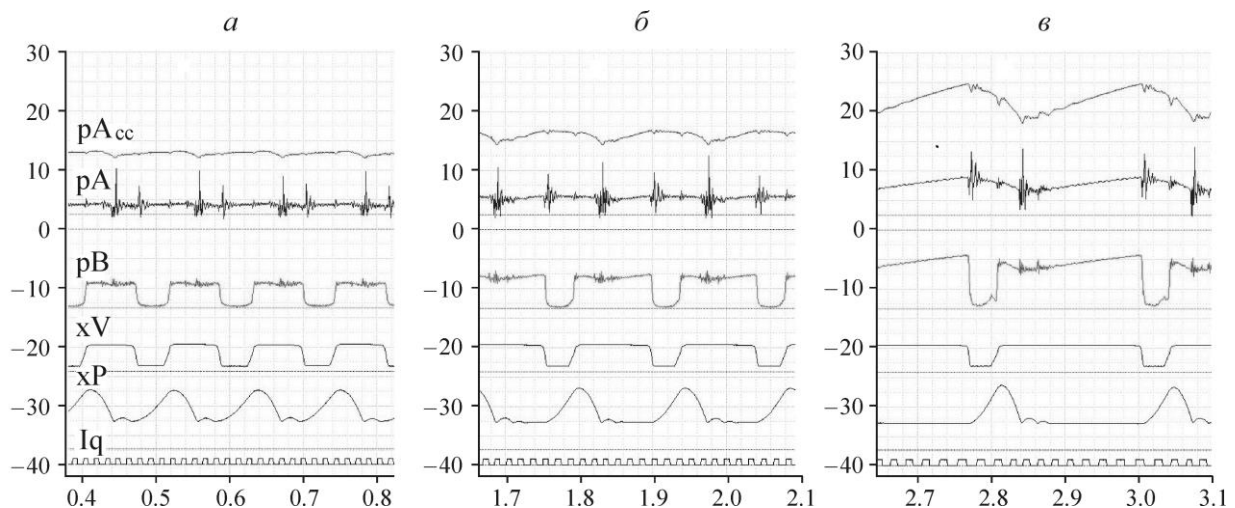


Рис. 2. Осциллограммы давлений в аккумуляторе p_{Acc} , камерах обратного p_A и прямого p_B хода, перемещений золотника x_V и бойка x_P , импульсов расходомера I_q при расходе насоса без нагрузки 15 л/мин, площади сечения дросселя Др2 0.64 мм^2 ; площадях сечения дросселя Др1, мм^2 : а — 0.42; б — 0.28; в — 0.14

В таблице и на рис. 3 представлены результаты четырех серий экспериментов. В них площадь дросселя Др2 в начальной фазе оставалась неизменной и составляла 0.64 мм^2 , а площадь дросселя Др1 изменялась в диапазоне $0 - 0.42 \text{ мм}^2$. Это позволяло при фиксированном давлении в камере управления, при котором происходил момент начала движения золотника, изменять давление в напорной линии системы, при котором начинался рабочий цикл. За начало цикла принимался момент начала движения бойка в фазе обратного хода, давление в напорной линии, при котором этот момент наступал, считали давлением задержки $p_{[3]}$.

На рис. 3 приведены зависимости соответственно предупредной скорости бойка v_l и частоты ударов f от $p_{[3]}$. Видно, что дроссельное регулирование момента начала рабочего цикла достаточно эффективно и позволяет изменять давление задержки $p_{[3]}$ примерно в 3 раза. При увеличении $p_{[3]}$ происходит значительное снижение поступающего к ударному устройству расхода жидкости (приблизительно в 2 раза), уменьшение частоты ударов f и увеличение предупредной

скорости v_l . Снижение расхода и частоты обусловлено влиянием давления на напорно-расходную характеристику насоса, а возрастание предупредной скорости связано с повышением среднего давления в системе и энергии, запасенной в аккумуляторе перед началом рабочего цикла, за счет задержки движения бойка.

Расход без нагрузки q_0 , л/мин	Площадь дросселя Др1, мм ²	Давление задержки $p_{[3]}$, МПа	Предупредная скорость бойка v_b , м/с	Частота ударов f , с ⁻¹	Потребляемый расход q , л/мин
5.6	0.42	4.13	2.71	3.00	4.59
	0.28	6.43	3.43	2.13	3.93
	0.21	9.12	4.33	1.22	2.96
9.6	0.42	4.30	2.95	5.48	8.68
	0.28	6.67	3.32	3.96	6.59
	0.21	9.78	3.68	2.47	4.67
12	2,25	3.55	2.74	7.43	10.17
	0.42	3.91	2.96	7.07	10.18
	0.28	5.74	3.73	5.78	8.84
	0.21	8.40	4.10	3.71	7.09
	0.14	10.08	4.26	2.76	5.61
15	0.49	3.74	3.10	8.49	12.54
	0.42	4.02	3.13	8.77	12.32
	0.28	5.58	3.87	6.99	10.83
	0.21	7.86	3.72	5.26	9.00
	0.14	8.97	4.40	4.15	8.13

При больших значениях расхода q_0 (в таблице и на рисунках эти опыты не приведены) наблюдаются большие скорости и частоты: так, при $q_0 = 32$ л/мин скорость бойка равна ~ 5 м/с, а частота ударов ~ 15 Гц. При этом изменялся режим работы устройства, фаза, в которой боек был неподвижен, не наблюдалась, устройство переходило к непрерывному циклу. В некоторых опытах наблюдалась его неустойчивая работа, что могло быть вызвано неотработанными параметрами золотникового распределителя, вследствие чего золотник не успевал возвращаться после окончания обратного хода бойка в исходное положение, боек совершал удар о верхнюю втулку и останавливался. При увеличении предварительного натяга пружины золотника удавалось устранить этот недостаток.

Зависимости предупредной скорости бойка от давления задержки (рис. 3а) показывают, что при небольших значениях q_0 они линейны, при $q_0 > 11$ л/мин рост v_l при $p_{[3]} > 7$ МПа замедляется. Этот факт требует более тщательного анализа, возможно он обусловлен влиянием температуры рабочей жидкости, которая в разных сериях опытов отличалась более чем в 1.5 раза. Снижение частоты ударов при увеличении давления задержки во всех сериях экспериментов носит линейный характер (рис. 3б).

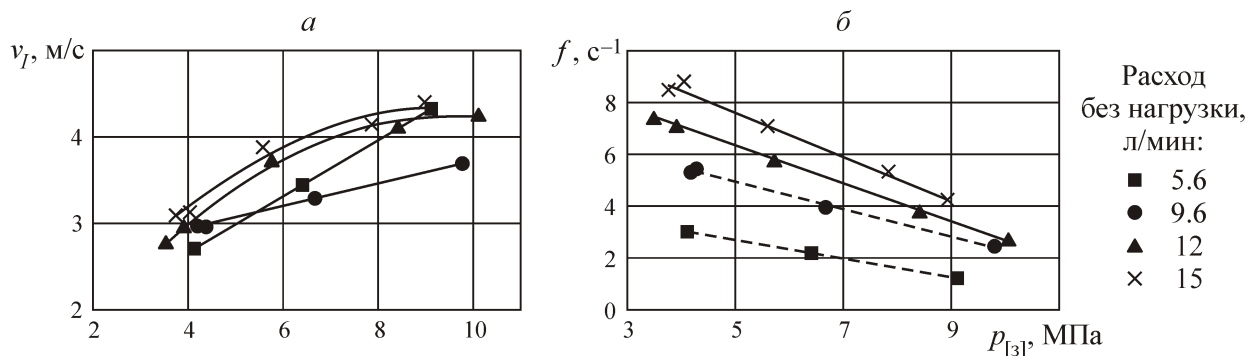


Рис. 3. Зависимости предупредной скорости бойка (а) и частоты ударов бойка (б) от давления задержки

ВЫВОДЫ

Экспериментальные исследования показали эффективность дроссельного управления структурой и характеристиками рабочего цикла ударного устройства. Оно позволяет изменять давление задержки, при котором начинается фаза обратного хода бойка, примерно в три раза, что ведет к повышению энергетических характеристик ударного устройства: предупредительной скорости бойка и ударной мощности. Устройство продемонстрировало устойчивую работу практически во всех рассмотренных режимах. Тем не менее, при увеличении давления задержки существенно снижается частота ударов, что, по-видимому, в большей степени связано с использованным в опытах источником расхода — насосом НШ-14.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Yang G. P.** Research of a full hydraulic pressure hydraulic impactor with strike energy and frequency adjusted independently, *Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition)*, 2006, vol. 21, no. 1, pp. 25–28.
2. **Yang G. P., Gao J. H., and Chen B. J.** Computer simulation of controlled hydraulic impactor system, *Advanced Materials Research (Materials Science and Engineering)*, 2011, vol. 179–180, pp. 122–127.
3. **Guoping Y. and Yubao Ch.** The research of new type hydraulic breaker with strike energy and frequency of adjusted, *Mechanical Engineering Research*, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 45–51.
4. **Kantowicz L. I., Lazutkin S. L., and Fabricnii D. Y.** Adaptive hydraulic impact device, *Mining machinery and electromechanics*, 2010, no. 2, pp. 32–35 [**Кантович Л. И., Лазуткин С. Л., Фабричный Д. Ю.** Адаптивные гидравлические ударные устройства // *Горное оборудование и электромеханика*. — 2010. — № 2. — С. 32–35.]
5. **Lazutkin S. L. and Lazutkina N. A.** Perspective construction of hydraulic impact device, *International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2015), Procedia Engineering* 129, 2015, pp. 403–407.
6. **Gorodilov L. V.** Analysis of the dynamics of two-way hydropercussion systems, Part I: Basic Properties, *Journal of Mining Science*, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 487–496 [**Городилов Л. В.** Исследование динамики гидроударных объемных систем двухстороннего действия. Ч. I: Основные свойства // *ФТПРПИ*. — 2012. — № 3. — С. 91–101.]
7. **Gorodilov L. V. and Kudryavtsev V. G.** Experimental research hydro-impact systems with the delay of the piston movement, *Machine Building*, 2016, no. 1(3), pp. 96–102 [**Городилов Л. В., Кудрявцев В. Г.** Экспериментальное исследование гидроударной системы с задержкой движения бойка // *Машиноведение*. — 2016. — № 1(3). — С. 96–102.]