

## ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.23.05

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ УДАРОВ ПНЕВМОМОЛОТА С КОЛЬЦЕВЫМ УПРУГИМ КЛАПАНОМ В ВЫХЛОПНОМ ТРАКТЕ КАМЕРЫ ОБРАТНОГО ХОДА

**В. В. Червов, Б. Н. Смоляницкий, И. В. Тищенко**

*Институт горного дела СО РАН, E-mail: chervov@misd.nsc.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Приведены и обсуждаются результаты экспериментального исследования пневмомолота с упругим клапаном, который установлен в выхлопном тракте камеры обратного хода ударника для ее механического замыкания. Подтверждена возможность достижения в таком пневмомолоте требуемых значений ударной мощности при постоянной энергии удара путем изменения частоты ударов регулированием сечения дроссельного канала, сообщающего камеру обратного и прямого хода ударника. Установлено, что при увеличении сечения дроссельного канала достигается максимальная частота ударов, остающаяся в дальнейшем постоянной.

*Пневмомолот, упругий клапан, расход воздуха, частота ударов, энергия удара*

Функционирование добывающих предприятий горного, нефтяного и газового кластера неразрывно связано с возведением и реконструкцией промышленных и гражданских объектов различного назначения, транспортных магистралей и коммуникаций. Ужесточение экологических требований, приоритетом которых является максимальная сохранность существующего природного ландшафта, также сопряжено с проведением комплекса специальных строительных работ [1].

Для выполнения этих работ широко используются пневматические машины ударного действия [2, 3]. К числу их немаловажных достоинств можно отнести простую конструкцию, низкую стоимость, надежность, долговечность и простое обслуживание при эксплуатации [4]. Поэтому они, несмотря на масштабное внедрение в практику гидроударных машин, делают в большинстве случаев безальтернативным применение пневматического привода при реализации технологий специальных работ в подземном строительстве.

Как правило, главным энергетическим параметром, влияющим на эффективность работы ударных машин для реализации технологических процессов, связанных с разрушением породного массива, является энергия удара [5]. Именно она — основная составляющая ударной мощности, определяющей максимальную длину и диаметр забиваемой в грунт трубной плети и ее перемещение в грунте за один удар. При достижении необходимой энергии удара скорость проходки скважин при прочих равных условиях зависит главным образом от второй составляющей ударной мощности — частоты ударов. Увеличение частоты ударов связано с ростом потребления

воздуха и затрат энергии на его производство, сопровождающееся применением более мощных компрессорных станций и увеличением эксплуатационных расходов. Поэтому повышение эффективности энергопотребления является важной задачей при создании пневмоударных машин.

Исследования, проводимые в ИГД СО РАН, привели к созданию принципиально новых пневмомолотов, получивших название “Тайфун” [6–10]. Система воздухораспределения новых пневмомолотов основана на применении упругого клапана, устанавливаемого в выхлопном тракте камеры обратного хода ударника. Она лишена недостатков обычных клапанных систем, таких как интенсивные утечки сжатого воздуха через клапанную щель на выхлоп и пневматическое управление клапаном, ограничивающее область устойчивой работы машины. Это обеспечивается тем, что замыкание клапана проводится за счет его механического контакта с корпусом пневмомолота, а открытие — под действием упругих сил деформации материала, из которого он изготовлен.

В конструкцию пневмомолотов заложена возможность регулирования расхода воздуха при постоянстве энергии удара, позволяющая адаптировать пневмомолот к имеющемуся источнику питания [6], т. е. в широком диапазоне расхода воздуха иметь постоянную энергию ударов, изменяя частоту их нанесения. Это достигается установкой во впускном канале сменных жиклеров с различным диаметром пропускного отверстия (рис. 1).

В качестве исследуемых объектов взяты пневмомолоты одной конструкции и с одинаковыми ударниками массой  $M = 8$  кг, имеющие одинаковые диаметр и длину корпуса, но разную длину хода до начала выхлопа  $X$ .

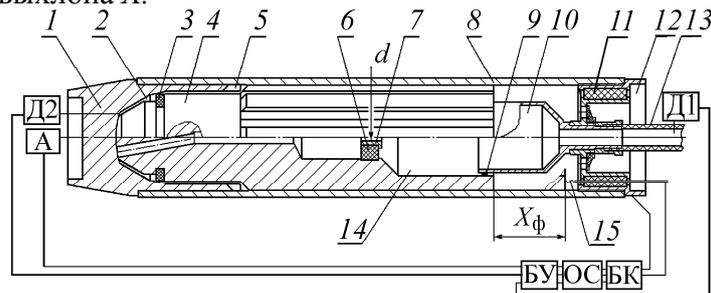


Рис. 1. Схема размещения датчиков для исследования пневмомолота: 1 — наковальня; 2 — камера обратного хода; 3 — резиновое кольцо; 4 — ударник; 5 — выпускные пазы; 6 — резиновое седло; 7 — жиклер; 8 — корпус; 9 — полиэтиленовое кольцо; 10 — патрубок; 11 — резиновый демпфер; 12 — хвостовик; 13 — рукав; 14 — камера прямого хода; 15 — подпружиненный контакт;  $d$  — диаметр калиброванного отверстия в жиклере;  $X_{\phi}$  — длина рабочего хода ударника; Д1 и Д2 — датчики давления; А — акселерометр; БУ — блок усилителей; ОС — осциллограф; БК — контактный блок

Энергия и частота ударов определялись по индикаторным диаграммам давления в камерах прямого и обратного хода пневмомолота и их обработкой с использованием теоремы Б. В. Суднишникова о движении массы под действием силы, заданной в виде функции времени [11].

Крайнее заднее положение ударника 4 регистрировалось при его соприкосновении с подпружиненным контактом 15 с ходом 3 мм, который смонтирован на конце легкой латунной трубки в резиновом демпфере 11. Усилие трения латунной трубки в демпфере 11 составляло не менее 100 Н, что обеспечивало ее надежную фиксацию от перемещения. Свободный конец трубки выведен из демпфера 11 наружу и присоединен к кабелю.

Регистрация момента удара проводилась акселерометром А. Для измерения давлений в камерах пневмомолота применялись датчики Д1 и Д2 [12]. Сигналы от них и акселерометра поступали в блок усилителей БУ и на осциллограф ОС, а сигналы с подпружиненного контакта 15 — через согласующий контактный блок БК. Индикаторная диаграмма исследуемого пневмомолота приведена на рис. 2.

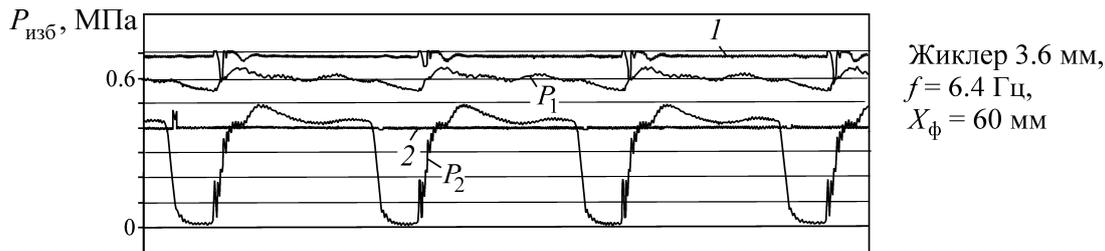


Рис. 2. Индикаторная диаграмма генератора ударных импульсов:  $P_1$  — давление в камере прямого хода;  $P_2$  — давление в камере обратного хода; 1 — отметка момента удара; 2 — отметка крайнего заднего положения ударника

На рис. 3а представлены зависимости энергии удара от площади сечения отверстия в жиклере для каждого из исследуемых пневмомолотов, построенные на основе результатов обработки индикаторных диаграмм. Они подтверждают вывод о том, что энергия удара не изменяется во всем диапазоне изменения сечения жиклеров и зависит при прочих равных условиях от длины хода ударника до выхлопа.

Частота ударов  $f$  находится как обратная величина от продолжительности  $T$  цикла работы пневмомолота — генератора ударных импульсов:  $f = T^{-1}$ , где  $T = T_1 + T_2$ ,  $T_1$  и  $T_2$  — продолжительность прямого и обратного хода ударника.

Зависимости на рис. 3б свидетельствуют о том, что продолжительность  $T_1$  прямого хода ударника слабо зависит от сечения отверстия в жиклере  $S_d$  и определяется длиной хода  $X$  ударника до выхлопа.

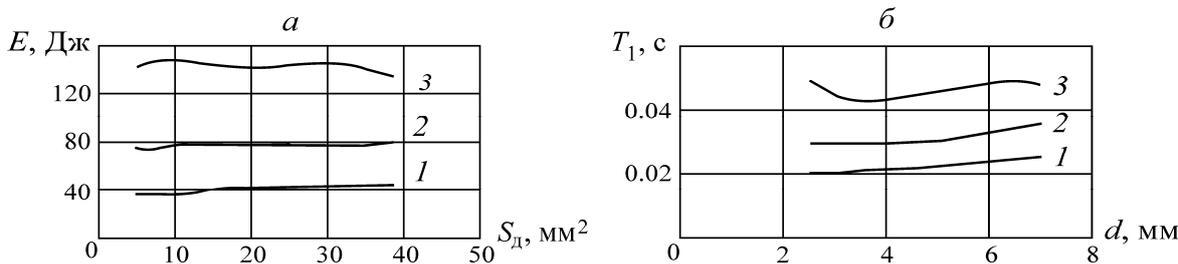


Рис. 3. Зависимости энергии удара  $E$  пневмомолота от сечения отверстия в жиклере  $S_d$  (а) и продолжительности  $T_1$  прямого хода ударника от диаметра  $d$  отверстия в жиклере (б): 1 — пневмомолот № 1 ( $X = 0.03$  м); 2 — пневмомолот № 2 ( $X = 0.06$  м); 3 — пневмомолот № 3 ( $X = 0.12$  м)

На рис. 4а показаны зависимости продолжительности обратного хода ударника  $T_2$  от диаметра жиклера для каждого из исследуемых пневмомолотов, из которых следует, что  $T_2$  в одинаковой мере зависит как от сечения отверстия в жиклере  $S_d$ , так и от длины хода  $X$  ударника до выхлопа. Поэтому регулирование частоты ударов  $f$  при неизменной энергии удара можно осуществлять только путем изменения  $S_d$  при постоянном ходе  $X$  ударника до выхлопа.

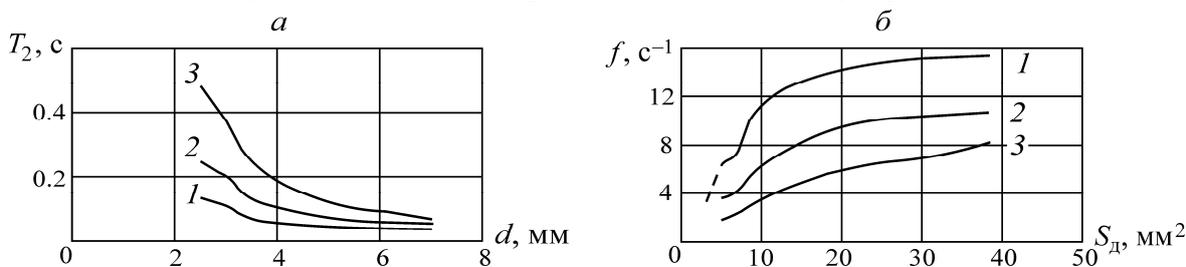


Рис. 4. Зависимости продолжительности  $T_2$  обратного хода ударника от диаметра  $d$  отверстия (а) и частоты ударов  $f$  пневмомолота от сечения отверстия в жиклере  $S_d$  (б): 1 — пневмомолот № 1 ( $X = 0.03$  м); 2 — пневмомолот № 2 ( $X = 0.06$  м); 3 — пневмомолот № 3 ( $X = 0.12$  м)

На рис. 4б представлены зависимости частоты ударов пневмомолота от сечения жиклера, из которых видно, что интенсивный рост частоты ударов  $f$  происходит в начале частотного диапазона при увеличении сечения отверстия в жиклере в пределах 5–20 мм<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение  $S_d$  приводит к резкому снижению частоты ударов и достижению верхней границы частотного диапазона, характеризующейся практически неизменной частотой ударов. Это объясняется стабилизацией продолжительности  $T_2$  обратного хода ударника вблизи ее минимального значения (рис. 4а).

Предельное минимальное значение отношения  $T_2$  к  $T_1$  составляет  $C_T = 1.55$  (рис. 5) при любой величине хода ударника до выхлопа. Это означает, что верхний уровень частотного диапазона пневмомолота с упругим клапаном имеет ограничение независимо от увеличения сечения отверстия в жиклере  $S_d$ , т. е. существует предельное значение площади сечения жиклера, при котором дальнейшее увеличение частоты  $f$  ударов возможно только за счет уменьшения хода ударника до выхлопа. При этом уменьшится не только продолжительность  $T_2$  обратного хода, но и  $T_1$  прямого хода.

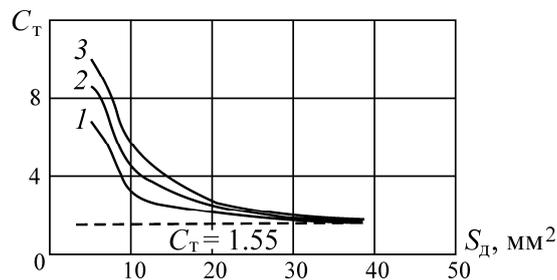


Рис. 5. Зависимость отношения  $C_T$  продолжительности обратного хода к продолжительности прямого хода от площади сечения жиклера: 1 — пневмомолот № 1 ( $X = 0.03$  м); 2 — пневмомолот № 2 ( $X = 0.06$  м); 3 — пневмомолот № 3 ( $X = 0.12$  м)

Для уменьшения частоты ударов следует увеличить ход  $X$  ударника до выхлопа при минимально возможном сечении отверстия в жиклере  $S_d$ . При этом увеличится не только продолжительность прямого  $T_1$  хода, но и в максимальной степени продолжительность  $T_2$  обратного хода, составляющая 90 % от  $T_1$ .

Диапазон регулирования частоты ударов для фиксированной длины  $X$  хода ударника до выхлопа равен  $B_f = f_{\max} - f_{\min}$  (с<sup>-1</sup>), степень регулирования  $C_f = f_{\max} / f_{\min}$ .

На рис. 6а приведены зависимости диапазона и степени регулирования частоты ударов пневмомолота от хода ударника до выхлопа, из которых следует, что увеличение хода ударника до выхлопа сужает диапазон регулирования, но повышает степень регулирования частоты ударов.

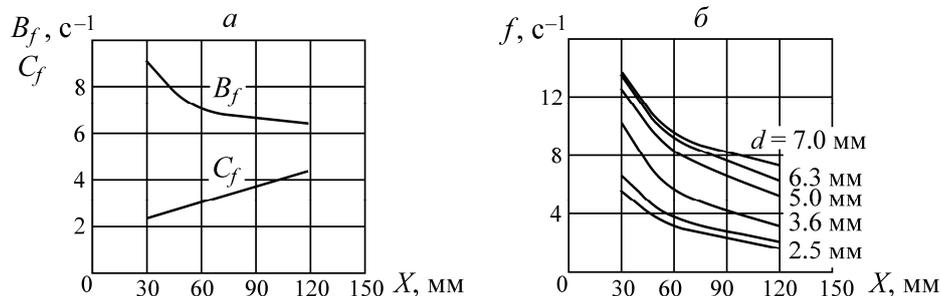


Рис. 6. Зависимости от изменения хода  $X$  ударника до выхлопа: а — диапазона  $B_f$  и степени  $C_f$  регулирования частоты ударов пневмомолота; б — частоты ударов пневмомолота при изменении диаметра  $d$  жиклера

Увеличение длины  $X$  хода ударника до выхлопа сопровождается уменьшением частоты ударов (рис. 6б), а значит, и потреблением воздуха пневмомолотом [6]. Из сопоставления зависимостей следует, что при возрастании хода ударника до выхлопа существенно расширится

диапазон значений расхода воздуха, обеспечивающий устойчивую работу пневмомолота при постоянстве энергии удара, т. е. возрастают возможности адаптации пневмомолота к типоразмерному ряду применяемых компрессоров.

#### **ВЫВОДЫ**

В пневмомолоте с упругим клапаном, устанавливаемым в выхлопном тракте камеры обратного хода ударника и осуществляющим ее механическое замыкание, регулирование частоты ударов при сохранении энергии удара на постоянном уровне достигается при неизменном ходе ударника до выхлопа путем изменения сечения отверстия дроссельного канала, сообщающего рабочие камеры.

На начальной стадии увеличения площади сечения дроссельного канала наблюдается интенсивное повышение частоты ударов, после чего происходит замедление ее роста и стабилизация практически на одном уровне, являющемся верхней границей частотного диапазона пневмомолота.

Установлено предельное минимальное значение отношения продолжительности обратного хода к продолжительности прямого хода при любом ходе ударника до выхлопа, свидетельствующее о том, что верхний уровень частотного диапазона пневмомолота с упругим клапаном имеет ограничение независимо от дальнейшего увеличения сечения дроссельного канала, сообщающего рабочие камеры.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Нестле Х.** Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии. — М.: Техносфера, 2007. — 519 с.
2. **Смоляницкий Б. Н., Тищенко И. В., Червов В. В. и др.** Резервы повышения производительности виброударного погружения в грунт стальных элементов в технологиях специальных строительных работ // ФТПРПИ. — 2008. — № 5. — С. 72 – 81.
3. **Червов В. В., Тищенко И. В., Смоляницкий Б. Н.** Влияние частоты виброударного воздействия и дополнительного статического усилия на скорость погружения стержня в грунт // ФТПРПИ. — 2011. — № 1. — С. 61 – 71.
4. **Тупицын К. К.** К исследованию машин ударного действия с пневматическими пульсаторами // Новосибирск: Изд. ИГД СО АН СССР. Препринт № 2, 1980. — 40 с.
5. **Липин А. А.** Перспективные пневмоударники для бурения скважин // ФТПРПИ. — 2005. — № 5. — С. 79 – 86.
6. **Смоляницкий Б. Н., Червов В. В.** Повышение эффективности использования энергоносителя в пневмомолотах для подземного строительства // ФТПРПИ. — 2014. — № 5. — С. 157 – 168.
7. **Червов В. В., Тищенко И. В., Смоляницкий Б. Н.** Влияние частоты виброударного воздействия и дополнительного статического усилия на скорость погружения стержня в грунт // ФТПРПИ. — 2011. — № 1. — С. 61 – 70.
8. **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.
9. **Червов В. В.** Энергия удара пневмомолота с упругим клапаном в камере обратного хода // ФТПРПИ. — 2004 — № 1. — С. 80 – 89.
10. **Пат. № 2462575 РФ.** Устройство ударного действия / В. В. Червов, Б. Н. Смоляницкий, В. В. Трубицын, А. В. Червов, И. В. Тищенко // Оpubл. в БИ. — 2012. — № 27.
11. **Суднишников Б. В., Есин Н. Н., Тупицын К. К.** Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. — Новосибирск: Наука, 1985. — 134 с.
12. **Гурков К. С., Климашко В. В., Костылев А. Д., Плавских В. Д., Русин Е. П., Смоляницкий Б. Н., Тупицын К. К., Чепурной Н. П.** Пневмопробойники. — Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1990. — 217 с.