

*В. В. Червов\**

## **Выбор энергосберегающей схемы воздухораспределения пневмомолота**

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения  
Российской академии наук, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: chervov@misd.ru

**Аннотация.** Виброударный метод продавливания труб при сооружении подземного перехода обеспечивает точность проходки и ее длину при высокой скорости погружения. Для реализации этого метода широко применяются пневматические устройства ударного действия – пневмомолоты, которые характеризуются простотой конструкции, низкой стоимостью, довольно высокой удельной мощностью, надежностью и долговечностью, им не нужна высокая квалификация обслуживания. Поиск нового рабочего цикла для создания пневматического ударного устройства с повышенными техническими и эксплуатационными свойствами является актуальной задачей, решение которой будет способствовать повышению скорости строительства окружающей инфраструктуры, уменьшению затрат и бережному отношению к окружающей среде. Для более высокой предупредительной скорости и роста кинетической энергии ударной массы следует исключить противодействие сжатого воздуха при рабочем ходе. Рост продолжительности холостого хода ударной массы приведет к увеличению времени одного цикла работы пневмомолота и понизит частоту ударов при сохранении пороговой величины энергии удара. Это, в свою очередь, ограничит расход воздуха от компрессора за единицу времени. Наибольшую экономию расхода воздуха за один цикл работы обеспечит отказ от "мертвого" объема управляемой камеры холостого хода.

**Ключевые слова:** пневматический молот, система воздухораспределения, сжатый воздух, дроссельный канал, частота, ударная масса, энергия удара, упругий клапан

*V. V. Chervov \**

## **The choice of energy-saving scheme of air distribution of pneumatic hammer**

Institute of Mining them. N. A. Chinakala,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: chervov@misd.ru

**Annotation.** The vibro-impact method of punching pipes in the construction of an underpass ensures the accuracy of penetration and its length at a high immersion rate. To implement this method, pneumatic percussion devices are widely used - pneumatic hammers, which are characterized by simplicity of design, low cost, fairly high power density, reliability and durability, they do not need high maintenance qualifications. The search for a new work cycle for creating a pneumatic percussion device with improved technical and operational properties is an urgent task, the solution of which will help increase the speed of construction of the surrounding infrastructure, reduce costs and respect the environment. For a higher pre-impact velocity and an increase in the kinetic energy of the impact mass, the back pressure of compressed air during the working stroke should be excluded. An increase in the

duration of the idling of the impact mass will lead to an increase in the time of one cycle of the pneumatic hammer and will reduce the frequency of impacts while maintaining the threshold value of the impact energy. This, in turn, will limit the air flow from the compressor per unit of time. The greatest savings in air consumption for one cycle of work will be provided by the rejection of the "dead" volume of the controlled idle chamber.

**Keywords:** pneumatic hammer, air distribution system, compressed air, throttle channel, frequency, impact mass, impact energy, elastic valve

Для реализации некоторых специальных строительных технологий, связанных с прокладкой защитных кожухов под дневной поверхностью грунта, используют импульсный способ прокладки стальной трубы в грунтовом массиве. Его производят при помощи навесных молотов.

Чтобы сократить технологическое время выполнения основных операций необходимо иметь достаточно мощное ударное устройство с наименьшим расходом сжатого воздуха. Наиболее известное и предназначенное для этих способов строительства пневматическое ударное устройство – это пневмопробойник [1].

### *Условия функционирования системы воздухораспределения.*

Главными способами развития и совершенствования пневмоударных устройств [2 – 4] для выполнения бестраншейной прокладки коммуникаций, а также для сооружения свайных оснований из стальных труб и проката в грунте, были и остаются: повышение порогового значения кинетической работы  $L$  (Дж) ударной массы и увеличение ее произведения на количество ударов  $f$  (Гц) в единицу времени

$$N = L \cdot f \quad (1)$$

Из анализа известных пневмомолотов следует вывод – камера рабочего хода, постоянно связанная с магистралью сжатого воздуха, применяется в большинстве случаев. Бесклапанная система воздухораспределения с передней управляемой камерой (для осуществления холостого хода ударной массы) наиболее популярна.

Для анализа энергетических показателей пневматического импульсного устройства сделаем допущение о том, что препятствие со стороны сил трения движению ударной массы отсутствует (рис. 1).

Тогда энергия удара  $L$  (Дж) есть произведение давления  $p_x$  (Па) воздуха в камере рабочего хода на величину его рабочего объема  $V_1$  (м<sup>3</sup>).

$$L = p_x \cdot V_1 \quad (2)$$

Ход ударной массы, умноженный на сечение камеры рабочего хода дает ее рабочий объем.

$$V_1 = S_1 \cdot X \quad (3)$$

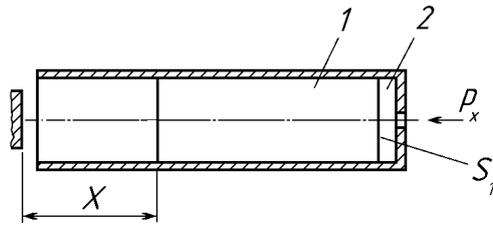


Рис. 1. Импульсное устройство: 1 – ударная масса; 2 – камера;  $S_1$  – площадь камеры рабочего хода;  $p_x$  – давление сжатого воздуха;  $X$  – ход ударной массы.

Перемещение ударной массы в крайнее заднее происходит под действием давления в камере холостого хода. Если сечение камеры холостого хода будет превышать площадь  $S_1$ , то холостой ход ударной массы осуществиться при давлении воздуха в передней камере меньшем, чем  $p_x$ .

Частота ударов  $f$  определяется временем цикла  $T_{ц}$ .

$$f = 1/T_{ц} \quad (4)$$

Время цикла  $T_{ц}$  состоит из продолжительности рабочего  $T_{рх}$  и холостого  $T_{хх}$  ходов ударной массы.

$$T_{ц} = T_{рх} + T_{хх}. \quad (5)$$

Если отсутствуют силы, препятствующие рабочему ходу ударной массы  $M$ , то его ускорение  $A$  вызвано силой, действующей от давления воздуха

$$A = S_1 \cdot p_x / M \quad (6)$$

Поскольку  $p_x$  можно считать постоянным, то движение ударной массы будет происходить с равным ускорением. Поэтому время рабочего хода

$$T_{рх} = (2 \cdot X / A)^{0,5}, \quad (7)$$

После подстановки формул 5 – 7 в формулу 4 частота ударов

$$f = ((2X \cdot M / (S_1 \cdot p_x))^{0,5} + T_{хх})^{-1} \quad (8)$$

Для роста частоты ударов следует увеличить  $S_1$  и давление  $p_x$  или уменьшить рабочий хода ударной массы (ф. 8).

Приведенное к давлению окружающего воздуха количество сжатого воздуха за один цикл работы ударного устройства (рис. 1)

$$Q_{ц} = V_{р1} \cdot (p_x + p_a) / p_a \quad (2.9)$$

Расход сжатого воздуха  $Q$  ударного устройства циклического действия за единицу времени определяется частотой ударов

$$Q = f \cdot Q_{ц} \quad (10)$$

Здесь не учтены потери воздуха, связанные с зазорами в парах трения.

Для уменьшения производительности передвижного компрессора можно нарастить ударную массу и удлинить ее рабочий ход, а также снизить давление в камере рабочего хода вместе с уменьшением ее площади сечения.

В основу функционирования любого пневматического устройства импульсного действия положены два разных момента – сначала давление в камере повышается за счет ее наполнения сжатым воздухом, а затем это давление снижается путем его выхлопа в атмосферу. Между ними существует отрезок времени, при котором одновременно закрыты оба канала – впускной и выпускной. Это происходит у большинства пневматических устройств ударного действия, например, в пневмопробойнике. Для расширения сжатого воздуха, который заполняет паразитный объем камеры холостого хода, требуется время для передачи энергии ударной массе, в конце которого открывается выхлоп в атмосферу. Чтобы снизить противодействие перед ударной массой стараются обеспечить быстрый выхлоп.

Возрастание продолжительности холостого хода  $T_{ХХ}$  можно обеспечить: задержкой подачи сжатого воздуха в камеру после нанесения удара; ростом продолжительности наполнения камеры сжатым воздухом; увеличением времени изоляции от всех каналов.

Существуют пневматические ударные устройства, например, это пневматический молоток (рис. 2) с дроссельным воздухораспределением [7 – 9], в которых впуск сжатого воздуха в камеру происходит даже при выхлопе воздуха через атмосферный канал 8.

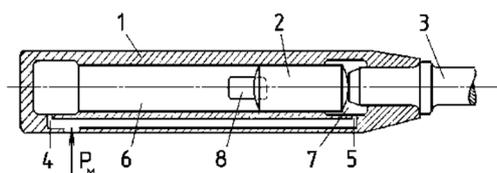


Рис. 2. Пневмоударное устройство с дроссельным воздухораспределением: 1 – цилиндр; 2 – боек; 3 – рабочий инструмент; 4 и 5 – дроссельные каналы; 6 и 7 – камеры; 8 – атмосферный канал;  $p_M$  – давление сжатого воздуха в магистрали

В дроссельном пневмоударном устройстве камеры холостого хода 7 и рабочего хода 6 имеют непрерывное сообщение с воздухоподводящей магистралью через дроссельные каналы 4 и 5. Обе камеры по очереди сообщаются с атмосферным каналом 8. Основное достоинство этого устройства – это простота конструкции, а главный недостаток заключается в большом удельном расходе воздуха.

В пневмопробойнике (рис. 3) при переднем положении ударной массы происходит быстрое заполнение сжатым воздухом "мертвого" объема и его расширение при холостом ходе ударной массы [1]. Необходимо, чтобы "мертвый" объем камеры холостого хода в пневмопробойнике был достаточно большим для накопления достаточной потенциальной энергии воздуха для холостого хода ударной массы назад. Кроме того, пневмопробойник с большим объемом передней камеры надежнее запускается в работу.

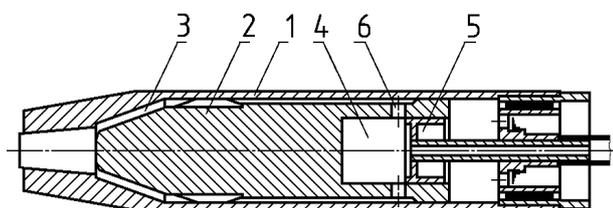


Рис. 3. Пневмопробойник: 1 – корпус; 2 – ударная часть; 3 – камера холостого хода; 4 – камера рабочего хода; 5 – воздухораспределительный патрубок; 6 – поперечное впускное отверстие.

Размещение нерабочего объема камеры делается путем сокращения массы и объема ударной части, и наоборот. В пневмопробойнике СО-134 "мертвый" объем составляет 2,2 л. Если этот объем добавить к ударной массе, то ее величина возрастет с 52 до 68 кг, т.е. в 1,3 раза.

Если убрать противодействие, то для получения кинетической энергии удара в 500 Дж рабочий ход ударной массы можно уменьшить в 1,6 раза – вместо 230 мм достаточно 140 мм. Это даст увеличение длины ударной массы на 100 мм и суммарная добавка ударной массы составит 50% или 25 кг.

Попытки поиска для пневмоударной машины [1, 2, 10 – 18] возможно лучшего цикла ее работы привели в итоге к разработке принципиальной схемы устройства [19] с упругим клапаном. Это принципиально новое техническое решение привело к резкому уменьшению требуемого для нормальной работы количества сжатого воздуха, устранению потерь предупредительной скорости, увеличению ударной массы и энергии с одновременным сокращением габаритов машины.

Слияние в одну конструкцию устройств ударного действия двух технических решений [20 и 21] обеспечило появление качественно иного пневмоударного устройства [22, 23] (рис. 4).

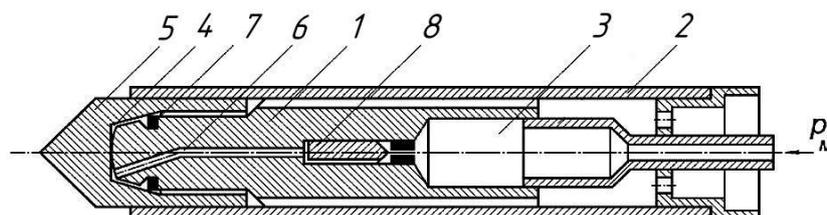


Рис. 4. Двухклапанное пневмоударное устройство: 1 – ударная масса; 2 – корпус; 3 – камера рабочего хода; 4 – камера холостого хода; 5 – наковальня; 6 – канал; 7 – кольцевой клапан; 8 – инерционный клапан.

В этом устройстве ударная масса 1 перемещается в корпусе 2 давлением в камере 3 рабочего хода в направлении камеры 4 холостого хода и наковальни 5. Камера 4 по каналу 6 наполняется воздухом, и в ней растет давление, под действием которого ударная масса 1 совершает холостой ход, а кольцевой клапан 7 растягивается в радиальном направлении, увеличивает свой диаметр и скользит по наковальне 5. В конце хода камера 4 сообщается с атмосферой, и происходит полный выхлоп. Магистральным давлением  $p_M$  ударная масса разгоняется, совершает рабочий ход и ударяет по наковальне 5. При этом кольцевой клапан не касается наковальни 5, что исключает сопротивление рабочему ходу ударной массы 1.

### Заключение

Использование принципиальной схемы ударного устройства без внутреннего расширения воздуха дает возможность создать пневмомолот, обладающий рядом новых свойств:

- мгновенный выход воздуха и стремительное падение давления в камере холостого хода;
- стабильный цикл работы благодаря применению упругого клапана в выхлопном канале;
- сечение дроссельного канала в камеру холостого хода ограничивает расход воздуха;
- изменение диаметра канала обеспечивает задержку холостого хода;
- увеличение рабочего хода обеспечивает повышенную энергию удара;
- малые размеры упругого клапана уменьшают габариты устройства;
- надежность работы вследствие малой деформации упругого клапана;
- большой зазор между ударной массой и корпусом;
- ограничение пустого расхода сжатого воздуха;
- торможение ударной массы давлением и потери энергии отсутствуют

– отсутствие расширения внутри камеры машины и ее необмерзание.

Последнее свойство является одновременно и недостатком – выходящий в атмосферу воздух обладает теряемой энергией. Чтобы решить проблему, надо продолжить исследования и поиск принципиально новых систем воздухораспределения пневмоударных машин.

*Статья подготовлена при финансовом обеспечении выполнения проекта госзадания № 0256-2021-0003.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гурков К.С., Климашко В.В., Костылев А.Д. и др. Пневмопробойники. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1990. – 217с.
2. Суднишников Б.В., Есин Н. Н., Тупицын К. К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. – Новосибирск: Наука, 1985. – 134 с.
3. Гурков К. С., Костылев А. Д., Ткаченко Г. А. Повышение эффективности пневмопробойников // Научные основы механизации горных работ: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1986. – С. 81–92.
4. Гилета В. П., Сырямин Н. Д. К вопросу создания пневмоударного устройства повышенной мощности для забивания труб // Виброударные процессы в строительном производстве: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1986. – С.15–22.
5. Белоусов А. В. Регулирование параметров пневмоударных механизмов // Пневматические буровые машины: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1984. – С. 41–49.
6. Гайслер Е. В. К вопросу об оптимальном цикле пневмоударных машин // Импульсные машины для горного и строительного производства: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1990. – С.60 – 66.
7. А. с. 247179 СССР. Пневматический молоток. / Клушин Н. А., Абраменков Э. А., Суворов Д. Г. и Бирюков Б. М. – опубл. в Б. И. 1969, № 22.
8. А. с. 247180 СССР. Пневматический молоток. // Клушин Н. А., Абраменков Э. А. и Суворов Д. Г. – опубл. в Б. И. 1969, № 22.
9. Абраменков Э. А. Об установлении структуры ударной мощности пневмоударного механизма [Текст] / Э. А. Абраменков // Пневматические буровые машины: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1984. – С. 79–86.
10. Костылев А. Д., Плавских В. Д. и Чередников Е. Н. Исследование рабочего процесса реверсивных пневмопробойников // Горные машины: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1980. – С. 3–13.
11. Смоляницкий Б. Н. К методике расчета пневматической машины ударного действия с одной управляемой камерой // Горные машины: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1980. – С. 37–44.
12. Петреев А. М., Богинский В. П. Исследование динамики бесклапанного пневмоударного механизма с одной рабочей камерой // Горные машины: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1980. – С. 20–37.
13. Сырямин Ю. Н., Смоляницкий Б. Н. Исследование бесклапанного пневмоударного механизма с двумя управляемыми камерами с целью создания машин со сквозным осевым каналом // ФТПРПИ. – 1986 – № 2. С. 63–69.
14. Смоляницкий Б. Н. Новые конструктивные схемы пневмоударных механизмов для забивания в грунт длинномерных стержневых элементов // ФТПРПИ. – 1987 – № 6. С. 68–73.
15. Лысенко Л. Л. Выбор параметров пневмоударного механизма с клапанным воздухо-распределением // ФТПРПИ. – 1995 – № 2. С. 56–62.

16. Ткач Х. Б., Шер Е. Н., Прасолов А. В., Трубицын В. В. Новый метод определения параметров рабочего цикла пневматической виброударной машины // ФТПРПИ. – 1995 – № 3. С. 37–40.
17. Ткач Х. Б. О работе пневматического поршневого привода с выхлопом в среду с давлением большим атмосферного // ФТПРПИ. – 1996 – № 6. С. 63–71.
18. Русин Е. П., Юрьев Л. А. К оценке параметров рабочего цикла пневмоударных машин // ФТПРПИ. – 1996 – № 6. С. 83–87.
19. Смоляницкий Б.Н., Червов В. В., Скачков К. Б. Новые пневмоударные машины Института горного дела СО РАН //Механизация строительства. – 2001 – № 12, С.7–12.
20. Патент РФ № 2462575. Устройство ударного действия. / Червов В. В., Смоляницкий Б. Н., Трубицын В. В., Червов А. В., Тищенко И. В. – опубл. в Б. И. 2012, № 27.
21. Патент РФ № 2400350. Устройство ударного действия. / Червов В. В., Смоляницкий Б. Н., Трубицын В. В. – опубл. в Б. И. 2010, № 27.
22. Тищенко И. В., Червов В. В. Дистанционное управление частотой ударов пневмомолота с механическим замыканием упругого клапана // ФТПРПИ. – 2023 – № 1. С. 95–106.
23. Червов В. В., Тищенко И.В., Червов А. В. Создание физической модели генератора ударных импульсов и высокочастотного пневматического молота // Горный журнал. – 2022 – № 2. С. 57–62.

© В. В. Червов, 2023