



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УДАРНОЙ МАШИНЫ ОБЪЕМНОГО ТИПА**

**Б. Б. Данилов, Д. О. Чещин, В. В. Плохих**

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

Описан принцип действия ударного механизма с уплотнительными элементами и внешним распределительным устройством. Представлены результаты экспериментального исследования макетного образца, приведены индикаторные диаграммы.

*Ударные машины, пневмомолоты, гидромолоты, точность обработки, давление*

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE OPERATING PROCESS  
OF A VOLUME-TYPE HYDRAULIC IMPACT MACHINE**

**B. B. Danilov, D. O. Cheshchin, and V. V. Plokhikh**

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

The operating principle of the impact mechanism with sealing elements and an external switchgear is described. The results of an experimental study of the prototype are presented, indicator diagrams are shown.

*Impact machines, pneumatic hammers, hydraulic hammers, processing accuracy, pressure*

Использование ударных машин является существенной составляющей технологий разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, а также их добычи открытым и подземным способами. Они находят применение как при непосредственной разработке массива, так и при укреплении откосов, образовании скважин различного назначения и т. д. В качестве ударных машин широкое распространение получили пневмо- и гидромолоты [1–3].

Для бестраншейной прокладки коммуникации чаще всего используют способы виброударного прокалывания, продавливания, а также бурение. Для реализации первых двух способов как в России, так и за рубежом применяют в основном пневмопробойники и пневмомолоты [4–6]. Эти машины, благодаря простой и надежной конструкции, удобны в эксплуатации и достаточно долговечны.

В мире уже несколько десятилетий для таких работ используются гидравлические ударные машины. Однако их эксплуатация сложнее в технологическом отношении по сравнению с пневматическими и связана с высокими требованиями к точности изготовления деталей, условиям ремонта, уровню технического обслуживания и т. д. [5, 6]. Тем не менее гидропривод имеет существенные достоинства: большой резерв повышения ударной мощности, увеличение КПД машины, расширенные возможности для автоматизации режима работы в плане адаптации параметров энергетического воздействия к свойствам породного массива.

Поскольку для гидравлических машин необходима более высокая точность изготовления деталей и узлов, возрастает трудоемкость обработки и себестоимость продукции. Эта зависимость носит гиперболический характер (рис. 1). Причем стоимость возрастает заметно быстрее трудоемкости [7].

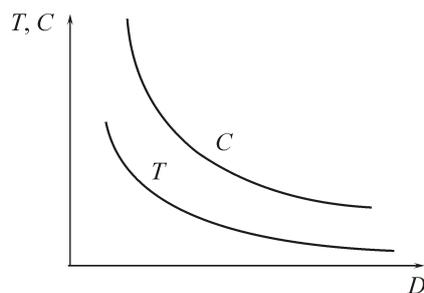


Рис. 1. Зависимость трудоемкости обработки  $T$  и себестоимости  $C$  продукции от точности изготовления изделия ( $D$  — допуск)

Идея предлагаемой конструктивной схемы ударной машины основывается на снижении точности изготовления сопряженных деталей “корпус – ударник” без ухудшения эксплуатационных характеристик машины благодаря уплотнительным элементам. Движение ударника в прямом направлении осуществляется за счет энергии воздуха в камере прямого хода (ударная камера) предварительно сжатого с помощью гидравлического энергоносителя, поступающего в камеру обратного хода (камера взвода). Герметичность камер обеспечивается уплотнениями, что позволяет снизить точность сопрягаемых деталей “корпус – ударник”, тем самым уменьшая как трудоемкость изготовления и ремонта машины, так и ее себестоимость.

Наличие уплотнительных элементов не дает возможность использовать традиционные конструктивные решения механизма распределения потока энергоносителя с каналами и отверстиями в корпусе, которые открываются или перекрываются при движении ударника. В таком случае необходимо реализовать функции обратной связи между положением ударника и направлением движения энергоносителя другими техническими средствами. Наиболее перспективными являются внешний распределитель и бесконтактные датчики [8]. Это значит, что при определении положения ударника, между ним и датчиком отсутствует механическая связь. Рассмотрим схему управления с поперечным измерителем (рис. 2).

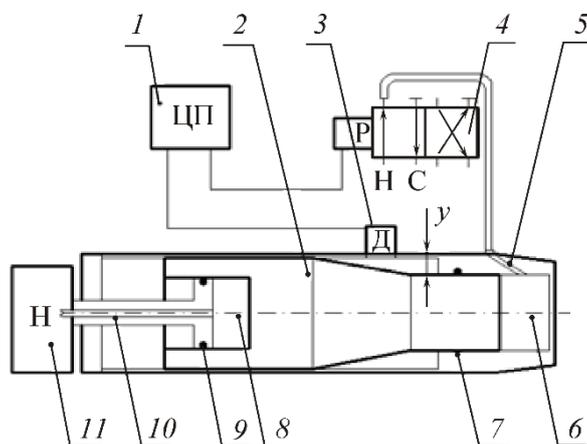


Рис. 2. Принципиальная схема гидроударника с поперечным измерителем: 1 — центральный процессор; 2 — ударник; 3 — датчик расстояния; 4 — электрозолотник; 5 — входной канал; 6 — камера холостого хода; 7, 9 — уплотнительные элементы; 8 — камера рабочего хода; 10 — вход магистрального давления; 11 — источник магистрального давления

Принцип действия механизма следующий. Камера рабочего хода 8 постоянно подключена к напорной линии, тем самым создает постоянное усилие на ударник для осуществления рабочего хода. Положение ударника отслеживается благодаря организованному на его поверхности конусу. Зная параметры конуса и определяя с помощью датчика 3 изменяющийся при работе машины зазор  $y$ , можно отслеживать положение ударника. Данные с датчика обрабатываются

центральным процессором 1, который в зависимости от значения переключает электрозолотник 4, подключая камеру холостого хода б к напору или сливу. Таким образом создается переменное усилие на ударник со стороны холостого хода, приводящее ударник в движение.

Основное преимущество представленной схемы — возможность плавного, бесступенчатого регулирования величины хода ударника за счет постоянного отслеживания его положения, что позволяет регулировать энергию и частоту ударов. Использование логических контроллеров дает возможность не только наиболее гибко осуществлять настройку машины, но и максимально автоматизировать этот процесс в зависимости от внешних условий.

Предварительное исследование схемы на имитационной модели показало, что в конце рабочего хода происходит резкое повышение давления в камере холостого хода. Можно предположить, что это связано с беспрепятственным сливом рабочей жидкости в конце рабочего хода из передней камеры, что приводит к торможению ударника, а следовательно, к снижению предупредительной скорости и КПД.

Так как максимальное сечение для слива ограничено конструктивными особенностями электрозолотника, то решением может служить дополнительная камера, выполняющая роль резервного объема для слива. Для этого она сообщается с камерой холостого хода через некоторый запорный узел, в качестве которого предлагается использовать эластичный клапан, закрывающий проход между камерами перед подачей энергоносителя и открывающий — при рабочем ходе ударника. Таким образом, часть энергоносителя будет вытесняться через золотник, а часть — в дополнительную промежуточную камеру. В результате дополнительная камера позволит устранить ограничение сливного сечения и повысит предупредительную скорость.

Для проверки работоспособности такой машины в ИГД СО РАН сконструирован и испытан ударный механизм, принципиальная схема которого представлена на рис. 3.

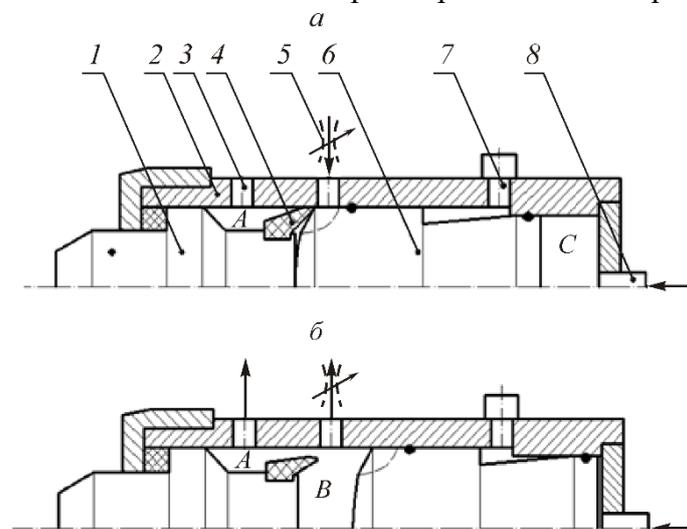


Рис. 3. Схема ударной машины с дополнительной сливной камерой: 1 — наковальня; 2 — корпус; 3 — выхлопное отверстие; 4 — эластичный клапан; 5 — золотник; 6 — ударник; 7 — датчик расстояния; 8 — вход магистрального давления

Принцип действия механизма такой же, как и на рис. 2, поэтому рассмотрим принцип работы дополнительной камеры. Камера А подключена на слив, а камера С — к напорной магистрали. В предупредительный момент (рис. 3а) ударник 6, сталкиваясь с эластичным клапаном 4, начинает прижимать его к корпусу 2, тем самым отсекая камеру А от камеры В. Через золотник 5 подается энергоноситель, давление которого начинает двигать ударник в режиме холостого хода и в тот же момент давление удерживает эластичный клапан в закрытом состоянии. По окончании взвода золотник 5 переключается на слив, давление в камере В падает и клапан под действием

собственной силы упругости принимает свое изначальное положение, при этом соединя камеру  $A$  и  $B$ . Ударник начинает рабочий ход, вытесняя энергоноситель в камеру  $A$  и на слив через золотник. Далее цикл повторяется. При взводе ударника происходит вытеснение рабочей жидкости из промежуточной камеры на слив.

Основной задачей экспериментально-исследовательской работы на этом этапе являлась проверка работоспособности эластичного клапана предложенной геометрической формы, а именно, оценка надежности механического замыкания клапана и сохранения замкнутого состояния под действием давления энергоносителя в камере холостого хода. Для упрощения задачи на этом этапе решено использовать в качестве энергоносителя сжатый воздух. Поскольку клапан не перемещается в процессе работы, смазывающие свойства жидкости не имеют значения, а динамика работы клапана определяется в основном давлением энергоносителя. В этом случае проще использовать сжатый воздух с соответствующим согласованием упругих свойств клапана с давлением.

Для оценки работы ударного механизма проведены измерения давлений  $p(B)$  и  $p(C)$  в камере  $B$  и  $C$  соответственно, а также перемещение ударника  $x$ . Результаты измерений представлены в виде диаграмм на рис. 4.

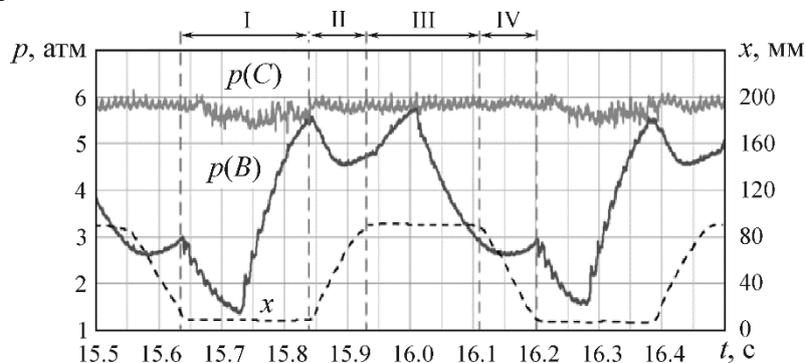


Рис.4. Диаграммы перемещения ударника, давлений в камере рабочего и холостого хода

Рассмотрим работу механизма в пределах одного цикла. Отталкиваясь от диаграммы перемещения можно выделить четыре этапа.

I этап. Происходит включение электрозолотника и подается давление в камеру  $B$  холостого хода. Как видно из рис.4, движения ударника не происходит, к тому же давление продолжает падать до минимального. Это объясняется задержкой, вызванной временем переключения золотника. После чего давление в камере  $B$  начинает резко возрастать, при этом движения ударника не происходит, что связано с действием силой трения уплотнений о корпус. Как только усилие, создаваемое давлением  $p(B)$ , превысит силу трения уплотнений и усилие в камере  $C$  от давления  $p(C)$  происходит движение ударника и начинается следующий этап.

II этап. Ударник начинает холостой ход. Происходит резкое увеличение объема камеры  $B$ , вследствие чего давление падает и начинает возрастать уже в конце холостого хода. По достижении ударником крайнего заднего положения электрозолотник выключается, тем самым подключает камеру  $B$  к выхлопу.

III этап. В связи с задержкой золотника давление в камере продолжает возрастать. По окончании времени переключения давление  $p(B)$  начинает резко снижаться, однако движения ударника не происходит. Это вызвано, как и в I этапе, силой трения уплотнений о корпус. Как только усилие, создаваемое давлением  $p(C)$ , превысит силу трения уплотнений и усилие от давления  $p(B)$  начинается рабочий ход ударника.

IV этап. Рабочий ход ударника. Давление  $p(B)$  падает, однако при движении ударника вытесняемый энергоноситель создает небольшое повышение давления, после чего происходит включение электрозолотника и цикл повторяется.

Проектная частота и частота машины, полученная на имитационной модели, закладывалась в диапазоне  $\nu = 5 - 6$  Гц. Однако в результате экспериментов удалось получить значения частоты  $\nu = 1.8 - 2$  Гц. Как видно из графика перемещений  $x$  (рис. 4), большое количество времени тратится на I и III этапы, т. е. на переключение золотника и на преодоление силы трения уплотнений.

## ВЫВОДЫ

Экспериментальные исследования доказали работоспособность гидравлической ударной машины объемного типа с внешним управлением и дополнительной сливной камерой. Использование серийно выпускаемых элементов и уплотнений позволит снизить трудоемкость изготовления, повысить ремонтпригодность машины. Возможность настройки энергетических характеристик в широком диапазоне путем изменения величины хода ударника является основой реализации адаптивных технологий и автоматизации рабочего процесса. Дальнейшая работа в этом направлении позволит расширить знания в области динамики ударных машин и создать новый ударный механизм для использования в роботизированных комплексах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Rybakov A. P.** Basics of trenchless technologies, Moscow, Press Bjuo no. 1, 2005, 304 pp. (in Russian) [**Рыбаков А. П.** Основы бестраншейных технологий. — М.: Пресс Бюро № 1, 2005. — 304 с.]
2. **Danilov B. B., Smolyanitsky B. N. and Cheshchin, D. O.** Justification of basic diagrams of horizontal drilling deflectors, Journal of Mining Science, Novosibirsk, 2015, issue 51, no. 3, pp. 553–561. [**Данилов Б. Б., Смоляницкий Б. Н., Чещин Д. О.** Обоснование принципиальных схем отклоняющих устройств в установках горизонтального направленного бурения скважин // ФТПРПИ. — 2015. — № 3. — С. 106–116.]
3. **Shadrina A., Saruev L., and Vasenin S.** The technology improvement and development of the new design-engineering principles of pilot bore directional drilling, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 43 (2016) 012068.
4. **Dobroselsky P. V.** Equipment for trenchless laying of underground communications on the basis of pneumatic punches and the prospects for its development, ROBT, ООО “ТИМР”, no. 2, 1996, 48 pp. (in Russian) [**Добросельский П. В.** Оборудование для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций на базе пневмопробойников и перспективы его развития // РОБТ. — М.: ООО “ТИМР”. — 1996. — № 2. — 48 с.]
5. **Ushakov L. S., Kotylev Y. E., and Kravchenko V. A.** Hydraulic impact machines, Moscow, Mechanical engineering, 2000, 415 pp. (in Russian) [**Ушаков Л. С., Котылев Ю. Е., Кравченко В. А.** Гидравлические машины ударного действия. — М.: Машиностроение, 2000. — 415 с.]
6. **Gorbunov V. F., Lazutkin A. G., and Ushakov L. S.** Pulsed hydraulic mining machines, Novosibirsk, Nauka, 1986. (in Russian) [**Горбунов В. Ф., Лазуткин А. Г., Ушаков Л. С.** Импульсный гидропривод горных машин. — Новосибирск: Наука, 1986. — 195 с.]
7. **Aristov A. I., Prikhodko V. M., Sergeev I. D., and Fatyukhin D. S.** Metrology, standardization, certification: Study guide, Moscow, INFRA-M, 2013. (in Russian) [**Аристов А. И., Приходько В. М., Сергеев И. Д., Фатюхин Д. С.** Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. пособие. — М.: ИНФРА-М, 2013. — 256 с.]
8. **Danilov B. B. and Cheshchin D. O.** Justification of the scheme of control of the impact mechanism with hydraulic charging. Fundamental and Applied Mining Science, Novosibirsk, issue 6, no. 3, 2019. (in Russian) [**Данилов Б.Б., Чещин Д.О.** Обоснование схемы управления ударным механизмом с гидравлическим взводом // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — Новосибирск: ИГД СО РАН. — 2019. — Т. 6. — № 3.]