

С.А. Евтюков, Б.С. Доброборский, Я. Райчик

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДАРНОЙ СИСТЕМЫ «ПОРШЕНЬ - БОЕК - ИНСТРУМЕНТ» В ПЕРЕНОСНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПЕРФОРАТОРАХ

Машины ударного действия широко применяются в строительстве и горном деле при необходимости разрушения горных пород в тех случаях, когда высокая крепость пород не допускает иного воздействия при разрушении, кроме удара.

Для этих целей промышленностью производятся различные машины: ручные электрические и пневматические отбойные молотки, пневматические переносные перфораторы, буровые агрегаты, копры и ряд других.

Среди всех видов строительных и горных машин переносные пневматические перфораторы являются наиболее вредными для здоровья, а их эксплуатация сопряжена с наиболее тяжелыми условиями труда.

Эта ситуация вызвана следующими причинами.

Переносные пневматические перфораторы применяются для бурения шпуров в породах средней крепости и крепких по шкале проф. Протодьяконова, приведенной в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, к категориям средней крепости и крепким относятся породы с коэффициентом крепости от 10 до 20.

Параметры переносных пневматических перфораторов для бурения шпуров в породах средней крепости и крепких определяются следующими условиями.

Для разрушения пород такой крепости необходим учет их механических свойств, геометрии буровых коронок, параметров ударной системы и импульсов при воздействии на забой.

На рисунке 1 показан график зависимости изменения силы сопротивления породы при ударном внедрении в гранит долотчатой коронки, полученный Р. Саймоном [2].

На рисунке 2 показан график зависимости изменения силы сопротивления породы при ударном внедрении в гранит четырехперой коронки, полученный В.А. Хуструлидом [2].

ТАБЛИЦА 1

Крепость пород по шкале проф. М.М. Протодяконова

Категория	Степень крепости породы	Породы	Коэффициент крепости $f = 0,01G_{сж}$
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитовые породы, Кварцевый порфир, кремнистый сланец, менее крепкие кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Гранит (плотный) и гранитовые породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	10
III _A	Крепкие	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники, крепкий мрамор, доломит, колчеданы	8
IV	Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6
IV _A	Довольно крепкие	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники	5
V	Средние	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
V _A	Средние	Некрепкий глинистый сланец, разнообразный сланец, плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец. Очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс, мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, цементированная галька, каменистый грунт	2
VI _A	Довольно мягкие	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь, отвердевшая глина	1.5
VII	Мягкие	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь, крепкий насос, глинистый грунт	1
VII _A	Мягкие	Мягкая песчанистая глина, лесс, гравий	0.8
VIII	Землистые	Растительная земля, торф, мягкий суглинок, сырой песок	0.6
IX	Сыпучие	Печок, осыпи, мягкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0.5
X	Плывучие	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лесс и др. Разжиженные грунты	0.3

Как видно из рисунков 1 и 2, эффективность долотчатой при внедрении в гранит значительно выше, чем четырехперой.

Кроме свойств породы и геометрии буровых коронок, вид зависимости внедрения от силы связан еще и с длительностью и амплитудой ударного импульса, при котором происходит внедрение буровой коронки в породу.

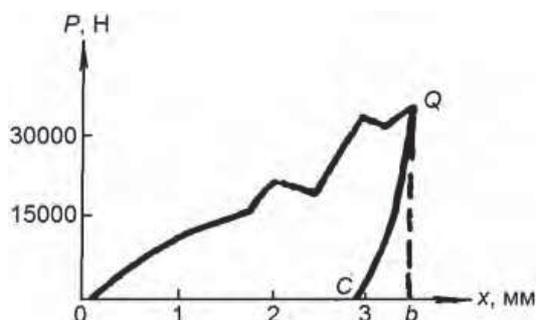


Рис. 1. График ударного внедрения в гранит долотчатой коронки

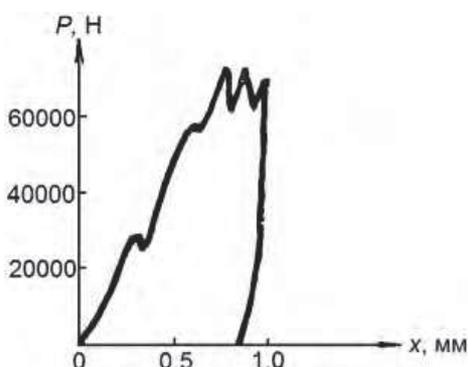


Рис. 2. График ударного внедрения в гранит четырехперой коронки

Работами В.Б. Соколинского (ИГД им. Скочинского) и других [1, 2] в результате экспериментов было установлено, что процесс ударного внедрения так же связан с длительностью и амплитудой ударного импульса.

На рисунке 3 показаны графики зависимости величины внедрения буровой коронки от импульсов различной амплитуды.

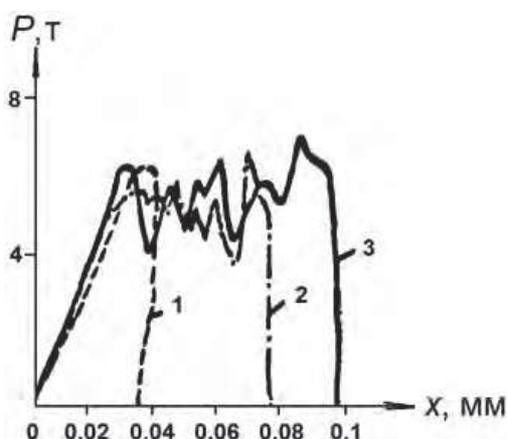


Рис. 3. Графики зависимости величины внедрения буровой коронки от импульсов различной амплитуды

На рисунке 4 показан график внедрения в кварцит долотчатой коронки под действием импульсов различной длительности, но одинаковой амплитуды.

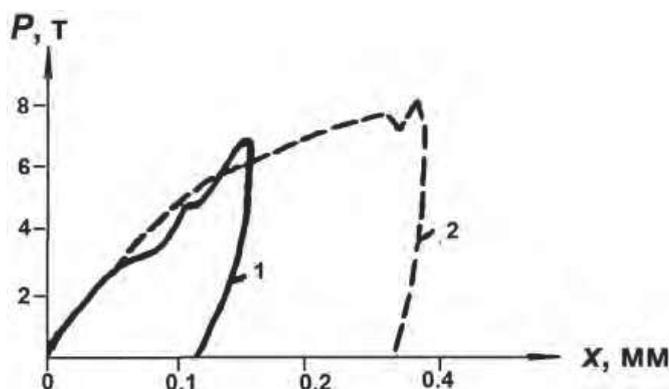


Рис. 4. Графики внедрения в кварцит долотчатой коронки под действием импульсов различной длительности

Как видно из графиков на рисунке 4, они имеют характер аналогичный приведенным на рисунке 3.

Таким образом, для обеспечения эффективного бурения шпуров переносные пневматические перфораторы должны иметь параметры, соответствующие буримой породе по амплитуде и длительности ударов, а так же путем выбора соответствующих буровых коронок.

Однако, кроме обеспечения производительного бурения, переносные пневматические перфораторы должны соответствовать целому ряду параметров, не связанных непосредственно с процессами бурения. К ним относятся масса, вибрация рукояток, шум на рабочем месте, масляные аэрозоли и ряд других [3, 4].

В результате многочисленных исследований различных типов пневматических перфораторов были разработаны стандарты, которым должны соответствовать перфораторы, буровые штанги и буровые коронки, обеспечивающих наиболее приемлемые процессы бурения шпуров.

В таблице 2 приведены основные параметры переносных пневматических перфораторов по ГОСТ Р 51246-99 Перфораторы пневматические переносные. Технические требования и методы испытаний.

В соответствии с указанными в ГОСТе параметрами перфораторов разработаны и соответствующие стандарты на буровые штанги и буровые коронки, рассчитанные на параметры ударных механизмов перфораторов.

Область преимущественного применения перфораторов указана в таблице 3.

Как видно из таблиц 2 и 3, в числе основных параметров переносных пневматических перфораторов является их масса, а также то, что областью их применения является бурение шпуров в породах средней крепости и крепких, до максимальных - 20 ед. по шкале проф. Протоdjeяконова.

ТАБЛИЦА 2

Основные параметры переносных пневматических перфораторов

Наименование параметра	Норма для типоразмера		
	36	54	63
Энергия удара, Дж, не менее	36	54	63
Частота ударов, с ⁻¹ , не менее	38		
Крутящий момент, Н × м, не менее	22	33	52
Номинальное давление сжатого воздуха, МПа	0,5		
Удельный расход воздуха, м ³ × с ⁻¹ × кВт ⁻¹ , не более	0,029		
Масса, кг, не более	20	28	32
Внутренний диаметр рукава, мм:			
подводящего воздух	25		
подводящего промывочную жидкость		12,5	
отсасывающего пыль		25	

Примечания:

1. Параметры перфоратора указаны со средствами шумо- и виброзащиты без водяных коммуникаций и маслораспылителя.
2. Удельный расход воздуха указан без учета продувки шпура при атмосферном давлении (760 ±40) мм рт.ст. и температуре (20 ±10)°С.

ТАБЛИЦА 3

Область преимущественного применения перфораторов

Типоразмер	Диаметр бурения [мм]	Глубина бурения, не более [м]	Коэффициент крепости горных пород, не более
36	32-40	2	12
54	40-46	5	14
63		6	20

Здесь необходимо отметить, что в приведенном стандарте отсутствует один из важнейших показателей - усилие подачи, необходимое для производительного бурения, в чем можно убедиться из рисунка 5, где представлен типовой график зависимости скорости бурения пневматических перфораторов от усилия подачи.

В случае бурения вниз при массе перфоратора в 30 кг и максимально допустимым усилием подачи бурильщика в 200 Н суммарное усилие подачи составит 500 Н, в то время как усилие подачи, при котором достигается максимальная скорость составляет порядка 1500 Н в зависимости от крепости породы и других причин. Таким образом, стандартные пневматические

перфораторы при бурении вниз производят бурение шпуров со скоростью, значительно ниже максимальной.

При бурении горизонтальных и наклонных шпуров применяются пневмоподдержки, которые обеспечивают усилие подачи лишь частично.

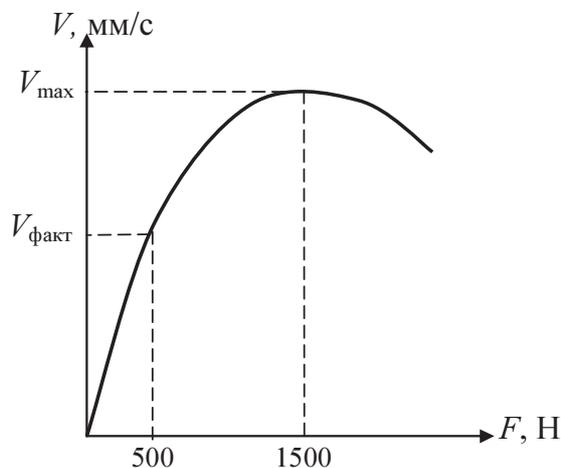


Рис. 5. График зависимости скорости бурения V от усилия подачи F

Это происходит по следующим причинам.

В пневматических перфораторах под действием сжатого воздуха происходят возвратно-поступательные движения поршня-ударника, при которых во время прямого хода поршень-ударник наносит удар по буровой штанге, а во время обратного хода производит поворот буровой штанги на некоторый угол.

При перемещениях поршня-ударника под действием сил сжатого воздуха за счет реактивных сил происходят значительные перемещения корпуса перфоратора в противоположных направлениях. При этом не обеспечивается высокая скорость бурения, так как для этого необходимо, чтобы перед нанесением удара коронкой по породе коронка касалась породы, но не нажимала на нее. Вместо этого значительное количество ударов происходит вхолостую. Кроме того, вызываемая этими движениями корпуса вибрации рукояток перфоратора и приводит к серьезным профессиональным заболеваниям бурильщиков.

Уменьшение реактивных движений корпуса перфоратора можно достичь увеличением соотношения масс перфоратора и поршня-ударника: чем больше соотношение масс поршня-ударника и корпуса перфоратора, тем ниже вибрация перфоратора и меньше необходимое усилие подачи. Поскольку масса перфоратора ограничена действующим стандартом, необходимо уменьшать массу поршня-ударника при сохранении энергии удара.

Эта задача может быть решена с учетом того, что кинетическая энергия поршня-ударника пропорциональна массе и квадрату скорости:

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

В то же время в соответствии со 2-м законом Ньютона:

$$F = ma \quad (2)$$

где

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

В том случае, когда при ударе отрицательное ускорение движения $a \rightarrow \infty$, то и сила, действующая на ударяемое тело $F \rightarrow \infty$.

Отсюда следует, что применением легкого поршня-ударника, развивающего большую скорость, можно обеспечить передачу необходимой энергии на буровую штангу.

Именно такая задача была успешно решена авторами научного открытия № А-415 и патента 2296850, опубликованного в 2007 году [5], разработавшими ударную систему «поршень - боек - инструмент», где боек, по массе меньший, чем поршень, в результате нескольких возвратно-поступательных движений между хвостовиком буровой штанги и движущимся к буровой штанге поршнем, производит несколько высокочастотных ударов по буровой штанге, значительно повышая скорость бурения, как это показано на рисунке 6 [3].

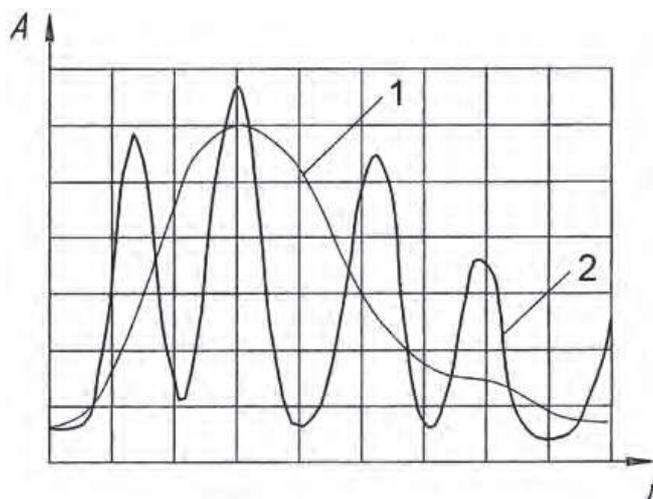


Рис. 6. Графики ударов по буровой штанге: 1 - удар обычным поршнем-ударником, 2 - удары вспомогательного бойка

Как видно из рисунка, время действия ударов поршня-ударника по буровой штанге 1 в несколько раз больше времени каждого из нескольких ударов вспомогательного бойка по буровой штанге при близкой по величине амплитуде, что свидетельствует о значительном увеличении отрицательного ускорения при ударах.

Отсюда следует, что сила каждого удара F вспомогательного бойка по буровой штанге значительно выше, что приводит к значительному повышению скорости бурения, что и подтверждено авторами в результате экспериментов.

Однако такой путь решения проблемы связан с обеспечением необходимых свойств буровой стали и сталей поршня-ударника и вспомогательного бойка, испытывающих при больших значениях сил соударения большие контактные напряжения и упругие деформации, что в конечном итоге приводит к уменьшению их рабочего ресурса.

Таким образом, предложенная авторами ударная система «поршень - боек - инструмент» может быть успешно использована при условии обеспечения соответствующих свойств материалов, используемых в этой ударной системе.

Литература

- [1] Александров Е.В., Соколинский Б.В., Прикладная теория и расчеты ударных систем, Наука, М.: 1968, 200 с.
- [2] Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э., Невенчаный Ю.В., Расчет динамического внедрения инструмента в обрабатываемую среду, «Илим», Фрунзе 1980, 44 с.
- [3] Юнгмейстер Д.А., Судьенков Ю.В., Пивнев В.А., Пягай А.К., Бурак А.Я., Исследования ударной системы «поршень-бойк-инструмент» для расширения области использования процесса дребезга, Горный информационно-аналитический бюллетень 2011, № 8, с. 288-293.
- [4] Научное открытие № А-415. Явление интенсификации передачи энергии удара при центральном повторяющемся соударении твердых тел через промежуточный упругий элемент, Нагаев Р.Ф., Юнгермейстер Д.А., Судьенков Ю.В., Горшков Л.К., Пивнев В.А., Свинин В.С., Оpubл. 2007, Диплом № 332.
- [5] Патент № 2296850. Перфоратор, Юнгмейстер Д.А., Пивнев В.А., Соколова Г.В., Лукашов К.А., Непран М.Ю., Бурак А.Я., Оpubл. 2007, Бюл. № 10.

Резюме

В статье произведен сравнительный анализ ударных процессов в переносных пневматических перфораторах при применении традиционного поршня-ударника и ударной системы «поршень - боек - инструмент». Показано, что предложенная система требует применения материалов с повышенными прочностными параметрами.

Ключевые слова: ударный механизм, пневматический, перфоратор

The possibility of using shock system “piston - striker - tool” in portable pneumatic rotary perforators

Abstract

The article provides a comparative analysis of the impact processes in portable pneumatic rotary perforators with conventional piston-hammer and percussive system “piston - striker - tool”. It is shown that the proposed system requires use of materials with high strength parameters.

Keywords: hammer mechanism, pneumatic, perforator