

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПНЕВМОМОЛОТА ДЛЯ ЗАБИВАНИЯ В ГРУНТ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

*Владимир Васильевич Червов*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, зав. лабораторией механизации горных работ, тел. (383)205-30-30, доб. 128, e-mail: chervov@misd.ru

Приведено краткое описание оборудования, применяемого для бестраншейной технологии прокладки коммуникаций. Обоснованы основные параметры пневмомолота, предназначенного для забивания в грунт труб с открытым концом диаметром больше 426 мм. Приведено описание устройства и принципа работы пневмомолота, имеющего систему воздухо-распределения с использованием упругого кольцевого клапана в качестве основного элемента. На основе анализа многолетней эксплуатации оборудования для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций и для забивания вертикальных труб установлена периодичность и последовательность появления трещин, разрушения и выхода из работоспособного состояния основных деталей пневматического молота. Предложены новые принципы расчета и конструирования пневмомолота с большой массой ударной части без потери производительности выполнения работ. В основу способа решения проблем, связанных с усталостным разрушением основных деталей, положено снижение скорости их соударения.

**Ключевые слова:** ударник, корпус, наковальня, сжатый воздух, частота ударов, упругий клапан, масса, трещина.

## IMPROVEMENT OF DESIGN OF PNEUMATIC HAMMER FOR DRIVING VERTICAL PIPES WITH LARGE DIAMETER INTO SOIL

*Vladimir V. Chervov*

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Head of Mining Mechanization Laboratory, phone: (383)205-30-30, extension 128, e-mail: chervov@misd.ru

A brief description of the equipment used for trenchless pipe laying is given. The basic parameters of a pneumatic hammer designed for driving pipes into soil with an open end greater than 426 mm in diameter are substantiated. The description of the device and operating principle of a pneumatic hammer with an air distribution system using an elastic circular valve as the main element is presented. Based on the analysis of many-year operation of equipment for trenchless pipe laying and driving vertical pipes, the frequency and sequence of crack appearance, destruction and failure of the main parts of the pneumatic hammer are determined. New principles of calculation and design of a pneumatic hammer with a large mass of the striking part without loss of work performance are proposed. The solution to the problems associated with fatigue failure of the main parts is a decrease in striking velocity.

**Key words:** striking part, body, anvil, compressed air, impact frequency, elastic valve, weight, crack.

В условиях современного города строительство новых и ремонт существующих подземных коммуникаций невозможен без улучшения бестраншейных технологий производства работ и создания новой техники. Объемы возведе-

ния и реконструкции промышленных и гражданских объектов, транспортных магистралей и коммуникаций увеличиваются. Это обусловлено сложной инфраструктурой современных городов, а также усилением экологических ограничений, направленных на сохранность природного ландшафта. В перечень таких работ входит не только бестраншейная прокладка подземных каналов, но и укрепление откосов котлованов и насыпей, сооружение подпорных стенок и экранов, получение набивных свай под фундаменты зданий, опор мостов, эстакад, линий электропередач. В условиях ограниченного технологического пространства выполнение работ при помощи бурильных установок затруднительно, поэтому создание надежного и долговечного пневмомолота в сочетании с повышенными эксплуатационными характеристиками является актуальной задачей.

Потребитель всегда заинтересован в более высокой производительности машин при сохранении или уменьшении расхода воздуха, что дает не только сокращение периода выполнения работ, но и снижение эксплуатационных расходов. С учетом этого, в ИГД СО РАН велись активные поисковые работы по созданию нового поколения пневматических ударных машин с гибкой структурой ударной мощности, которые должны иметь качественное и принципиальное отличие от аналогов – пневмопробойников [1].

Новое поколение пневмоударных машин основано на применении воздухораспределения с упругим кольцевым и инерционным клапанами, изобретенными соответственно в 1993 и 94 годах [2, 3]. На основе принципиально нового воздухораспределения был разработан, изготовлен и испытан типоразмерный ряд опытных образцов пневмомолотов для забивания в грунт труб, в том числе и большого диаметра, самый крупный из которых изготовлен с массой ударника 1000 кг. Технические характеристики этих устройств приведены в таблице.

Технические характеристики пневмомолотов двойного действия

Показатель	Тайфун 190	Тай- фун 320	Тайфун 300*	Тай- фун 500	Тайфун 740	Тайфун 1000
Энергия удара при давлении 0,6 МПа, Дж (верт.)	1800 (2150)	2800 (3500)	3000 (3500)	4000 (5000)	6000 (8000)	8300 (11500)
Частота ударов **, мин <sup>-1</sup>	120–175	65–125	114–174	60–115	60–90	42–65
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин.	5–7,5	5–9	5,7–10	6–11	8–12	11–18
Масса ударника, кг	190	320	300	500	740	1000
Масса машины, кг	380	650	700	1300	1750	2500
Габариты машины, мм						
длина	1680	1920	1380	1910	2620	2670
диаметр корпуса	240	270	410	410	410	456
Наибольший*** диаметр забиваемых труб, мм	530	630	630	820	1020	1220

\* Без инерционного клапана.

\*\* Меньшее значение частоты ударов соответствует меньшему значению расхода воздуха.

\*\*\* Применение рекомендуемых  $\varnothing$  труб гарантирует забивание труб длиной не менее 20 м.

В них обеспечены более высокие по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами энергетические показатели и экономичность при одинаковых габаритах и общей массе.

Для ведения работ как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении [5, 6] в пневмомолоте с двумя пневматическими камерами реализовано двойное действие на ударник со стороны сжатого воздуха (рис. 1).

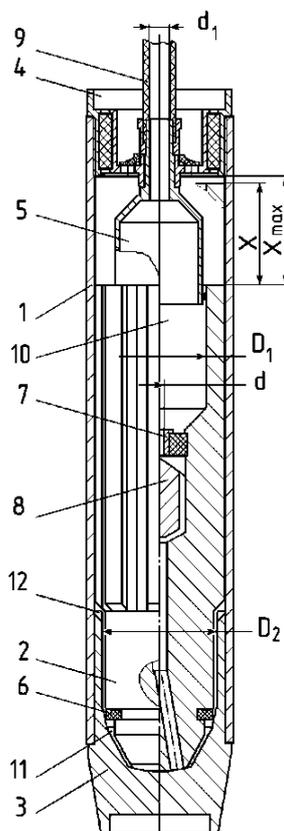


Рис. 1. Схема пневмомолота с упругим и инерционным клапанами в системе воздухораспределения.

1 – корпус; 2 – ударник; 3 – наковальня; 4 – хвостовик; 5 – патрубок; 6 – упругий клапан (резинное кольцо); 7 – жиклер; 8 – инерционный клапан; 9 – рукав; 10 – камера прямого хода; 11 – камера обратного хода; 12 – пазы;  $d$  – диаметр калиброванного отверстия;  $d_1$  – диаметр магистрального канала;  $D_1$  – диаметр камеры прямого хода;  $D_2$  – диаметр камеры обратного хода;  $X$  – длина рабочего хода ударника;  $X_{\max}$  – длина габаритного хода ударника.

Принцип действия пневмомолота. Сжатый воздух по рукаву 9 заполняет камеру прямого хода 10. Под действием веса и давления в камере ударник 2 опускается в наковальню 3. Резиновое кольцо 6 касается внутренней конической поверхности наковальни 3 и закрывает сообщение камеры обратного хода

(холостого) 11 с атмосферой. Сжатый воздух из камеры прямого хода 10 через калиброванное отверстие в жиклере 7 давит на клапан 8 и отодвигает его от жиклера 7. По каналам, выполненным на наружной поверхности инерционного клапана 8, и через сквозное отверстие в ударнике 2 сжатый воздух поступает в камеру обратного хода 11 [7]. В ней повышается давление, под действием которого вследствие разности площадей ударник 3 совершает обратный ход. Резиновое кольцо 5 давлением воздуха прижимается к ударнику и к внутренней конической поверхности наковальни, растягивается в диаметре, скользит по ней и герметизирует камеру обратного хода 6. При этом площадь сечения камеры обратного хода возрастает до внутренней цилиндрической поверхности наковальни 3. В конце обратного хода ударника резиновое кольцо оказывается на пазах 12 в конце наковальни 3. По каналам, образованным внутренней цилиндрической поверхности и пазами, выполненными на наружной цилиндрической поверхности ударника 2, через отверстия в хвостовике 4 камера обратного хода 11 сообщается с атмосферой. Давление в камере обратного хода 11 падает, и под действием упругих сил, возникших вследствие растяжения, резиновое кольцо сжимается и уменьшается в диаметре [8]. В образовавшийся между резиновым кольцом и внутренней поверхностью наковальни зазор устремляется весь поток сжатого воздуха из камеры обратного хода, и далее по пазам на ударнике 2, через отверстия в ступице 4 выходит в атмосферу. Давлением в камере прямого хода 10 ударник 2 с ускорением перемещается вперед к наковальне и наносит по ней удар. При этом ударник 2 движется без сопротивления, так как при этом он только вытесняет воздух из камеры обратного хода 11 в атмосферу. Перед ударом резиновое кольцо 6 приходит в соприкосновение с внутренней конической поверхностью наковальни 3.

По результатам анализа собранной информации от наших Заказчиков о многолетней эксплуатации пневмомолотов была установлена последовательность появления трещин, разрушения и выхода из работоспособного состояния его основных деталей.

Первым разрушается толстостенный цилиндрический корпус (рис. 2, *а*). Ресурс корпуса определяется интенсивностью эксплуатации оборудования и в среднем составляет 3–5 лет. После замены корпуса продолжительность эксплуатации до появления трещины сохраняется. Но одновременно с этим появляется трещина на наковальне (рис. 2, *б*) и на ударнике (рис. 2, *в*).

Как показал опыт доводки пневматических устройств ударного действия, уменьшение предударной скорости до 3,5 м/с в пневмопробойниках на стадии доводки этих машин оказалось эффективной мерой, которая обеспечила устранение поломок ударников по впускным окнам [9]. Конструкция пневматического молота имеет много общего с конструкцией пневмопробойника. Ударный импульс в этих устройствах полностью передается через наковальню на корпус, имеющий цилиндрическую форму.

После длительной эксплуатации в течение нескольких тысяч часов возникают трещины в ударниках в его передней части в зоне расположения выхода сквозного канала вследствие концентрации напряжений.



Рис. 2. Трещины в основных деталях пневмомолота с массой ударника 740 кг:  
 а) корпус; б) наковальня; в) ударник

Уменьшенная на  $\Delta M$  масса ударника предполагает изменение единичной энергии удара в сторону ее снижения для сохранения или уменьшения скорости  $V$  соударения ударника и наковальни. Для этого необходимо уменьшить рабочий ход ударника до выхлопа не менее, чем на величину  $\Delta X$ .

$$\Delta X = \frac{\Delta M \cdot V^2}{2S_1 \cdot p_1}$$

Величина рабочего хода ударника определяется длиной проекции образующей внутренней полированной конической и цилиндрической поверхностей наковальни, имеющей ломанную форму, за счет сокращения цилиндрической части. Целесообразно это уменьшение производить путем использования в качестве конструкции новой наковальни аналогичной детали из типоразмерного ряда от ближайшего меньшего по энергии удара пневматического молота в этом калибре, в котором используется одинаковая площадь камеры  $S_1$  прямого хода и среднее давление  $p_1$  в этой камере.

Для разработки конструкции [10, 11] и изготовления опытных образцов с увеличенной массой ударника были использованы бывшие в употреблении основные детали пневмомолота с массой ударной части 500 кг и 740 кг.

При вертикальной работе увеличение массы ударника с 500 кг до 620 кг (на 24%) привело к росту энергии удара с 5.0 кДж до 5.3 кДж. Но при этом произошло снижение предударной скорости на 7...8% и уменьшение максимальной частоты ударов с 1.5 до 1.2 Гц (на 25%). Аналогично при вертикальной работе увеличение массы ударника с 300 кг до 400 кг (на 33%) также привело к небольшому росту энергии удара с 3.5 кДж до 3.6 кДж, но при этом предударная скорость практически не изменилась. Максимальная частота ударов уменьшилась с 2.6 до 2.3 Гц (на 13%).

При горизонтальной работе энергии удара двух опытных образцов остались на прежнем уровне – 4 кДж и 3 кДж, но за счет более массивных ударников предударная скорость снизилась значительно – на 8...13%.

Расход воздуха в опытных образцах уменьшился (рис. 3, а, б) за счет снижения частоты ударов.

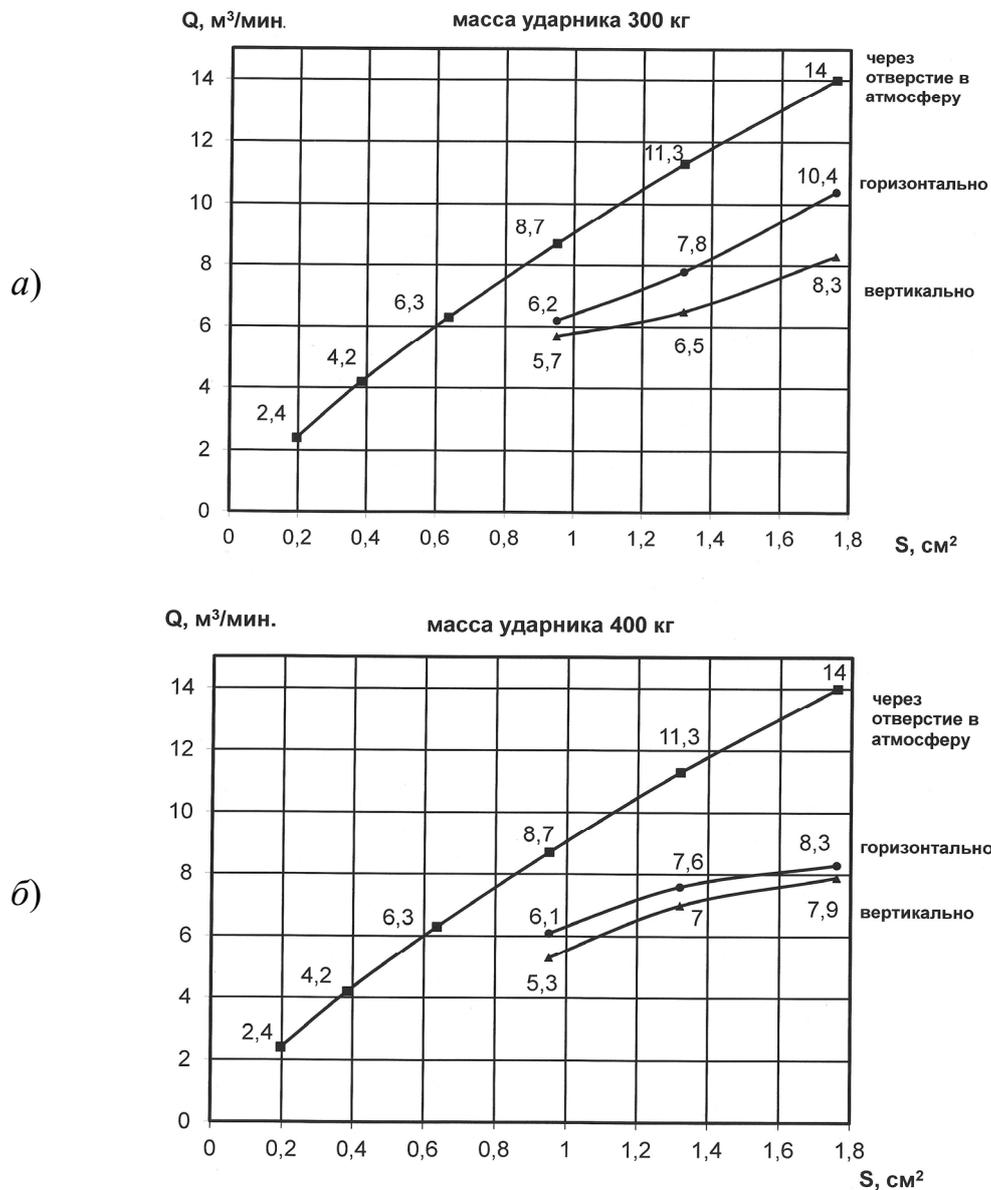


Рис. 3. Расход воздуха  $Q$  в зависимости от сечения  $S$  жиклера опытных образцов пневмомолота с массами ударной части:  
а) 300 кг; б) 400 кг

Выводы:

1. При уменьшении рабочего хода ударника снижается предупредная скорость и повышается частота ударов пневматического молота.
2. Увеличение массы ударной части пневмомолота при сохранении рабочего хода не приводит к росту расхода воздуха.

Автор благодарит сотрудников лаборатории механизации горных работ ИГД СО РАН за участие в создании опытных образцов пневмомолотов.

*Работа выполнена в рамках госзадания по проекту № 0321-2016-0005.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гурков К.С., Климашко В.В., Костылев А.Д. и др. Пневмопробойники. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1990. – 217 с.
2. Патент РФ № 2105881. Устройство ударного действия. / Червов В.В., Трубицын В.В., Смоляницкий Б.Н., Вебер И.Э. – опубл. в Б. И. 1998, № 6.
3. Патент РФ № 2085363. Устройство ударного действия. / Червов В.В., Смоляницкий Б.Н., Трубицын В.В., Вебер И.Э. – опубл. в Б. И. 1997, № 21.
4. Гурков К.С., Климашко В.В., Костылев А.Д. и др. Новый типоразмерный ряд пневмопробойников // ФТПРПИ. – 1989. – № 4. – С. 61–65.
5. Смоляницкий Б.Н., Червов В.В., Скачков К.Б. Новые пневмоударные машины Института горного дела СО РАН //Механизация строительства. – 2001. – № 12. – С.7–12.
6. Петреев А.М., Примычкин А.Ю. Работа кольцевого упругого клапана в пневмоударном приводе // ФТПРПИ. – 2016. – № 1. – С.132–143.
7. 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.
8. Патент РФ № 2400350. Устройство ударного действия. / Червов В.В., Смоляницкий Б.Н., Трубицын В.В. – опубл. в Б. И. 2010, № 27.
9. Суднишников Б.В., Есин Н.Н., Тупицын К.К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. – Новосибирск: Наука, 1985. – 134 с.
10. Тищенко И.В. Модели пневматических импульсных генераторов с переменной структурой ударной мощности // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 3. – С.79–87.
11. Червов В.В. Основы конструирования пневмомолота для бестраншейной прокладки коммуникаций // Проблемы и перспективы развития горных наук: международная конференция, 1–5 ноября 2004. – Новосибирск. – С. 127–132.

© В. В. Червов, 2020