

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОМОЛОТОВ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ УДАРНОЙ МОЩНОСТИ

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, доп. 128, e-mail: chervov@misd.ru

Сделан краткий обзор оборудования, применяемого для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций и для забивания вертикальных стальных элементов в грунт. Описано устройство и принцип действия пневмомолота с упругим кольцевым и инерционным клапанами для забивания в грунт труб различного диаметра. Огромные продольные усилия, генерируемые в результате удара, обеспечивают разрушение твёрдых пород или уплотнение грунтового массива в зоне проходки скважины. Эти усилия можно использовать и для реализации других технологических процессов. Например, для ремонта и восстановления работоспособности нефтяных скважинных электроцентробежных насосов, где требуется их полная разборка. Для извлечения из корпуса (трубы) большого количества деталей (рабочих колёс и направляющих аппаратов) опробовано применение пневмомолота с массой ударной части 40 кг. Другим примером применения устройства ударного действия является интенсификация процесса разгрузки слеживающихся материалов из железнодорожных вагонов при помощи виброударной установки с приводом от пневмопробойника, замена которого на аналогичный по габаритным и эксплуатационным параметрам пневмомолот обеспечит повышенную эффективность технологического процесса.

Ключевые слова: ударник, корпус, сжатый воздух, частота ударов, упругий клапан, масса, грунт.

APPLICATION FIELD EXTENSION OF PNEUMATIC HUMMERS WITH VARIABLE STRUCTURE OF PERCUSSION POWER

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

In the work short review of equipment applied for driving of underground utility lines and for hammering of vertical steel elements into soil is carried out. Construction and operating principle of pneumatic hammer with elastic circle and inertial valves for hammering of pipes with various diameter are described. Huge longitudinal forces generated during percussion provide rock destruction or soil compaction in the area of hole boring. The forces can be used for realization of other technological processes, for example, for repairing of oil hole electric-centrifugal pumps which require full disassemble. Application of the pneumatic hammer with mass of percussion part 40 kg has been probed for extraction many components (working wheels and guide vanes) from pipe barrel. Other example of percussion device application is intensification of unloading process of bulk materials from railway cars using vibro-percussion setup with drive from pneumodrill, change of which to analogous in size and working parameters allows to get high efficiency of the technological process.

Key words: hammer, framework, compressed air, percussion frequency, elastic valve, mass, soil.

В настоящее время одним из основных технологий строительства подземных инженерных коммуникаций закрытым способом является прокладка стальной трубы в качестве защитного кожуха, который повышает надёжность защиты коммуникаций от механического повреждения. Прокладка стальных труб осуществляется пневмомолотом путем их забивания в грунтовой массив с закрытым или открытым передним концом. Во многих случаях такие технологии снижают расходы на строительство, а в тесных городских условиях очень часто бывают безальтернативными [1–4].

Ещё одним важным применением пневмомолотов является забивание вертикальных труб для фундаментов опор и других строительных элементов (двутавров, швеллеров, уголков, шпунта) из стального проката для формирования отсекающего ряда при сооружении подпорных и защитных стен в грунте в труднодоступных местах.

Пневмомолоты в настоящее время являются наиболее простыми, надёжными и в тоже время высокоэффективными средствами для бестраншейной прокладки трубопроводов. В качестве пневмомолота для забивания горизонтальных и вертикальных стальных труб в грунт может быть использован большой пневмопробойник [5, 6].



а)



б)

Рис. 1. Забивание труб пневмомолотом "Тайфун":

а) защитный кожух; б) стальная опора ЛЭП

Пневмомолоты с переменной структурой ударной мощности. На основе нового принципа воздухораспределения с использованием упругого кольцевого и инерционного клапанов в ИГД СО РАН был создан и реализуется типо-

размерный ряд пневмомолотов "Тайфун" [5–8], в самом большом из которых масса ударника 1000 кг. Их технические характеристики в таблице.

Технические характеристики пневмомолотов "Тайфун"

Показатель	Тайфун 40 ¹⁾	Тайфун 70 ¹⁾	Тайфун 130 ¹⁾	Тайфун 140 ¹⁾	Тайфун 190	Тайфун 320	Тайфун 300 ¹⁾	Тайфун 500	Тайфун 740	Тайфун 1000
Энергия удара при давлении 0,6 МПа, Дж (верт.)	400 (450)	700 (800)	1300 (1450)	1370 (1350)	1800 (2150)	2800 (3500)	3000 (3500)	4000 (5000)	6000 (8000)	8300 (11500)
Частота ударов ²⁾ , мин ⁻¹	126-350	150-250	180-228	220-336	120-175	65-125	114-174	60-115	60-90	42-65
Расход воздуха, м ³ /мин.	3-6,3	4-6,3	6,5-8	6,5-9	5-7,5	5-9	5,7-10	6-11	8-12	11-18
Масса ударника, кг	40	70	130	140	190	320	300	500	740	1000
Масса машины, кг	90	140	280	300	380	650	700	1300	1750	2500
Габариты машины, мм										
длина	1000	1400	1350	1150	1680	1920	1380	1910	2620	2670
диаметр корпуса	160	160	240	270	240	270	410	410	410	456
Наибольший ³⁾ диаметр забиваемых труб, мм	159	273	325	325	530	630	630	820	1020	1220

¹⁾ Без инерционного клапана.

²⁾ Меньшее значение частоты ударов соответствует меньшему значению расхода воздуха.

³⁾ Применение рекомендуемых диаметров труб гарантирует забивание труб длиной не менее 40 м.

В них достигнуты по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами более высокие энергетические и экономические показатели при близких габаритах и массе. Например, для забивания трубы пневмомолотом "Тайфун-740" с массой ударника 740 кг и энергий удара в 1,5 раза большей, чем у аналогов, при низком удельном расходе воздуха $(0.17...0.19) \cdot 10^{-4}$ м³/Дж, достаточно от 7 до 10 куб. м в мин сжатого воздуха [6]. Большому пневмопробойнику М400 (ИГД СО РАН) или пневмомолоту KOLOSS (фирма Тракто-Техник, Германия) требуется расход воздуха 20 куб. м в мин [5].

Пневмомолот с упругим и инерционным клапанами в системе воздухораспределения имеет следующее устройство (рис. 2.): 1 – корпус; 2 – ударник; 3 – наковальня; 4 – хвостовик; 5 – патрубков; 6 – упругий клапан (резиновое 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.

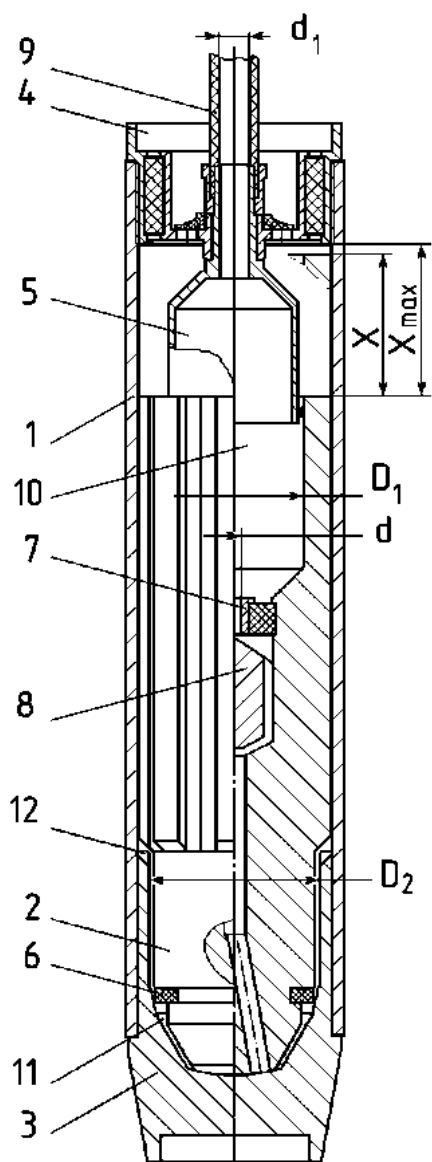


Рис. 2

Сжатый воздух по рукаву 9 подается в камеру прямого хода 10 и через отверстие в жиклере 7 в камеру обратного хода 11, давление в которой возрастает. Под действием повышенного давления и разности площадей камер 10 и 11 ударник 2 перемещается в заднее положение (на рисунке в верхнее).

Одновременно с этим упругий клапан 6 растягивается, прижимается давлением к внутренней поверхности 3 и скользит по ней, обеспечивая герметичность камеры 11. При попадании упругого клапана 6 на пазы 12 происходит выхлоп воздуха и падение давления в камере 11. Под действием упругих сил резиновое кольцо или упругий клапан 6 быстро сжимается. Между накопальной 3 и упругим клапаном 6 образуется широкая кольцевая щель, по которой происходит окончательный выхлоп и вытеснение воздуха в атмосферу при рабочем ходе ударника 2.

При работе пневмомолота генерируются огромные усилия, действующие на забиваемую трубу или инструмент с разной частотой ударов – от 0,8 до 40 Гц. Частота ударов зависит от рабочего хода ударника X и от диаметра отверстия в жиклере 7, через которое наполняется камера обратного хода 11. Чем меньше ход ударника 2 и чем быстрее воздух заполняет переднюю камеру 11, тем выше частота ударов. Это свойство пневмомолота "Тайфун" обеспечивает переменную структуру его ударной мощности.

Величина силы, возникающей при ударе, зависит от энергии удара и главного параметра пневмомолота – массы ударника [9, 10]. Она может быть в пределах от нескольких тонн до нескольких сотен тонн при массе m ударника от нескольких кг до нескольких сотен кг. На рис. 3 изображена диаграмма ударных импульсов, возникающих в трубе при её забивании в грунт.

Восстановление скважинных центробежных насосов. Для подъема из нефтяной скважины жидкости с повышенной коррозионной активностью применяются скважинные центробежные насосы, основные детали которых изготовлены из стойких к коррозии материалов (рис. 4). Из-за малых габаритных размеров в установках центробежных насосов для добычи нефти отводы всегда выполняются в виде лопаточных направляющих аппаратов 1 (НА).

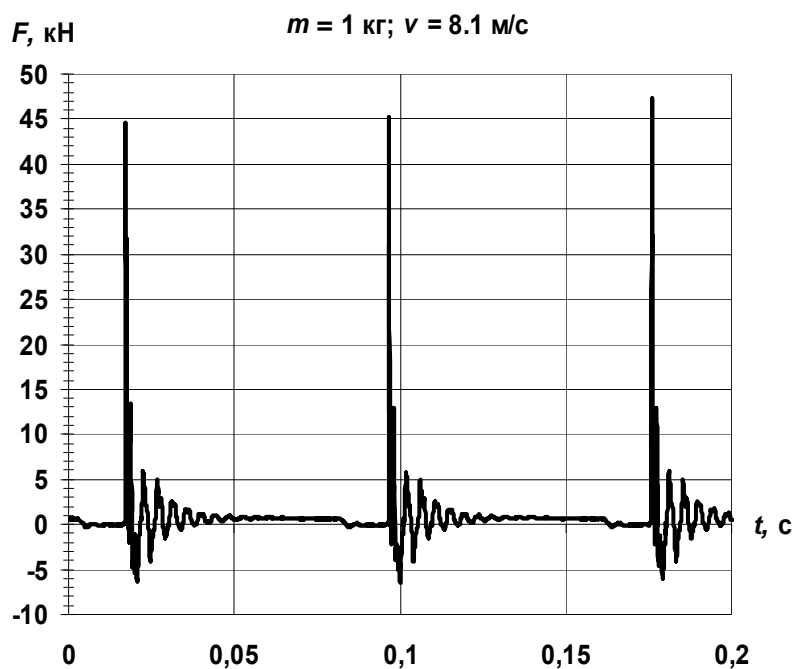


Рис. 3

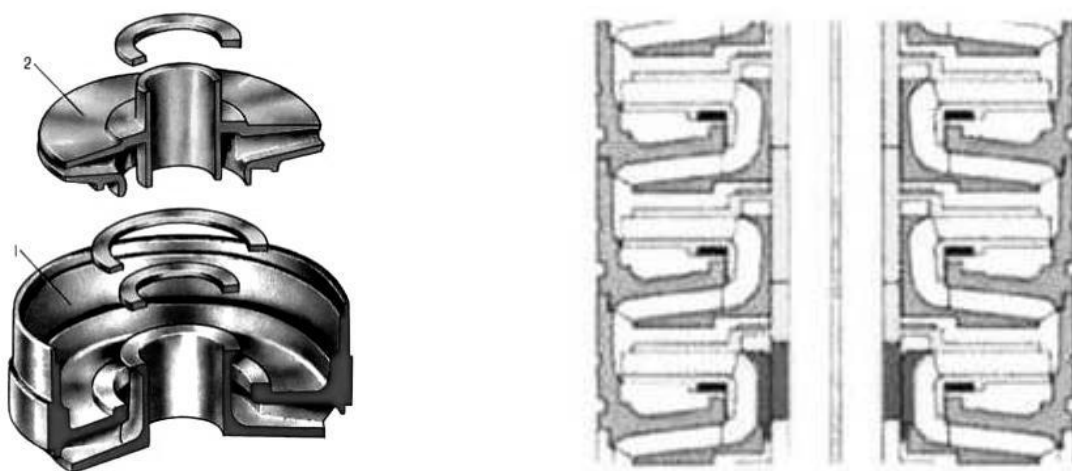


Рис. 4

Основной функцией отвода (направляющего аппарата) являются отбор жидкости от рабочего колеса 2 (РК), снижение скорости потока жидкости с одновременным превращением кинетической энергии в потенциальную (повышение давления), передача потока жидкости к следующему рабочему колесу или в нагнетательный патрубок. Задачей рабочего колеса является повышение кинетической и потенциальной энергии потока жидкости за счет его разгона в лопаточном аппарате колеса центробежного насоса и повышения давления.

При ремонте и восстановлении электроцентробежного насоса ЭЦН требуется полное извлечение большого числа попеременно установленных внутри насоса рабочих колёс РК и направляющих аппаратов НА из корпуса, изготов-

ленного из стальной толстостенной трубы [11]. При длительной эксплуатации извлечение этих деталей из корпуса ЭЦН, особенно направляющих аппаратов НА, расположенных с минимальными зазорами по внутренней поверхности толстостенной трубы, в результате попадания песка в зазор представляет собой большую трудность. Для извлечения таких деталей требуется разрушение (перемалывание) песчинок до более мелких фракций. Но приложить значительные усилия к каждому НА, требуемые для разрушения песка и извлечения деталей из толстостенной трубы, на практике оказалось непростой задачей.

Одним из способов извлечения деталей из корпуса ЭЦН, применяемых в практике ремонта, является сбрасывание с высоты вертикально расположенного собранного насоса для его последующего соударения с твёрдым и жёстким препятствием. Возникающие при ударе силы инерции действуют на каждый внутренний элемент ЭЦН и способствуют выходу НА и РК из корпуса. Однако частота ударных воздействий при такой технологии разборки ограничена и не превышает одного удара в сек. Кроме того, необходимо соорудить высокой металлоёмкой мачты с тяговой лебёдкой и механизмом сбрасывания и её размещение в высоком закрытом помещении для работы в зимних условиях. Всё это требует больших капитальных затрат.

Вместо сбрасывания ЭЦН с высоты, в качестве альтернативного, удобного и производительного способа извлечения РК и НА целесообразно использовать пневматический молот с переменной структурой ударной мощности при минимальной частоте ударов [12], который позволяет для своей работы применить компрессор с минимальной производительностью сжатого воздуха на уровне 3 куб. м в мин.

Наружный диаметр корпуса ЭЦН чаще всего имеет три размера: 92.5 мм; 102 мм и 103.5 мм. Для забивания в грунт трубы диаметром 100 мм на длину до 40 м рекомендуется использовать пневмомолот Тайфун-40 (Т-40) с массой ударной части 40 кг и энергией единичного удара 400 Дж. При горизонтальной работе частота ударов Т-40 находится в диапазоне 2.5–5.8 Гц при расходе воздуха 3.6–6.5 м³/мин. Как показали исследования опытных образцов, нижняя граница устойчивой работы пневмомолота Т-40 при его доводке находится в диапазоне частоты ударов 1.8–2.1 Гц при расходе 2.6–3 м³/мин.

Разборку ЭЦН следует производить на специальном стенде (рис. 5, а), оборудованном поглотителем энергии удара, который имитирует условия саморазгрузки трубы от находящихся внутри её полости деталей. Схожий процесс происходит при реализации известного способа очистки трубы от грунтового керна (рис. 5, а) [13, 14].

Как показали производственные испытания, применение пневмомолота, предназначенного для забивания стальных труб в грунт, для демонтажа электроцентробежных насосов ЭЦН полностью подтвердило максимальную сохранность и высокую эффективность технологического процесса извлечения деталей из стального корпуса под действием ударных импульсов.



а)

б)

Рис. 5

Разгрузка железнодорожных вагонов. Для интенсификации процесса разгрузки слеживающихся материалов из железнодорожных вагонов применяют виброударные установки (рис. 6) с приводом от пневмопробойника СО-134 [1, 3], серийно выпускаемый Одесским заводом СОМ, имеющего энергию удара 500 Дж, частоту ударов 4 Гц при расходе сжатого воздуха более 10 куб. м в мин.



Рис. 6

Замена серийного пневмопробойника на пневмомолот "Тайфун-70" с массой ударника 70 кг гарантирует увеличенную на 40% энергию удара с одинаковой частотой ударов при меньшем на 40% расходе воздуха. А если изменить структуру ударной мощности [15] за счёт уменьшения частоты ударов в 2,5 раза, то для работы пневмомолота будет достаточен в 2,5 раза меньший по производительности, более дешёвый по стоимости и эксплуатации компрессор – 4 куб. м в мин.

Уплотнение грунта. Этот процесс способствует улучшению несущих качеств почвы и ее устойчивости к проникновению влаги [16].

Технологический процесс уплотнения грунта может производиться как с поверхности, так и на глубине. С поверхности производится укатка при помощи ручного или механического катка, который при многократном прокатывании уплотняет слои поверхностного грунта до нужного состояния. Уплотнение грунтового массива на глубине производится путем забивания трубы с *закрытым* передним концом, которую можно извлекать для её повторного использования. Для этих операций используют пневмомолот. Перед забиванием следующей трубы, расположенной рядом, в полученную после извлечения трубы скважину засыпают грунт.

Трамбование земли требуется при оборудовании фундаментов зданий и проведении дорожно-строительных работ. Трамбование – производится при помощи укладки на поверхность плиты, вес которой должен быть достаточным для нужного уплотнения грунта. Вибрация – в сочетании с укатывающими элементами является эффективным методом уплотнения рыхлой и сыпучей земли [17].

Он производится массивной и мощной виброплитой WACKER NEUSON DPU 130, производимой в Германии (рис. 7). В качестве привода виброплиты может быть использован генератор ударных импульсов – пневмомолот с переменной структурой ударной мощности для настройки наиболее эффективной частоты импульсного воздействия и создания требуемого уплотняющего усилия.



Рис. 7

Кроме основного применения для забивания труб в грунт, пневмомолоты можно использовать в качестве генераторов ударных импульсов для реализации многих технологических процессов, то есть там, где требуется приложение больших рабочих усилий.

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. Григоращенко В.А. Прокладка металлических труб пневмопробойниками. – Новосибирск : Изд. ИГД СО АН СССР. Препринт № 38, 1990. – 32 с.
3. Гурков К.С., Климашко В.В., Костылев А.Д. и др. Новый типоразмерный ряд пневмопробойников // ФТПРПИ. – 1989 – № 4. – С. 61–65.
4. Бабаков В. А. Об одном варианте расчета движения пневмопробойника в грунте // Горные машины: сб. науч. тр. ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1980. – С. 80–84.
5. Смоляницкий Б.Н., Червов В.В., Скачков К.Б. Новые пневмоударные машины Института горного дела СО РАН //Механизация строительства. – 2001 – № 12.
6. Тищенко И.В. Модели пневматических импульсных генераторов с переменной структурой ударной мощности // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 3. – С.79–87.
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., Червов В.В. Влияние энергетических параметров генераторов ударных импульсов на амплитуду и скорость внедрения трубы в грунт // ФТПРПИ. – 2014. – № 3. – С. 75–86.
11. Бухаленко Е.И. Нефтепромышленное оборудование // М. : Недра. – 1990. – 200 с.
12. Червов В.В. Минимальная частота ударов пневмомолота с упругим клапаном в системе воздухораспределения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2016. – № 3. – Т. 2 – С. 217–221.
13. Червов В.В., Кондратенко А.С. Пневмомолот "Тайфун-70" и новый метод очистки трубы от грунтового керна // Механизация строительства. – 2006 – № 8. – С. 8–12.
14. Тищенко И.В. Виброударное продавливание и комбинированный способ очистки труб от грунтового керна // Строительные и дорожные машины. –2013. – № 11. – С.39–42.
15. Тищенко И.В. Модели пневматических импульсных генераторов с переменной структурой ударной мощности // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 3. – С.79–87.
16. Хархута Н.Я., Васильев И.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М., Транспорт, 1975.
17. Шилков В.А. Автоматизация машин виброударного действия для уплотнения грунтов и погружения свай. Л., 1971.

© В. В. Червов, 2019