

УДК 621.23.05

И. В. Тищенко

### ПНЕВМОМОЛОТ С ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТОЙ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Функционирование добывающих предприятий горного, нефтяного и газового кластера неразрывно связано с возведением и реконструкцией промышленных и гражданских объектов различного назначения, транспортных магистралей и коммуникаций, что сопряжено с проведением комплекса специальных строительных работ. В их перечень входит бестраншейная прокладка подземных каналов, укрепление откосов котлованов и насыпей, сооружение подпорных стенок и экранов, формирование набивных свай под фундаменты зданий, опор мостов, эстакад, линий электропередач. При этом широко используются технологии, основанные на проходке горизонтальных и вертикальных скважин, погружении ударным способом в грунт различных металлических профилей и конструкций. Для их реализации создана обширная гамма устройств, работающих на различных видах энергоносителя, в том числе и на сжатом воздухе [1, 2]. Среди последних большое распространение на рынке получили пневмомолоты из семейства машин нового поколения, созданных в лаборатории механизации горных работ ИГД СО РАН и выпускаемых под общей маркой «Тайфун» [3]. Благодаря реализации более совершенного термодинамического цикла в них достигнуты высокие энергетические показатели, уменьшен удельный расход сжатого воздуха, обеспечен надежный запуск и устойчивая работа независимо от протяженности воздухоподводящей магистрали. Основные показатели моделей ударной техники этой серии приведены в табл. 1. Все они ориентированы на использование типовых источников

концентратов. В рамках экологической программы по охране русла реки Буйда от загрязнения стоками с большим содержанием тяжелых металлов, на предприятии был реализован проект по строительству дренажных сооружений с насосной станцией и трассой трубопроводов. В местах пересечения водоводов с железнодорожной магистралью для транспортировки добываемого сырья на обогатительную фабрику сооружались подземные переходы путем виброударного продавливания стальных кожухов диаметром 530 мм. Источником силового нагружения служила модель «Тайфун-190», а удаление керна осуществлялась комбинированным способом, основанным на эффекте вибротранспортирования грунтовой массы под действием двух одновременных нагрузок: статической – давлением поршня со стороны переднего торца трубы и динамической – импульсным воздействием пневмомолота с противоположного направления [4].

Накопленный опыт применения машин данного класса при производстве специальных строительных работ показывает, что дальнейшее повышение их технического уровня должно быть направлено на рост производительности технологического процесса за счет повышения ударной мощности и улучшения условий взаимодействия элементов системы «генератор – погружаемый элемент – грунтовой массив». Результаты проведенных ранее исследований на физических масштабных моделях свидетельствуют о том, что при условии обеспечения требуемого порогового значения энергии удара, необходимого для преодо-

Таблица 1. Техническая характеристика пневмомолотов «Тайфун».

Тип машины	Энергия удара, Дж	Частота ударов, Гц	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин.	Диаметр забиваемых труб, мм	Диаметр/длина машины, мм	Масса машины/ударника, кг
«Тайфун-70»	700	2,5–3,7	3.0 – 4.8	До 273	160/1400	140/70
«Тайфун-130»	1300	2–4	3.6 – 7.8	До 325	240/1330	280/130

сжатого воздуха с номинальным выходным давлением 0.6 – 0.7 МПа.

В качестве примера их эффективного применения можно привести выполнение комплекса работ на объектах реконструкции Учалинского горно-обогатительного комбината (г. Учалы, Республика Башкортостан), крупнейшего в России производителя медного, цинкового и пиритного

сопротивления породного массива и компенсации силы отдачи устройства статической нагрузкой, дальнейшее расширение частотного диапазона импульсного воздействия может вызывать снижение бокового сопротивления внешней среды, сопровождаемое дополнительным приростом скорости внедрения элемента в грунт [5, 6]. Создание таких высокочастотных пневмомолотов

для практического применения невозможно только путем улучшения термодинамического цикла и неизбежно сопряжено с повышением его энергонасыщенности за счет перехода к более производительным источникам сжатого воздуха. Среди них особую группу составляют современные передвижные компрессорные установки, способные

тигается изменением сечения дроссельного канала за счет установки одного из сменных жиклеров 5. Цикл воздухораспределения обеспечивается работой кольцевого упругого клапана 6.

Конструктивные и энергетические параметры такого устройства связаны соотношениями [8]:

Таблица 2. Техническая характеристика компрессорных установок

Показатель	Модель			
	PSDK900S	PDSJ750S	XRS396C	KB-20/16
1. Фирма-производитель	AIRMAN (Япония)		Atlas Copco (Швеция)	ЧКЗ (Россия)
2. Рабочее давление, МПа	2.5	2.1	1.7	1.6
3. Производительность, м <sup>3</sup> /мин	25.5	21.2	23.5	20.0
4. Тип двигателя:	MITSUBISHI S6B3-FTA	Hino K13C-TJ	CAT C9	ЯМЗ-238Д
- номинальная мощность, кВт	267	228	224	243
5. Габаритные размеры, мм:				
- длина;	4350	4300	4980	4020
- ширина;	2100	1900	2140	2030
- высота	2200	2230	2479	2340
6. Масса, кг	7300	5350	5610	4500

поднять степень сжатия рабочего тела до 1.5 – 2.5 МПа. Основные параметры некоторых из них сведены в табл. 2.

При создании высокочастотного ударного узла за основу была взята наиболее перспективная клапанная схема воздухораспределения, применяемая в пневмомолотах «Тайфун» и обеспечивающая минимизацию влияния воздушной подушки перед ударником при его рабочем ходе, отсутствие расширения сжатого воздуха в камере обратного хода и, как следствие, исключение обмерзания оборудования во время работы, широкий диапазон изменения выходных характеристик, простое решение уплотнения зазоров в подвижных сопряжениях [7]. Основными конструктивными элементами машины (рис. 1) являются: корпус 1, в переднюю часть которого ввернута наковальня 2; ударник 3; задняя гайка с патрубком 4. Ступенчатое регулирование частоты ударов дос-

$$E = \left( p_0 - \frac{\Delta p_1}{2} \right) A_1 X_0 \psi, \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{X_0 \psi} \left( \frac{2}{V} + \frac{A_2}{vS} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где  $E$  – энергия удара, Дж;  $f$  – частота ударов, Гц;  $p_0$  – магистральное давление на входе в распределительный тракт, МПа;  $\Delta p_1$  – максимальное падение давления в камере прямого хода, МПа;  $A_1$  и  $A_2$  – площади камер прямого и обратного хода, м<sup>2</sup>;  $X_0$  – ход ударника до начала выхлопа, м;  $\psi$  – коэффициент заброса ударника;  $V$  – предударная скорость, м/с;  $v$  – скорость воздушного потока через дроссельный канал, м/с;  $S$  – сечение отверстия жиклера, м<sup>2</sup>. Их анализ показывает, что для принятых площадей камер  $A_1$  и  $A_2$ , увеличение

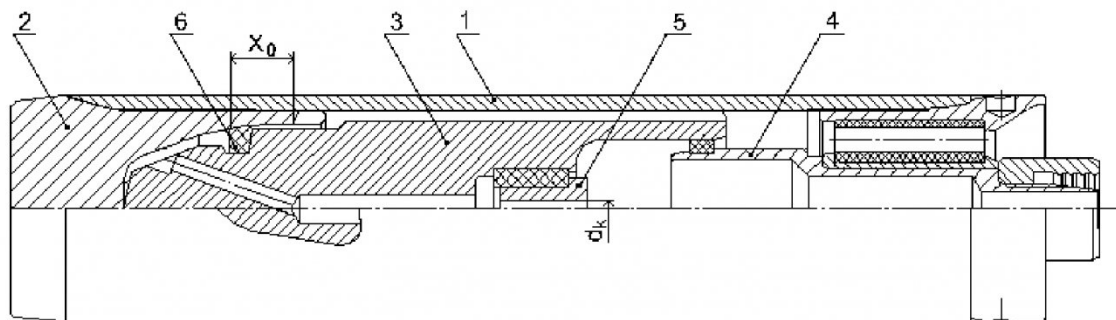


Рис. 1. Общий вид пневмомолота: 1 – корпус; 2 – наковальня; 3 – ударник; 4 – задняя гайка с патрубком; 5 – сменный жиклер; 6 – упругий клапан

частоты ударов сопряжено с необходимостью уменьшения рабочего хода ударника, определяемого расстоянием  $X_0$  от точки переднего замыкания упругого клапана до начала выхлопных пазов наковальни. При этом неизбежные потери энергии можно компенсировать пропорциональным подъемом магистрального давления  $p_0$  источника сжатого воздуха. Для проверки обоснованности предложенного подхода был выполнен и исследован экспериментальный образец ударного устройства с массой ударника  $m = 80$  кг, рассчитанный на последовательное изменение величины сжатия энергоносителя от исходного значения  $p_0 = 0.6$  МПа до  $p_0 = 0.9$  МПа и  $p_0 = 1.2$  МПа соответственно [9, 10]. Полученные результаты подтвердили перспективность создания высокочастотных импульсных генераторов с клапанным воздухо-распределением (схема моделей «Тайфун») путем адаптации машины к повышенному магистральному давлению энергоустановки и позволили приступить к созданию более мощного опытно-промышленного образца.

Спроектированный и изготовленный пневмомолот «Тайфун-150» рассчитан на  $p_0 = 1.2$  МПа и по своим массогабаритным показателям занимает соответствующее промежуточное положение в имеющемся типоразмерном ряду оборудования (табл. 1). Он выполнен в калибре ближайших моделей «Тайфун-130» и «Тайфун-190», имеет внутренний диаметр корпуса  $D = 240$  мм при массе ударной части  $m = 150$  кг с заданной величиной

хода  $X_0 = 75$  мм. Тестирование параметров созданного ударного устройства 1 осуществлялось на лабораторном измерительном стенде, оснащемом зажимным механизмом 2 и энергопоглотителем 3 (рис. 2).

В ходе его проведения выполнялись следующие операции:

- определение фактического хода по положению вмонтированного в заднюю гайку подвижного стержневого датчика перемещения ДП в момент замыкания им электрической контактной цепи на светодиодном элементе Л по достижению ударником крайнего заднего положения;

- регистрация изменения давлений в камерах машины и продолжительности рабочего цикла путем записи импульсных индикаторных диаграмм типовым комплектом измерительно-регистрирующей аппаратуры: датчики ДД1 и ДД2 типа P8AP фирмы НВМ (Германия), блок усилителей сигнала БУ, аналоговоцифровой преобразователь АЦП;

- получение расходных характеристик стационарным прибором учета сжатого воздуха 4 марки DS-300 (Германия), встроенного в магистральную сеть 5 и состоящего из термоанемометрического датчика ДР и измерительно-регистрирующего модуля ИМ.

Данные передавались на компьютер ПК и обрабатывались пакетом программ Power Graph Professional, CS Soft Professional, Excel. Перечисленные измерения выполнялись с использованием всего набора сменных жиклеров с пропускными отверстиями  $d = 12, 14, 16, 20$  мм.

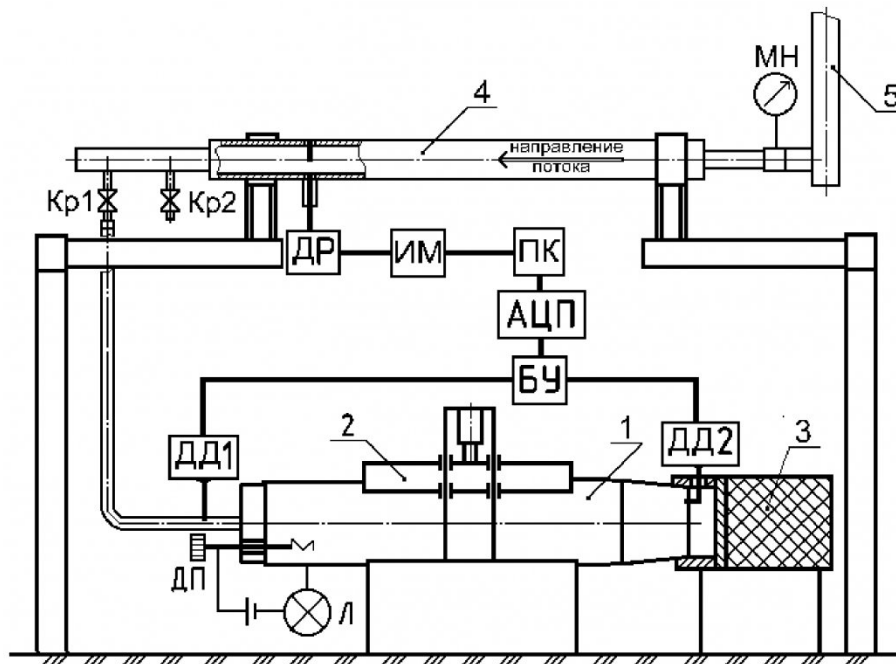


Рис. 2. Схема измерительного стенда: 1 – пневмомолот; 2 – зажимной механизм; 3 – энергопоглотитель; 4 – расходомер; 5 – магистраль сжатого воздуха; ДД1, ДД2 – датчики давления; ДП – датчик перемещения; Л – светодиодный элемент; ДР – датчик расхода; ИМ – измерительно-регистрирующий модуль; БУ – блок усилителей; АЦП – аналоговоцифровой преобразователь; ПК – компьютер

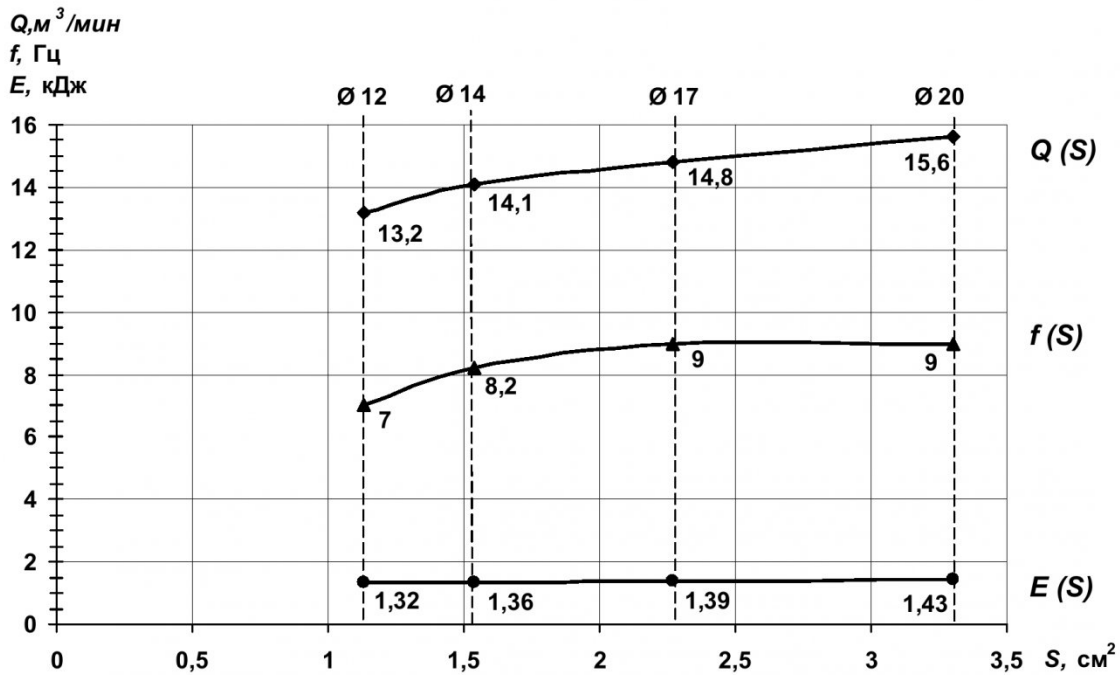


Рис. 3. Параметры пневмомолота «Тайфун-150» при  $p_0 = 1.2$  МПа

Обработка импульсных индикаторных диаграмм позволила выяснить характер процесса наполнения и опорожнения управляемой передней камеры, определить уровень падения давления  $\Delta p_1$  на прямом пути ударника, зафиксировать продолжительность рабочего цикла. На основе этих данных с использованием зависимости 1 и результатов измерения полного рабочего хода, представленного как произведение  $X_0 \cdot \psi$ , уточнены фактические значения энергии удара  $E$  и установлен диапазон изменения частоты ударных импульсов  $f$ , что в совокупности с усредненными показателями расхода сжатого воздуха в единицу времени  $Q$  дает достаточно полное представление о перестройке режима работы пневмомолота в зависимости от сечения дроссельного канала  $S$  при давлении  $p_0 = 1.2$  МПа. Результаты инструментальных замеров и вычислений приведены на графиках функций  $E(S)$ ,  $f(S)$ ,  $Q(S)$  (рис. 3).

Анализ приведенных зависимостей показывает, что рабочему циклу опытно-промышленного образца ударного устройства присущ ряд особенностей, свойственных всей линейке машин с упругим клапаном в камере обратного хода. Так увеличение сечения дроссельного канала ударника  $S$  сопровождается ростом частоты ударов и расходных показателей в пределах  $f = 7 - 9$  Гц и  $Q = 13.2 - 15.6$  м<sup>3</sup>/мин соответственно.



Рис. 4. Погружение двутавровой балки пневмомолотом «Тайфун-150»

При этом энергия ударного импульса  $E = 1.32 - 1.43$  кДж практически не изменяется. Наибольшее отклонение данной величины от среднего уровня не превышает 5%. Сравнение технических характеристик пневмомолотов с близкими энергетическими показателями «Тайфун-130» (табл. 1) и «Тайфун-150» (рис. 3) показывает, что конструк-

тивные изменения, связанные с двукратным повышением давления в питающей магистрали, позволяют увеличить максимальные частоты импульсного воздействия в 2.25 раза с  $f=4$  до 9 Гц соответственно.

Объективным критерием технического уровня пневматического устройства является удельный расход энергоносителя, показывающий затраты объема сжатого воздуха на единицу ударной мощности:  $q = Q/(E \cdot f)$ . У созданного опытно-промышленного образца он не выходит за пределы  $q = (0.20 - 0.24) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Дж}$ . Для сравнения следует отметить, что аналогичные показатели у серийных пневмомолотов «Тайфун» изменяются в диапазоне  $(0.22 - 0.37) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Дж}$  [11], а у пневмопробойников и более ранних ударных машин с циклом расширения их интервал составляет  $(0.30 - 0.65) \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Дж}$  [12].

Второй этап исследований заключался в предварительном определении технологических возможностей нового оборудования для виброударного погружения в грунт стальных элементов и конструкций (рис. 4).

Испытания проводились в вертикальном грунтовом канале, заполненном естественным супесчаным грунтом.

Внедряемым телом являлись двутавровые

балки №50 (высота профиля 500 мм) длиной по 5 м с переходными участками из отрезков труб диаметром 325 мм, предназначенными для соединения с конической насадкой машины и передачи ударного воздействия. Закрепление пневмомолота осуществлялось с помощью типового комплекта стяжных приспособлений.

Полученные скоростные характеристики в первом приближении свидетельствуют о том, что опытный образец импульсного устройства с массой ударника  $m = 150 \text{ кг}$  и давлением энергоносителя  $p_0 = 1.2 \text{ МПа}$  обладает достаточным уровнем ударной мощности для преодоления сопротивления грунтового массива и эффективного погружения стандартных металлических профилей методом прокалывания. В зависимости от частотных показателей воздействия средняя скорость внедрения составляла  $V = 19.7 \text{ м/час}$  при  $f = 7 \text{ Гц}$  и  $V = 45.6 \text{ м/час}$  при  $f = 9 \text{ Гц}$ . При переходе на большую частоту импульсного нагружения рост производительности технологического процесса составил 2.3 раза. В дальнейшем запланирован цикл производственных испытаний пневмомолота «Тайфун-150» при проведении комплекса специальных строительных работ на различных объектах промышленной и городской инфраструктуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пневмопробойники в строительном производстве / А. Д. Костылев [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1987.
2. Рыбаков А. П. Основы бестраншейных технологий (теория и практика). – М.: Стройиздат, 2006.
3. Смоляницкий Б. Н. Новые пневмоударные машины для специальных строительных работ / Б. Н. Смоляницкий, В. В. Червов, В. В. Трубицын, И. Э. Вебер, И. В. Тищенко // Механизация строительства. 1997. № 7. – С. 7 – 11.
4. Тищенко И. В. Виброударное продавливание и комбинированный способ очистки труб от грунтового керна // Строительные и дорожные машины – 2013. – № 11. – С. 39 – 42.
5. Смоляницкий Б. Н. Резервы повышения производительности виброударного погружения в грунт стальных элементов в технологиях специальных строительных работ / Б. Н. Смоляницкий, И. В. Тищенко, В. В. Червов, В. П. Гилета, Ю. В. Ванаг // ФТПРПИ. – 2008. – № 5. – С. 72 – 80.
6. Червов В. В. Влияние частоты виброударного воздействия и дополнительного статического усилия на скорость погружения стержня в грунт / В. В. Червов, И. В. Тищенко, Б. Н. Смоляницкий // ФТПРПИ. – 2011. – № 1. – С. 61 – 70.
7. Пат. 2462575 Российская Федерация. Устройство ударного действия / Институт горного дела СО РАН; В. В. Червов [и др.]. – Оpubл. в Б.И., 2012. – № 27.
8. Червов В. В. Энергия удара пневмомолота с упругим клапаном в камере обратного хода // ФТПРПИ. – 2004. – № 1. – С. 53 – 61.
9. Смоляницкий Б. Н. Перспективы совершенствования пневмомолотов для специальных строительных работ / Б. Н. Смоляницкий, И. В. Тищенко, В. В. Червов // ФТПРПИ. – 2009. – № 4. – С. 65 – 75.
10. Тищенко И. В. Высокочастотный пневмомолот для специальных строительных работ / И. В. Тищенко, В. В. Червов // Строительные и дорожные машины – 2011. – № 7. – С. 8 – 13.
11. Червов В. В. Влияние элементов системы воздухораспределения пневмомолота с упругим клапаном на потребление энергоносителя / В. В. Червов, И. В. Тищенко, А. В. Червов // ФТПРПИ. – 2009. – № 1. – С. 41 – 47.
12. Пневмопробойники. / К. С. Гурков [и др.] - Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1990.

Автор статьи

Тищенко

Игорь Владимирович.

к. т. н., ст. научн. сотрудник лаб. механизации  
горных работ ИГД СО РАН,

Email: [ighor.tishchenko.70@mail.ru](mailto:ighor.tishchenko.70@mail.ru)