



**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО
ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН В ПОРОДНОМ МАССИВЕ**

А. К. Ткачук, А. Ю. Примычкин

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail:808@nn.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Показан опыт использования образца вакуумной машины ударного действия при реализации технологий разведки полезных ископаемых и освоения подземного пространства. Экспериментально определены основные параметры ее автоматической системы управления, намечены пути модернизации.

Источник продольных волн, динамическое воздействие, разведка полезных ископаемых вакуумная ударная машина, система управления.

**DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL STUDY OF AN AUTOMATIC PULSE SOURCE
OF LONGITUDINAL WAVES IN A ROCK MASS**

A. K. Tkachuk and A. Yu. Primychkin

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail:808@nn.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091 Russia*

The article discusses a prototype of a vacuum impact machine. The experience of its use in the implementation of technologies for the exploration of minerals and the development of underground space is shown. The main parameters of the automatic control system of the VIM are experimentally determined. Further ways of automatic control systems modernization for machines of this class are outlined.

Longitudinal wave source, dynamic action, mineral exploration, vacuum percussion machine, control system

Для реализации технологий разведки полезных ископаемых и освоения подземного пространства в ИГД СО РАН созданы компрессионно-вакуумные машины ударного действия, рабочий цикл которых состоит из серии последовательных ударов по поверхности Земли с тарированной энергией для генерирования в породном массиве продольных волн с целью проведения инженерной сейсморазведки, а также обоснована возможность их использования для создания слабых динамических ударных воздействий в шахтном поле при подземной добыче полезных ископаемых и изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород с последующим снижением интенсивности толчков вне зоны ведения горных работ или перераспределения их вглубь массива [1–6]. На данном этапе получены важные научно-технические результаты, апробированы инновационные технологии.

В настоящее время в России и за рубежом для генерирования продольных волн в породном массиве в малоглубинной сейсморазведке в основном применяются источники колебаний с ручным приводом (кувалда, тренога с падающим грузом, лом и т. д.). Такие экономичные в эксплуатации источники продольных волн легко решают проблему их генерирования для глубин 100–150 м. Значительно сложнее обстоит дело с интервалом 150–500 м и выше, где требуется большая интенсивность единичного воздействия. Появление различного рода

накопительной аппаратуры, регистрирующей сигналы от множественных ударных воздействий позволяет посредством сравнительно легких бойков проводить исследования на глубины до 1500 м. В связи с этим упомянутые источники, связанные с человеческим фактором не дают возможности решить проблемы обеспечения сейсморазведки малых глубин, а также не применимы при создании длительных динамических воздействий в шахтном поле при добычи полезных ископаемых для технологий разведки и освоения подземного пространства.

Основная цель работы — создание и обоснование параметров систем автоматизированного управления компрессионно-вакуумных ударных машин для генерирования продольных волн в породном массиве, анализ результатов лабораторных и полевых исследований таких механизмов, а также определение перспективных путей развития машин данного класса.

Наиболее простым и надежным представляется создание автоматических источников, основанных на механических принципах коммутационного взаимодействия конструктивных элементов этих механизмов [7]. На первых порах такой подход позволит отказаться от сложной электроники, специального обеспечения питанием датчиков и блока управления. На этой основе был разработан автоматический копер с вакуумным приводом ВМУД-1 (вакуумная машина ударного действия).

Эксперименты, направленные на исследование влияния длительных слабых динамических ударных воздействий на поведение массива горных пород проведены на Восточном участке Таштагольского месторождения на гор. – 350 м в орте № 8 на глубине 800 м от земной поверхности. В качестве источника динамического воздействия на массив для возбуждения продольных волн деформаций использовалась ВМУД-1, представленная на рис. 1.

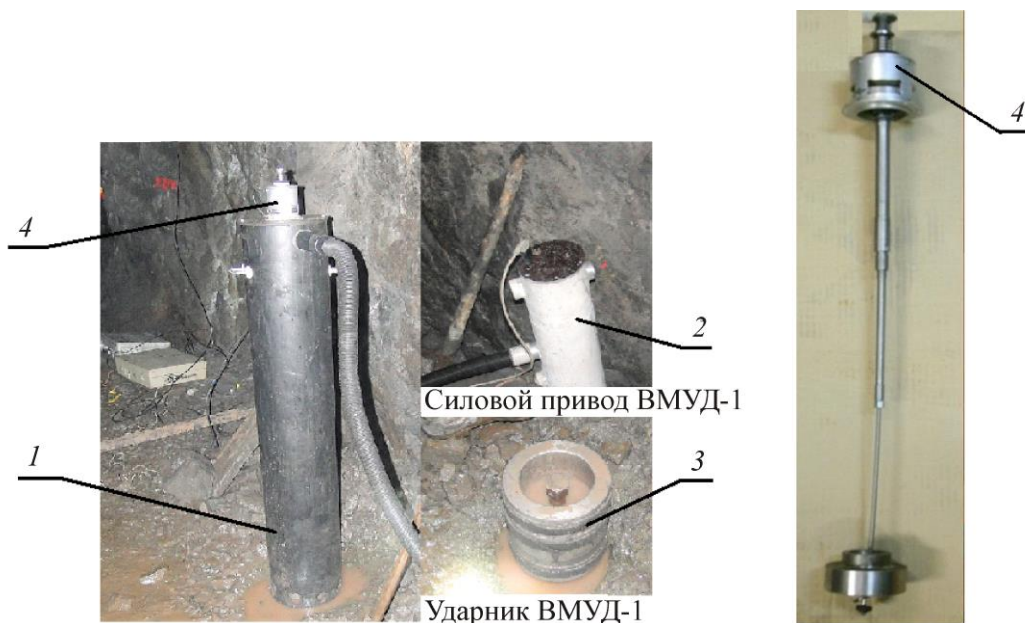


Рис. 1. Вакуумная машина ударного действия ВМУД-1: 1 — общий вид ВМУД-1, 2 — силовой привод ВМУД-1; 3 — ударник ВМУД-1; 4 — инерционно-фрикционный клапан с элементом в виде телескопической трубки

ВМУД-1 работает следующим образом: в исходном положении клапан 8 открыт (рис. 2а) и верхняя камера 4 через канал 14 соединена с атмосферой. Ударник 2 находится на рабочем инструменте 6. Переключатель 13 висит на элементе 12, присоединенном к золотнику 9 клапана 8. Включают вакуум-компрессор 5. Вручную нажимают на клапан 8 вниз до упора, преодолевая сопротивление пружины 10. Фрикционная втулка-седло 11 золотника 9 перекрывает канал 14. Верхняя камера 4 отсекается от атмосферы. Благодаря работе вакуум-комп-

рессора 5 в верхней камере 4 возникает вакуум, который поднимает ударник 2 вверх (рис. 2б). На заданной высоте подъема ударник 2 подхватывает переключатель 13 и движется вверх вместе с ним, сжимая элемент 12. В верхнем положении ударник 2 взаимодействует с золотником 9 через переключатель 13 и элемент 12 (рис. 2в). Клапан 8 поднимается вверх. Канал 14 открывается и верхняя камера 4 соединяется с атмосферой. Ударник 2 падает вниз вместе с переключателем 13 под действием силы тяжести. На заданной высоте элемент 12 полностью раскладывается, движение переключателя 13 останавливается. Золотник 9 клапана 8, соединенный элементом 12 с переключателем 13, перемещается вниз и фрикционная втулка-седло 11 перекрывает канал 14 от атмосферы. В верхней камере 4 начинает образовываться вакуум. Ударник 2 продолжает движение вниз и в конце рабочего хода наносит удар по рабочему инструменту 6. Повторного удара не происходит, поскольку ударник 2 подхватывается вакуумом верхней камеры 4 и перемещается вверх. Цикл повторяется в автоматическом режиме до тех пор, пока не выключится вакуум-компрессор 5 или механически не зафиксируют клапан 8 в верхнем положении. Принципиальная схема ВМУД-1 защищена патентом РФ [8].

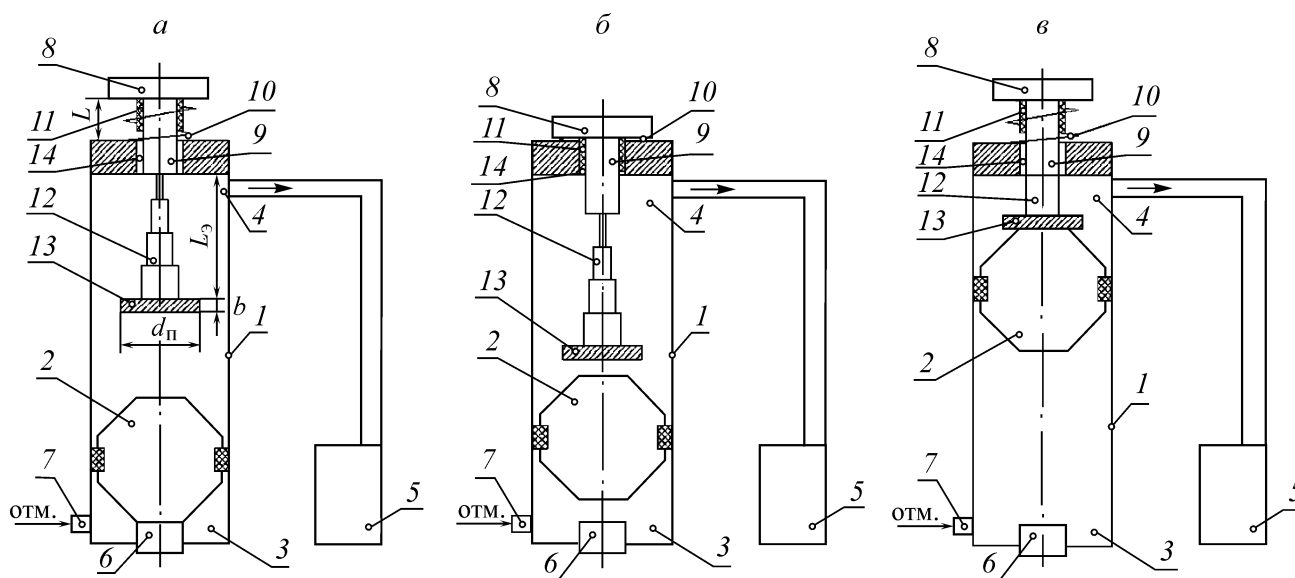


Рис. 2. Схема работы ВМУД-1: а — в исходном положении; б — при движении ударника вверх; в — в верхнем положении ударника (1 — корпус; 2 — ударник; 3 — нижняя камера, соединенная через канал 7 с атмосферой; 4 — верхняя камера, постоянно соединенная с вакуум-компрессором 5 и периодически через канал 14 с атмосферой; 6 — рабочий инструмент; 8 — инерционно-фрикционный клапан; 9 — золотник; 10 — пружина; 11 — втулка-седло; 12 — элемент (в виде телескопической трубки); 13 — гравитационный переключатель)

Работа ВМУД-1 в подземных условиях подтвердила ее эффективность, надежность и целесообразность применения в качестве невзрывного источника упругих волн. Однако испытания выявили некоторые технические недостатки.

Модернизация систем управления ВМУД-1. Для повышения энергетических параметров ВУМД-1, ее надежности, предотвращения отскока ударника проведены дополнительные лабораторные исследования, которые заключались в экспериментальном уточнении параметров элементов инерционно-фрикционного клапана. В результате исследований установлено, что преждевременная подача рабочей среды (технического вакуума) в верхнюю камеру снижает энергию единичного ударного воздействия, притормаживает ударник перед наступлением события (удара). Кроме того, немаловажное значение имеет форма и масса гравитационного переключателя 13. С одной стороны, он должен обеспечивать максимальный рабочий ход удар-

ника — иметь наименьшую высоту b , при этом свободно перемещаться в верхней камере корпуса, т. е. его диаметр должен исключать возможность заклинивания переключателя 13 в корпусе 1. С другой стороны, масса переключателя 13 не может превышать усилия пружины 10 в исходном положении ВМУД-1, так как это приведет к перекрытию канала 14 и, как следствие и дестабилизации рабочего цикла. При этом его инерционная масса при падении должна быть достаточна для перекрытия канала 14 фрикционной втулкой-седлом 11, а, значит, обеспечение обратного хода ударника. При реализации проекта на Таштагольском месторождении длина телескопического элемента $L_{тэ}$ ВМУД-1 для получения наибольшей энергии единичного ударного воздействия составляла $0.8L_{рх}$ ($L_{рх}$ — длина рабочего хода ударника), поскольку повторный удар (отскок) не имел негативного последствия на достижение основной цели работы — создание слабых динамических воздействий в шахтном поле.

Совсем иное значение приобретает повторный удар при осуществлении подземной сейсморазведки. Здесь последний крайне нежелателен, поскольку ведет к искажению сейсмограмм, снижению их качества и, как следствие, стагнации результатов проводимых сейсмоисследований. Возникают противоречащие друг другу задачи. С одной стороны, необходимо обеспечить наибольшую энергию ударного воздействия для увеличения глубины проникновения упругих продольных волн в исследуемый массив геосреды. С другой стороны, очень важным является предотвращение повторного удара, т. е. “подхват” ударника при отскоке, что неизбежно связано с подачей рабочей среды (технического вакуума) в верхнюю камеру за некоторое время до события (удара) и, как следствие, его предупредительное торможение. Поставленные задачи выполнялись путем экспериментального определения рациональной длины телескопического элемента, обеспечивающей реализацию “компромиссного” решения.

Экспериментальные исследования позволили обосновать и найти основные параметры системы автоматизированного управления ВМУД-1: масса груза-переключателя $m = 0.3$ кг, диаметр груза-переключателя $d = 75$ мм, высота груза-переключателя $b = 15$ мм, коэффициент упругости пружины 10 $k = 125$ Н/м, длина фрикционной втулки $l = 85$ мм, длина телескопического элемента, $L_{тэ} = 2/3L_{рх}$. Ниже приведены основные технические характеристики ВМУД-1 после ее модернизации:

Силовой привод:	Электрический
мощность, кВт	2
масса, кг	4
Количество рабочих камер	1
Материал корпуса	Полиэтилен
Длина рабочего хода ударника, мм	900
Внутренний диаметр корпуса, мм	200
Масса ударника, кг	40
Энергия единичного удара, Дж	320
Частота ударов, Гц	0.5–0.3

Таким образом, экспериментальные исследования параметров системы автоматизированного управления ВМУД-1 позволили повысить энергию удара на 15–20 %, сократить время рабочего цикла на 1 с, уменьшить общую массу машины и предотвратить возможность повторного удара (отскока) при сейсморазведочных работах. Разработанная система управления процессом генерирования ударного импульса в невзрывных сейсмоисточниках продольных волн для инженерной сейсморазведки также адаптирована и прошла успешные лабораторные и натурные испытания для других типоразмеров сейсмоисточников:

— масса ударника 12.5 кг, диаметр корпуса 160 мм, длина корпуса 1500 мм, энергия единичного удара 150 Дж;

— масса ударника 6 кг, диаметр корпуса 110 мм, длина корпуса 1200 мм, энергия единичного удара 60–70 Дж.

Следует отметить главный недостаток ВМУД-1. Ее система автоматизированного управления процесса генерирования ударного импульса обеспечивает лишь реализацию вертикально направленных ударов, что существенно снижает сферу ее применения. ВМУД-1 может широко использоваться в инженерной малоуглубинной сейсморазведке для генерирования продольных волн в массиве геосреды, для разрушения устаревших фундаментов при реконструкции зданий, для отбойки монолитов. Однако при реализации задачи инженерной сейсморазведки в строительстве — при прокладке подземных коммуникаций, в горном деле — при создании динамических ударных воздействий в шахтном поле для изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород и решении других задач очевидна необходимость разработки систем автоматизированного управления процессом генерирования ударного импульса, обеспечивающих возможность создания последнего в любом направлении трехмерной системы координат.

Значительным потенциалом в развитии автоматизированных импульсных систем, генерирующих регулируемые ударные воздействия, является наполнение этих систем электронными программируемыми элементами управления для осуществления последующих технологий, например, инженерная сейсморазведка, подземное и подводное строительство, добыча полезных ископаемых, горные работы и другие виды человеческой деятельности на сверхглубоких уровнях геосреды.

ВЫВОДЫ

Обоснованы и экспериментально определены рациональные параметры механической системы автоматизированного управления вакуумной машины ударного действия ВМУД-1, которые позволили сократить время рабочего цикла, уменьшить общую массу машины и предотвратить нежелательный повторный удар в инженерной сейсморазведке. Система автоматизированного управления процессом генерирования ударного импульса в невзрывных сейсмоисточниках продольных волн для инженерной сейсморазведки адаптирована для целого типоразмерного ряда сейсмоисточников, что позволило расширить диапазон проводимых сейсмоисследований.

Разработаны схемы программируемых электронных систем автоматизированного управления генераторов продольных волн для инженерной сейсморазведки и ударных механизмов различного назначения. Определены перспективы дальнейшего развития компрессионно-вакуумных машин данного класса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Shneerson M. B.** Theory and practice of non-explosive land seismic exploration, Moscow, Nedra, 1998, 527 pp. (in Russian) [**Шнеерсон М. Б.** Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки. — М.: Недра, 1998. — 527 с.]
2. **Hill I. F.** Field techniques and instrumentation in shallow reflection, Quarterly Journal Engineering Geology, 1992, no. 25, pp. 183–190.
3. **Palagin V. V., Popov A. Ya., and Dick P. I.** Shallow seismic exploration, Moscow, Nedra, 1989, 208 pp. (in Russian) [**Палагин В. В., Попов А. Я., Дик П. И.** Сейсморазведка малых глубин. — М.: Недра, 1989. — 208 с.]

4. **Sheriff R. and Geldart L.** Seismic survey, Moscow, Mir, 1987, vol. 1, 448 pp. (in Russian) [**Шериф Р., Гелдарт Л.** Сейсморазведка. — М.: Мир, 1987. — Т. 1. — 448 с.]
5. **Repin A. A., Tkachuk A. K., Karpov V. N., Beloborodov V. N., Yaroslavtsev A. G., and Zhikin A. A.** Development and research of an autonomous mobile compression-vacuum shock source of longitudinal waves for seismic prospecting, *Journal of Mining Science*, 2016, no. 1. pp. 144–151 (in Russian) [**Репин А. А., Ткачук А. К., Карпов В. Н., Белобородов В. Н., Ярославцев А. Г., Жикин А. А.** Разработка и исследование автономного мобильного компрессионно-вакуумного ударного источника продольных волн для сейсморазведки // *ФТПРПИ*. — 2016. — № 1. — С. 144–151.]
6. **Eremenko A. A., Timonin V. V., Bepalko A. A., Karpov V. N., and Shtirts V. A.** Determination of the impact of vibroimpact action on the rock mass on the intensity of geodynamic phenomena, *Fundamental and Applied Mining Science*, 2017, vol. 4, pp. 42–46. [**Еременко А. А., Тимонин В. В., Беспалько А. А., Карпов В. Н., Штирц В. А.** Определение влияния виброударного воздействия на массив горных пород на интенсивность геодинамических явлений // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. — 2017. — Т. 4. — С. 42–46.]
7. **Primychkin A. Yu., Kondratenko A. S., and Timonin V. V.** Determination of variables for air distribution system with elastic valve for down-the-hole pneumatic hammer, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, pp. 012025.
8. **Pat.** 161441 RF. Impact vacuum machine. A. K. Tkachuk, V. N. Karpov, N. N. Zabolotskaya, *Byull. Izobret.*, 2016, no. 11. [**Пат.** 161441 РФ. Вакуумная машина ударного действия. / А. К. Ткачук, В. Н. Карпов, Н. Н. Заболоцкая // *Опубл. в БИ*. — 2016. — № 11.]