



**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МОЛОТОВ С ПЕРЕМЕННОЙ
СТРУКТУРОЙ МОЩНОСТИ ПРИ СООРУЖЕНИИ СВАЙНЫХ ОСНОВАНИЙ**

В. В. Червов

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

Обоснована актуальность применения пневматических молотов при строительстве подземных сооружений. Предложены зависимости величины энергии единичного удара пневматического молота от диаметра забиваемой трубы. Определены силы сопротивления со стороны, возникающие при забивании стальной трубы. В качестве главного технического показателя пневматического молот предложена масса его ударной части. Приведены особенности устройства и технические характеристики пневматических молотов с переменной структурой мощности. Описан практический опыт вертикального забивания труб при сооружении свайных оснований. Рассмотрены технологические операции по возведению подпорных стен в грунте на основе использования стальных шпунтов, труб, швеллеров, двутавров и т.п. Даны способы размещения и устройство технологической оснастки для фиксации пневматического молота на забиваемой в грунт стальной трубе.

Пневматический молот, труба, масса, удар, частота ударов, сжатый воздух, грунт, сила

**EXPERIENCE OF USING PNEUMATIC HAMMERS WITH A VARIABLE POWER
STRUCTURE IN THE CONSTRUCTION OF PILED FOUNDATIONS**

V. V. Chervov

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

The relevance of using pneumatic hammers in the construction of underground structures is justified. The dependence of the energy value of a single blow of a pneumatic hammer on the diameter of a pipe to be driven is proposed. The resistance forces from the side that occur during hammering the steel pipe are determined. As the main technical parameter of a pneumatic hammer, the weight of its striking part is proposed. The features of the device and technical characteristics of pneumatic hammers with a variable power structure are given. The practical experience of vertical pipe driving in the construction of piled foundations is described. Technological operations for the construction of retaining walls in the ground based on the use of steel sheet piles, pipes, channels, I-beams, etc. are considered. Methods of placement and arrangement of technological equipment for fixing a pneumatic hammer on a steel pipe driven into the ground are given.

Pneumatic hammer, pipe, weight, blow, blow frequency, compressed air, ground, force

Свайный фундамент применяется исключительно на проблемных грунтах, а также в условиях наклонного рельефа. Свайное основание представляет собой сборную конструкцию, состоящую из опор, погруженных в грунт до отметки на глубине не менее уровня промерзания почвы и ростверка, объединяющего сваи под ленточный фундамент [1]. Невозможность расположения на наклонных рельефах копровых установок с дизель молотом или гидравлическим молотом делает безальтернативным использование подвешенного на автомобильном кране пневматического молота. Сооружение свайных оснований из стальных труб на мелководье или в болотистой местности при помощи пневматического молота не требует большого времени и

значительных финансовых затрат на подготовительные работы. Арматура, помещенная внутрь забитой в грунт трубы и залитая бетонным раствором, делает сваю надежной и долговечной, увеличивая ее несущую способность. Для этого труба должна быть закрыта от наполнения ее грунтом. Иначе необходимо будет удалять грунтовый керн из полости трубы. Все это способствует непрерывному поиску и совершенствованию технологий производства и разработку нового оборудования. Поэтому создание пневматического молота со специальной технологической оснасткой для забивания стальных труб в грунт с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками остается актуальным.

Разрушение грунта с его последующим уплотнением сопровождается расходом энергии удара [2]. Трение по наружной поверхности трубы малого сечения в значительной мере превышает фронтальное сопротивление. Тем самым оно является ключевым фактором в определении сил реакции со стороны грунта. Это позволяет ограничить энергию удара пневмомолота в зависимости от диаметра трубы, передний конец которой полностью закрыт. Погружение закрытой трубы диаметром 0.1 м происходит под воздействием удара с энергией 0.3 кДж, а при диаметре 0.3 м — 0.9 кДж, поэтому

$$E = 3d, \quad (1)$$

где E — энергия удара пневматического молота, кДж; d — наружный диаметр трубы с закрытым концом, м.

Сечение трубы с открытым концом, предназначенной для прокладки в подземном пространстве под воздействием ударного импульса, имеет диаметр от 0.3 до 1.2 м. Учитывая большой практический опыт прокладки трубчатых кожухов подземных коммуникаций [3] методом, основанным на приложении ударного импульса от навесного пневматического молота к заднему концу стальной трубы с открытым концом, нами установлено соответствие диаметров и энергий ударного импульса: для диаметра 1.4 м — 12 кДж, для диаметра 0.3 м — 1.3 кДж.

В итоге получено

$$E = 9.7d - 1.6. \quad (2)$$

Реакция грунта F на внедрение малой трубы с закрытым концом складывается из силы фронтального сопротивления F_1 и трения F_2 по наружной поверхности вследствие давления со стороны грунта. Фронтальная реакция F_1 зависит от сечения трубы, трение F_2 по наружной поверхности — от диаметра трубы и ее наружной поверхности.

Забивание открытой трубы в грунт сопровождается реакцией грунта, включающей фронтальное сопротивление F_1 , трение F_2 по наружной поверхности, трение F_3 и F_4 от веса керна.

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4. \quad (3)$$

Фронтальная реакция F_1 пропорциональна площади поперечного сечения трубы и зависит от ее размеров — диаметра d и толщины δ стенки. Трение F_2 по наружной поверхности о стенки скважины в грунте F_3 возрастает при увеличении веса керна, находящегося внутри [4]. Трение внутренней поверхности трубы о керн F_4 повышается с ростом диаметра трубы. Для уменьшения трения керна следует периодически удалять грунт из трубы большого диаметра. В результате реакция грунта на внедрение трубы уменьшится до минимального значения, определяемого фронтальным и боковым сопротивлением. Это позволит осуществить подбор пневматического молота для забивания трубы требуемого диаметра по линейным зависимостям (1) и (2).

В качестве главного технического показателя больших пневмопробойников [5, 6] для забивания труб и пневматических молотов с общим принципом работы [7, 8] целесообразно принять массу ударной части. Этот параметр дает возможность рассчитать энергию удара исходя из допустимой предупредительной скорости $v = 4 - 4.5$ м/с при использовании стандартного избыточного давления сжатого воздуха $p = 0.6$ МПа.

$$E = 0.5Mv^2. \quad (4)$$

Принцип воздухораспределения, основанный на применении упругого и инерционного клапанов [7, 8], позволили создать целый ряд опытных образцов пневмомолотов двойного действия для забивания в грунт труб. Технические характеристики некоторых из этих машин приведены в таблице.

Технические характеристики пневмомолотов двойного действия

Показатель	T-130	T-190	T-320	T-300*	T-500	T-740	T-1000
Энергия удара при 0.6 МПа, Дж (вертикально)	1.3 (1.45)	1.8 (2.15)	2.8 (3.5)	3.0 (3.5)	4.0 (5.0)	6.0 (8.0)	8.3 (11.5)
Частота ударов **, с ⁻¹	2–4	2–2.9	1.1–2.1	1.9–2.9	1.0–1.9	1.0–1.5	0.7–1.1
Расход воздуха, м ³ /мин	4–7.5	5–7.5	5–9	5.7–10	6–11	8–12	11–18
Масса ударника, кг	130	190	320	300	500	740	1000
Масса машины, кг	280	380	650	700	1300	1750	2500
Габариты машины, мм							
длина	1330	1680	1920	1380	1910	2620	2670
диаметр корпуса	240	240	270	410	410	410	456
Диаметр забиваемых труб, мм	325	530	630	630	820	1020	1220

Примечание. * — без инерционного клапана; ** — меньшее значение частоты ударов соответствует меньшему значению расхода воздуха.

Эти пневмомолоты имеют более высокие по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами энергетические показатели и экономичность при одинаковых габаритах и общей массе. Переменная структура ударной мощности позволяет адаптировать пневматический молот к имеющемуся источнику сжатого воздуха в широких пределах за счет уменьшения частоты ударов и расхода воздуха при сохранении порогового значения энергии удара. Частота ударов изменяется путем регулирования продолжительности обратного холостого хода ударника, что достигается разным временем наполнения камеры обратного хода через впускной канал малого сечения (дроссель), сделанный в ударнике. Такое расположение дроссельного канала упрощает конструкцию устройства, но при этом делает невозможным плавное регулирование частоты ударов и структуры ударной мощности. Вынос канала за пределы ударника усложняет конструкцию устройства и снижает ее надежность. Двойное действие сжатого воздуха на ударник (рис. 1) пневмомолота с двумя пневматическими камерами обеспечивает забивание как горизонтальных, так и вертикальных труб [3].

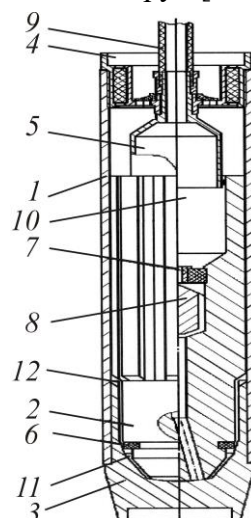


Рис. 1. Схема пневмомолота с упругим и инерционным клапанами в системе воздухораспределения: 1 — корпус; 2 — ударник; 3 — наковальня; 4 — хвостовик; 5 — патрубок; 6 — упругий клапан (резинное кольцо); 7 — жиклер; 8 — инерционный клапан; 9 — рукав; 10 — камера прямого хода; 11 — камера обратного хода; 12 — пазы

Принцип работы пневмомолота. Воздух под давлением по шлангу 9 заполняет камеру 10 прямого хода. Под действием веса и давления воздуха ударник 2 опускается на наковальню 3. Резиновое кольцо 6 приходит в соприкосновение с внутренней конической поверхностью наковальни 3 и герметизирует камеру 11 обратного (холостого) хода. Через жиклер 7 сжатый воздух из камеры 10 прямого хода давит на клапан 8. Давление и вес клапана 8 открывают отверстие в жиклере 7. По каналам на цилиндрической поверхности инерционного клапана 8, и по каналу в ударнике 2 сжатый воздух поступает в камеру 11 обратного хода [8]. Под действием давления и разности площадей ударник 3 совершает обратный ход. Резиновое кольцо 5 давлением воздуха прижимается к ударнику и к внутренней конической поверхности наковальни 3. При этом оно растягивается в диаметре и герметизирует камеру 11 обратного хода. Площадь сечения камеры 11 обратного хода увеличивается по внутренней цилиндрической поверхности наковальни. В конце обратного хода ударника 2 кольцо 6 выходит на пазы 12 наковальни 3. По каналам на наружной поверхности ударника 2 и через отверстия в хвостовике 4 происходит выхлоп. Давление в камере 11 падает, под действием упругих сил резиновое кольцо 6 сжимается и уменьшается в диаметре [7]. В увеличенный зазор устремляется весь сжатый воздух из камеры 11 обратного хода в атмосферу. Ударник 2 перемещается с ускорением к наковальне и наносит удар. При этом ударник 2 движется без сопротивления, просто вытесняя воздух из камеры 11 в атмосферу. Перед ударом резиновое кольцо 6 вновь контактирует с поверхностью наковальни 3.

Большой пневмопробойник с бесклапанным воздухораспределением [5], работа которого основана на расширении сжатого воздуха в камере холостого хода, имеет неустойчивый режим вертикальной работы на пониженном давлении при медленном открытии впускного вентиля. Для запуска в работу при горизонтальной положении пневмопробойника требуется импульс давления воздуха, что делает невозможным его эксплуатацию при длинных воздухоподводящих рукавах. Мягкий и устойчивый запуск пневмомолота с переменной структурой ударной мощности в работу позволяет применять его для забивания вертикального стального проката в грунт в условиях сложного рельефа: на склонах, в болотистых почвах, в пльвунах.

Пневмомолот с массой ударника 130 кг (рис. 2), соединенный при помощи приваренного отрезка трубы диаметром 219 мм и длиной 400 мм со шпунтом Ларсен-4, обеспечил сооружение подпорной стены в пойме р. Ельцовка. Это остановило сползание грунтового массива вниз и предотвратило разрушение капитальных строений, расположенных рядом со склоном.



Рис. 2. Укрепление берега р. Ельцовка в Новосибирске шпунтом Ларсен-4 при помощи пневмомолота Т-130

Надежная работа пневмомолота с массой ударника 190 кг (рис. 3) в условиях отрицательных температур гарантирует быстрое забивание вертикальной трубы в обводненный грунт. Это позволило строительной фирме ООО «Атон» из Омска в короткий зимний период после замерзания льда на болоте до достаточной толщины для проезда тяжелой техники изготовить многие сотни забетонированных опор ЛЭП на расстоянии нескольких десятков километров. Для быстрого соединения пневмомолота с трубой использовано специальное устройство (рис. 3).

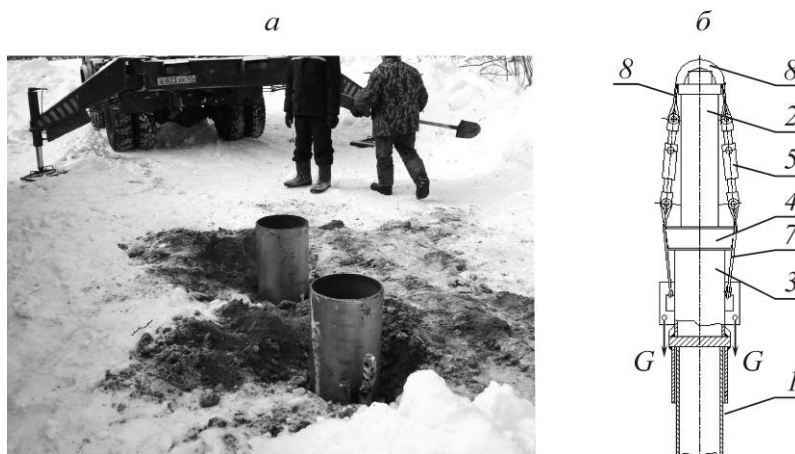


Рис. 3. Забивание стальных труб 377 мм на болоте в зимних условиях: *а* — готовые опоры ЛЭП; *б* — быстрое соединение пневмомолота с вертикальной трубой; 1 — труба; 2 — пневматический молот; 3 — переходник; 4 — насадка; 5 — талреп; 6 — прижим; 7 — канат сдвоенный; 8 — канат задний; *G* — усилие от тяговой лебедки, веса пригруза или дополнительного стяжного устройства

За минувший период в более чем 20 лет изготовлено и передано в эксплуатацию строительным фирмам в России и за рубежом пневмомолотов различной мощности в следующих количествах, шт: Т-130 — 12; Т-190 — 31; Т-500 — 15. Значительное их количество активно применяется в Казани (рис. 4) при дорожном строительстве и сооружении метрополитена, эксплуатируется оно и в многих городах России. В Новосибирске большие объемы вертикального погружения в грунт стальных труб различного диаметра и других элементов из проката выполнены при возведении стены в грунте на строительстве открытым способом станции метро “Березовая роща”.



Рис. 4. Пневмомолот Т-500 на строительстве метрополитена в Казани: *а* — забивание одиночной сваи диаметром 530 мм; *б* — сооружение подпорной стены из труб диаметром 426 мм

Длительных срок эксплуатации большого количества пневмомолотов с переменной структурой ударной мощности и огромные объемы успешно выполненных работ на различных строительных площадках России и дальнего зарубежья (Литва, Польша) показывают, что созданные машины обладают свойствами адаптации не только к производительности передвижного компрессора, возможностью работы в зимних условиях, но и плавным абсолютно надежным запуском в работу. Срок безотказной эксплуатации, не требующей замены основных деталей, составил от двух до семи лет, в некоторых случаях он достигал 20 лет, а из 12-ти пневмомолотов с массой ударника 130 кг ни один не поступал в ремонт. При очень интенсивной эксплуатации пневмомолота Т-500 ремонт с заменами основных деталей проводился несколько раз. Удачная конструкция устройства поддерживает его высокую ремонтпригодность [9–11].

ВЫВОДЫ

Переменная структура ударной мощности позволяет адаптировать частоту ударов и расход воздуха пневмомолота. Длительный срок эксплуатации большого количества пневмомолотов подтверждает надежность конструкции пневмомолота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Ponomarev A. B., Zakharov A. V., Zolotozubov D. G., and Kaloshina S. V.** Foundations and foundations, Perm, Publishing House of the Perm National Research Polytechnic, 2015, 318 pp. [**Пономарев А. Б., Захаров А. В., Золотоzubов Д. Г., Калoshiна С. В.** Основания и фундаменты. — Пермь: Изд-во ПНИПУ. — 2015. — 318 с.]
2. **Grigorashchenko V. A.** Laying of metal pipes with pneumatic breakers, Novosibirsk, IGD SB of the USSR Academy of Sciences, Preprint no. 38, 1990, 32 pp. [**Григорашченко В. А.** Прокладка металлических труб пневмопробойниками. — Новосибирск: ИГД СО АН СССР. Препринт № 38, 1990. — 32 с.]
3. **Gurkov K. S., Klimashko V. V., Kostylev A. D., et al.** New standard series of punches, Journal of Mining Science, 1989, no. 4, pp. 61–65. [**Гурков К. С., Климашко В. В., Костылев А. Д. и др.** Новый типоразмерный ряд пневмопробойников // ФТПРПИ. — 1989. — № 4. — С. 61–65.]
4. **Babakov V. A.** On a variant of calculating the movement of a pneumatic punch in the ground, Mining machines: collection of scientific works of the Institute of Mining of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, Novosibirsk, 1980, pp. 80–84. [**Бабаков В. А.** Об одном варианте расчета движения пневмопробойника в грунте // Горные машины: сб. науч. трудов ИГД СО АН СССР. — Новосибирск, 1980. — С. 80–84.]
5. **Gurkov, K. S., Klimashko V. V., Kostylev, A. D. at el.** Pneumatic punches, Novosibirsk, Publishing house of Institute of Mining, Siberian branch Russian Academy of Sciences Institute of mining SB RAS, 1990, 217 pp. [**Гурков К. С., Климашко В. В., Костылев А. Д. и др.** Пневмопробойники. — Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1990. — 217 с.]
6. **Smolyanitsky B. N., Chervov V. V., and Skachkov K. B.** New pneumatic impact machines of the Institute of mining of the SB RAS, Mechanization of construction, 2001, no. 12, pp. 7–12. [**Смоляницкий Б. Н., Червов В. В., Скачков К. Б.** Новые пневмоударные машины Института горного дела СО РАН // Механизация строительства. — 2001. — № 12. — С. 7–12.]
7. **Pat 2462575 RF.** The device of shock action, V. V. Chervov, B. N. Smolyanitsky, V. V. Trubitsyn, A. V. Chervov, I. V. Tishchenko, Byull. Izobret., 2012, no. 27. [**Пат. № 2462575 РФ.** Устройство ударного действия / В. В. Червов, Б. Н. Смоляницкий, В. В. Трубицын, А. В. Червов, И. В. Тищенко // Опубл. в БИ. — 2012. — № 27.]
8. **Pat. 2400350 RF.** The device of shock action, V. V. Chervov, B. N. Smolyanitsky, V. V. Trubitsyn, Byull. Izobret., 2010, no. 27. [**Патент РФ № 2400350.** Устройство ударного действия. / В. В. Червов, Б. Н. Смоляницкий, В. В. Трубицын // Опубл. в БИ. — 2010. — № 27.]
9. **Tishchenko I. V.** Models of the pneumatic pulse generators with variable structure of the shock power, News of the Higher Institutions. Construction, 2014, no. 3, pp. 79–87. [**Тищенко И. В.** Модели пневматических импульсных генераторов с переменной структурой ударной мощности // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 3. — С. 79–87.]
10. **Tishchenko I. V.** Vibro-impact extrusion and a combined method of cleaning tubes from the soil core removal, Construction and road machines, 2013, no. 11, pp. 39–42. [**Тищенко И. В.** Виброударное продавливание и комбинированный способ очистки труб от грунтового керна // Строительные и дорожные машины. — 2013. — № 11. — С. 39–42.]
11. **Sudnishnikov B. V., Esin N. N., and Tupitsyn K. K.** Study and design of pneumatic machines percussion, Novosibirsk, Nauka, 1985, 134 pp. [**Суднишников Б. В., Есин Н. Н., Тупицын К. К.** Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. — Новосибирск: Наука, 1985. — 134 с.]