

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОУДАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРЕЩИН ИЗ СКВАЖИН ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Павел Николаевич Тамбовцев

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, оф. 417, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела горного машиноведения и бурения ИГД СО РАН; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, доцент кафедры строительных машин, автоматики и электротехники, тел. (953)790-94-02, e-mail: tpn@ngs.ru

В работе рассмотрены вопросы создания ударной машины для направленного разрушения пород камня. Ударная машина воздействует на породоразрушающий инструмент, внедряемый в скважину, происходит расклинивание породы и рост магистральной трещины вдоль строчки шпуров. Выбор остановлен на пневматических машинах ударного действия гравитационного типа, обоснована схема пневмоударной машины, на основе моделирования динамики ее базовых узлов проведен численный анализ конструктивных и энергетических параметров. Рабочий цикл схемы устройства оценивался по значениям энергии и частоте ударов, расходу сжатого воздуха. Установлено, что рабочий цикл гравитационной пневмоударной машины с упругим клапаном обеспечивает экономичный расход сжатого воздуха и высокую энергию удара. Результаты численного моделирования подтверждаются экспериментальными данными ИГД СО РАН.

Ключевые слова: Пневмоударная машина, клапанное воздухораспределение, рабочий цикл, диаграммы давлений, компьютерное моделирование, энергия удара, удельный расход.

JUSTIFYING OF PARAMETERS OF PNEUMOPERCUSSION MACHINE FOR FORMATION MAIN CRACKS FROM HOLE OF NATURAL STONE

Pavel N. Tambovtsev

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Ph. D., Senior Researcher, Department of Mine Machinery and Boring; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 113, Leningradskaya St., Novosibirsk, 630008, Russia, Associate Professor, Department of Construction Equipment, Automatic and Electro-technique, phone: (953)790-94-02, e-mail: tpn@ngs.ru

In the work, issues of development of percussive machine for directed destruction of stone rocks are considered. The percussive machine impacts to rock destructive tool implemented into the hole, after that rock wedging and growth of main crack along blast-hole line occur. For that purpose, pneumatic machine of percussion action and gravitational type is chosen. Scheme of the machine is justified based on dynamic simulation of its key assembly units, numerical analysis of constructive and energetic parameters is carried out. Working cycle of the device has been estimated by energy value, percussion frequency, compressed air discharge. It is established that working cycle of gravitational pneumo-percussion machine with elastic valve provides economy of compressed air

discharge and high energy of the strike. Results of numerical simulation are proved by experimental data of Institute of Mining.

Key words: pneumo-percussion machine, valve air distribution, working cycle, pressure diagrams, software simulation, energy of strike, specified discharge.

Введение

В ИГД СО РАН разрабатывается способ направленного разрыва твердых горных пород, который может найти применение при добыче блоков природного камня [1-3]. Сущность его заключается в создании ориентированных трещин в горном массиве путем ударного внедрения инструментов в рабочие скважины. Рабочая часть инструмента (рис. 1) выполнена в виде двухступенчатого цилиндрического стержня с конусообразным переходом, который расширяет стенки скважины, по мере внедрения инструмента на глубину скважины происходит расклинивание массива, образование и рост магистральной трещины. Для ускорения промышленного внедрения этого метода необходимо разработать простые и эффективные технические средства, т. е. простейший надежный рабочий инструмент и ударную машину, приспособленную для эффективного воздействия на инструмент.

В реальных условиях [4] порядок проведения работ по ударному разрушению горной породы подразделяется на основные этапы: бурение строчек холостых шпуров и рабочих скважин; установка в скважинах рабочих инструментов и ударной машины на инструмент с использованием средств механизации; период работы машины, связанный непосредственно с процессом образования магистральной трещины; перемещение машины на следующий участок горной породы, подлежащей разрыву.

Основные затраты времени, связанные с использованием машины, приходятся на подготовительный период работы – на ее перемещение и установку на инструмент. Период работы машины, связанный с появлением и развитием трещины, занимает небольшой отрезок времени (50-100 ударов, 1-2 мин) и на общее время технологического цикла существенно не влияет. Существенно осложнить работу на подготовительном этапе, когда инструмент затравливается в шпур и еще не сцепился силой трения с боковой стенкой сква-

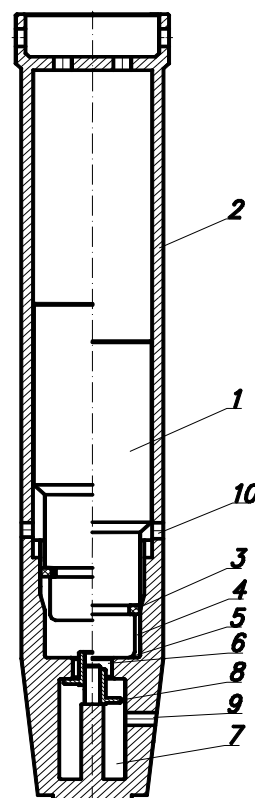


Рис. 1. Конструктивная схема гравитационной пневмоударной машины

жины, может действие сил отдачи. Поэтому разрыв массива природного камня предпочтительно осуществлять ударным устройством, не имеющим отдачи.

Устранение отдачи возможно в случае, когда разгон ударника на рабочий ход осуществляется за счет гравитации. Обзор существующих пневмоударных устройств [5, 6] показал, что известные конструкции не удовлетворяют требованию отсутствия отдачи. В качестве решения поставленной задачи предлагается конструкция гравитационной пневмоударной машины с клапанным воздухораспределением, показанная на рис. 1. Она включает ударник 1, направляющий цилиндр 2 для движения ударника, упругий клапан 3 на ударнике, рабочую камеру 4, наковальню 5 с отверстием 6, распределительную полость 7, золотник 8, магистраль 9, выхлопные окна 10.

Перед работой машину устанавливают на верхнем торце инструмента. При включении сжатый воздух поступает в рабочую камеру 4 через полость 7 и отверстие 6 в наковальне 5. Под давлением воздуха ударник начинает движение вверх, накапливая кинетическую энергию до начала выхлопа сжатого воздуха в атмосферу через выхлопные окна 10 в направляющем цилиндре 2. Одновременно под действием перепада давления золотник 8 перемещается вверх и перекрывает доступ сжатому воздуху в камеру 4. Далее ударник по инерции продолжает движение вверх до некоторой высоты, после чего под действием гравитации возвращается в исходное положение и наносит удар по наковальне. Одновременно с ударом ударник с упругим клапаном герметизируют рабочую камеру 4 обратного хода и воздействует на золотник 8, смещая его и открывая доступ сжатому воздуху из распределительной полости 7 в камеру 4. Затем цикл повторяется.

Использование в машине упругого клапана обусловлено тем, что перед ударом значительно снижается эффект сжатия воздуха в камере обратного хода и торможение ударника, устраняется проблема уплотнения рабочей камеры и точного сопряжения ударника с направляющим цилиндром. Отсюда простота конструкции и низкая стоимость изготовления. Особенности работы упругого клапана подробно рассмотрены в работах [7-9].

Методы и результаты исследований

В работе ставилась задача проектирования ударной машины, способной разрушать высокопрочные граниты, экспериментальный опыт [2] свидетельствует о том, что на один инструмент нужно воздействовать ударной нагрузкой с энергией удара не менее 7-8 кДж. Предударная скорость у пневмоударных машин, как правило, находится в пределах 4-6 м/с, при этом массу ударника принята $m = 600$ кг, давление (избыточное) в компрессорной установке находится в диапазоне $p = 0,6-1,2$ Мпа.

Рабочий процесс гравитационной пневмоударной машины исследовался на численной модели, построенной с помощью компьютерной программы [10]. В расчетную модель подставляли значения физических и конструктивных па-

раметров ($p_i, T_i, m_i, V_i, J_i, S_{ij}$). Рабочие циклы пневмоударной машины оценивались непосредственно по энергии и частоте ударов, расходу сжатого воздуха в установившемся режиме работы устройства.

Расчетные схемы машины с указанием ее основных конструктивных и физических параметров представлены на рис. 2.

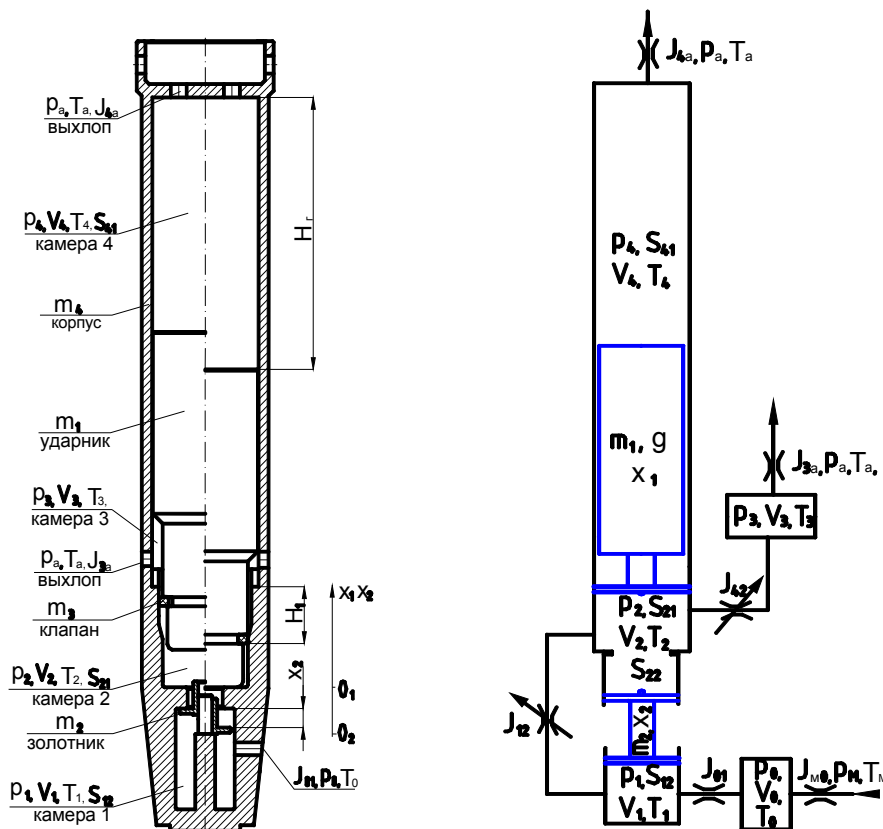


Рис. 2. Расчетные схемы пневмоударных механизмов

(слева – конструктивная схема, справа – схема пневматических связей):

V_i – объемы камер; J_i – площади воздухопроходных сечений; m_i – массы подвижных элементов; S_{ij} – эффективные площади масс m_i ; T_i, T_m – абсолютная температура воздуха в i -камере, магистрали; p_m, p_i, p_a – абсолютное давление воздуха в магистрали, i – камере, атмосфере

На рис. 3 представлены характерные для данной машины диаграммы рабочего цикла, отражающие ход внутренних динамических процессов. Представленные диаграммы соответствуют рациональным значениям конструктивных параметров: $m_1 = 600$ кг, $m_2 = 7$ кг, $S_{21} = 583$ см², $S_{12} = S_{22} = 200$ см², $S_{41} = 779$ см², $J_{m0} = J_{01} = 5,3$ см² (8,5 см²), $J_{4a} = 210$ см², $V_0 = 22670$ см³, $V_1 = 5800$ см³, $V_2 = 6690$ см³, $V_3 = 2700$ см³. В таблице приведены выходные характеристики результатов моделирования, при изменении значений магистрального давления 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 МПа и площади сечения магистрального канала 5,3 см²; 8,5 см².

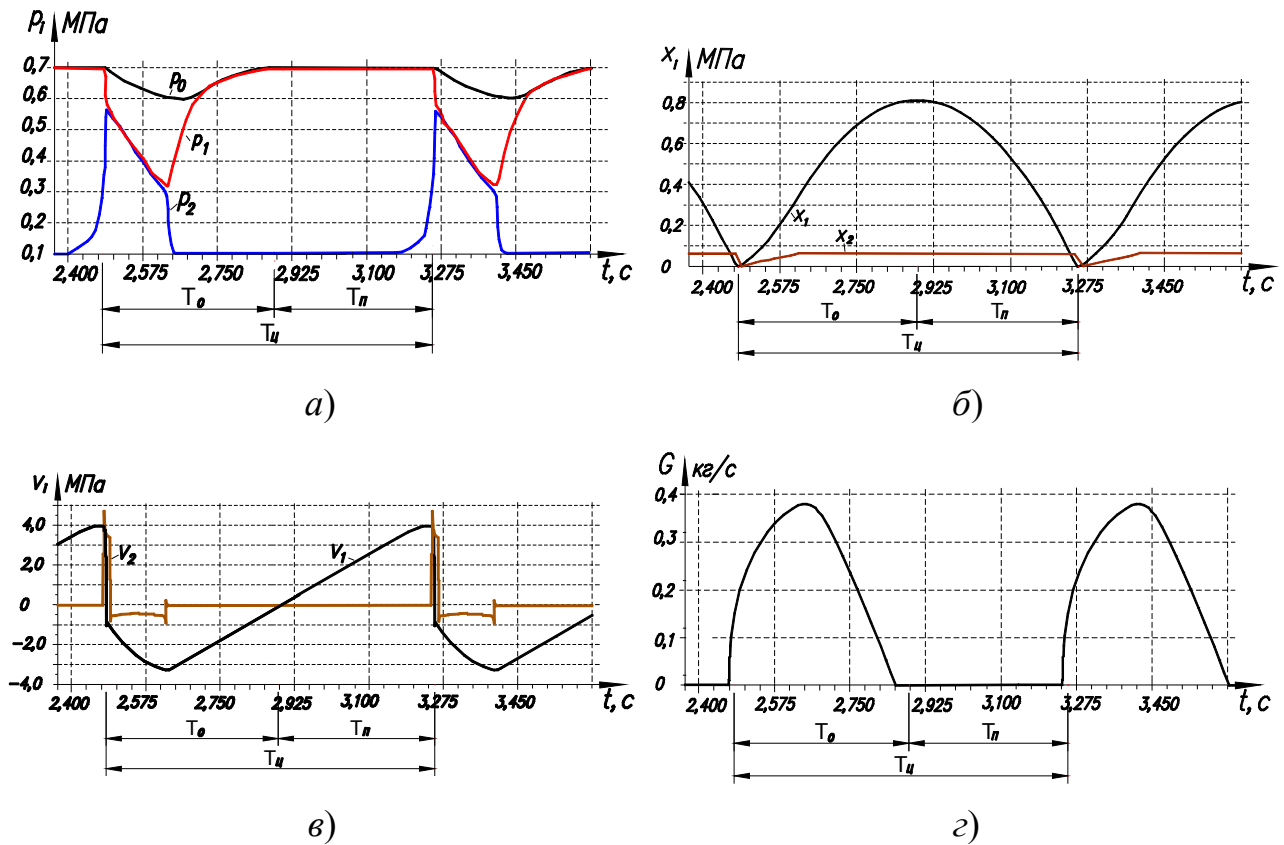


Рис. 3. Расчетные диаграммы рабочих циклов пневмоударной машины:

а) изменения абсолютного давления сжатого воздуха по времени $p_i(t)$ в i -камерах; б) перемещения ударника $x_1(t)$ и золотника $x_2(t)$; в) скорости ударника $v_1(t)$ и золотника $v_2(t)$; г) мгновенного расхода сжатого воздуха $G(t)$: t – время, с; $T_{Ц}$ – период цикла; T_0 , $T_{П}$ – периоды обратного и прямого хода

Таблица 1

Расчетные показатели рабочего цикла
гравитационной пневмоударной машины

Показатели	Значения						
Давление изб, p , Мпа	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2
Площадь магистр, J_m , см ²	5,3	8,5	5,3	8,5	5,3	8,5	5,3
Период цикла, $T_{Ц}$, с	0,77	0,80	0,82	0,85	0,87	0,92	0,95
Период обр. хода, T_0 , с	0,40	0,42	0,41	0,45	0,44	0,48	0,50
Период прям. хода, $T_{П}$, с	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,44	0,45
Ход ударника, H_x , с	800	870	1000	1100	1180	1300	1370
Скорость удара, v , м/с	3,86	4,2	4,46	4,63	4,95	5,18	5,35
Энергия удара, A , Дж	4470	5292	5968	6431	7351	8050	8587
Частота ударов, n , Гц	1,30	1,25	1,22	1,17	1,15	1,09	1,05
Ударная мощность, N , Вт	5812	6615	7280	7524	8453	8774	9016
Абс. расход, Q , м ³ /мин	6,30	5,92	6,66	6,62	7,07	7,48	7,80
Удельн. расход, q , м ³ /Дж	$18,0 \times 10^{-6}$	$15,0 \times 10^{-6}$	$15,2 \times 10^{-6}$	$14,6 \times 10^{-6}$	$13,9 \times 10^{-6}$	$14,1 \times 10^{-6}$	$14,4 \times 10^{-6}$

Анализ результатов

Для рабочего цикла исследуемой гравитационной пневмоударной машины (рис. 3), характерно следующее: перекрытие доступа сжатого воздуха в КОХ происходит до начала выхлопа (рис. 3, *а, б*), сжатый воздух в рабочей камере работает на расширение (кривая p_2 , рис. 3, *а*); при прямом ходе ударника сопротивление его движению от сжатия воздуха в рабочей камере сведено к минимуму (участок кривой p_2 , рис. 3, *а*).

Специфика назначения машины из всех выходных параметров на первое место выдвигает энергию удара (скорость удара, рис. 3, *в*). Частота ударов решающего значения на технологический процесс не имеет и здесь она низкая (1,05-1,3 Гц), поскольку большую часть рабочего цикла ударник перемещается только под действием собственного веса. Этим объясняется относительно низкое среднее значение расхода сжатого воздуха (Q), средний расход определялся из данных графика (рис. 3, *г*). Изменение энергии удара, среднего расхода сжатого воздуха и соответствующей ударной мощности в зависимости от магистрального давления наглядно показывают графики (рис. 4).

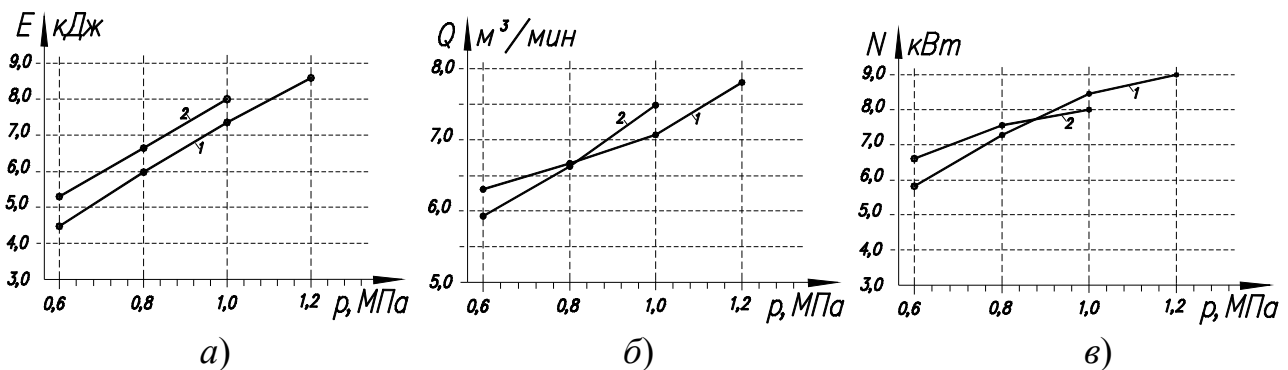


Рис. 4. Зависимости энергии удара (E), расхода сжатого воздуха (Q) и ударной мощности (N) от магистрального давления (p):

1 – сечение магистрального канала $j_0 = 5,3 \text{ см}^2$, 2 – $j_0 = 8,5 \text{ см}^2$

На графиках рис. 4, *а* показано, что при повышении магистрального давления от 0,6 до 1,2 МПа энергия удара линейно увеличивается с 4470 до 8587 Дж, при $j_m = 5,3 \text{ см}^2$ и с 5292 до 8050 Дж, при $j_m = 8,5 \text{ см}^2$, $p_m = 0,6-1,0$ МПа. На графиках (рис. 4 б, в) показано изменение расхода воздуха и ударной мощности от магистрального давления, расход увеличивается с 6,3 до 7,8 м³/мин, при $j_m = 5,3 \text{ см}^2$ $p_m = 0,6-1,0$ МПа, при этом повышается ударная мощность – с 5811 до 9016 Вт. Таким образом, изменением давления в магистральном канале можно регулировать величину энергии удара, среднего расхода сжатого воздуха и ударной мощности машины.

Заключение

Рабочий цикл гравитационной пневмоударной машины с клапанным воздухораспределением обеспечивает высокую энергию удара при экономичном расходе сжатого воздуха. Результаты компьютерного моделирования показали, что в зависимости от давления в магистрали 0,6-1,2 МПа и при сечении магистрального канала $j_m = 5,3 \text{ см}^2$ машина с массой ударника 600 кг имеет энергию удара 4470-8587 Дж, рабочий ход ударника 800-1370 мм, ударную мощность 5811- 9016 Вт, абсолютный расход сжатого воздуха 6,3-7,8 м³/мин, удельный расход сжатого воздуха составляет не более $18,0 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{Дж}$. Энергетические показатели ударной машины, полученные расчетным путем, удовлетворяют условиям ударного воздействия на инструмент, внедряемый в скважину для гарантированного образования магистральной трещины в массиве высокопрочных пород природного камня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кю Н. Г., Чернов О. И. Патент РФ 2131032. Способ разрушения горных пород; патентообладатели: ИГД СО РАН, опубл. в Бюл. № 15. – 1999.
2. Тамбовцев П.Н. Обоснование технологических параметров отделения крупноразмерных гранитных блоков / Международная конференция “Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности”, Новосибирск, (ИГД СО РАН), 2018.
3. Тамбовцев П.Н. Патент РФ на ПМ № 124922: «Устройство для образования направленных трещин в скважинах (варианты)» // опубл. 20.02.2013, Бюл. №5.
4. Карасев Ю. Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. Учебное пособие. – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 1997. – 428 с.
5. Grundomat pneumatic piercing tool. // <http://www.tttechnologies.com/download/literature/grundomat-lit.pdf> (12.03.2018)
6. Tishchenko I. V., Chervov V.V., Smolyanitsky B. N. Evaluation of Layout of Air Drill Hammer with Smooth Adjustment of Impact Impulse Frequency // Journal of Mining Science. – 2017. – Vol. 53. – No. 1. – Pp. 109-116.
7. Petreev A. M., Primychkin A. Yu. Ring-type elastic valve operation in air hammer drive // Journal of Mining Science. – 2016. – Vol. 52. – No. 1. – Pp. 135-145.
8. Chervov V.V., Smolyanitsky B.N., Experimental estimate of power variation range of pneumatic hammer with mechanical locking of elastic valve // Journal of Mining Science. – 2016. – Vol. 52. – No. 5. – Pp. 913-918.
9. Гаун В.А. Некоторые направления повышения эффективности погружных пневмоударников. / Сб. научных трудов «Пневматические буровые машины». – Новосибирск, 1984.
10. ESA ITI SimulationX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.simulationx.com> (12.03.2018).

© П. Н. Тамбовцев, 2019