УДК 622.063.23

А.Я.БУРАК, Д.А.ЮНГМЕЙСТЕР, А.Ю.ВАСИЛЬЕВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет),
Ю.В.СУДЬЕНКОВ
Санкт-Петербургский государственный университет

СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РУЧНОГО ПЕРФОРАТОРА С УДАРНОЙ СИСТЕМОЙ «ПОРШЕНЬ-БОЕК-ШТАНГА»

Представлен стенд для исследования ударных систем. Изложена методика экспериментальных исследований стенда и представлены результаты исследований. Описано необходимое оборудование для исследований. Обоснована эффективность применения в конструкциях пневмо- и гидроперфораторов сдвоенной ударной системы. Рассмотрены дальнейшие исследования ударной системы «поршень-боек-штанга».

In clause the stand for research of shock systems is presented. The technique of experimental researches of the stand is stated and results of researches are presented. The necessary equipment for researches is presented. Efficiency of application in designs pnevmo- and hydropunchers of the dual shock system is proved. The further researches of shock system «piston-beat-bar» are stated.

Данные отечественной и зарубежной практики показывают, что затраты на буровые работы составляют до 40 % всех затрат на добычу руды. Поэтому задачи совершенствования буровой техники и увеличения ее производительности, особенно для бурения крепких пород, являются сегодня весьма актуальными.

Для повышения эффективности работы гидро-, пневмо- и электроперфораторов необходимо детально исследовать взаимосвязь основных параметров элементов их ударных систем. Исследования параметров целесообразно проводить в лабораторных условиях на специальных стендах, а окончательные рекомендации выдавать на основании промышленной проверки и корректировки вышеуказанных результатов.

Методика проведения экспериментальных исследований предусматривает проверку всех четырех эффектов, присутствующих при использовании в перфораторах ударной системы «поршень-боек-штанга (инструмент)» для бойков малой массы: рост энергии прямого ударного импульса за счет квазипластического удара; ослабление крепости забоя при прохождении в него ударного импульса, состоящего из семейства коротких импульсов большой амплитуды; демпфирование переотраженных волн бойком, а также создание импульсов заданной формы, продолжительности и амплитуды.

В настоящее время проведено три этапа исследований ударных систем:

• *Исследование формы ударного импульса*. Методика исследований заключалась в следующем (рис.1). Датчики Д1 и Д2 размещались на составном стрежне-штанге стенда. Датчик Д1 для измерения продольных колебаний размещался на расстоянии 233 мм от нагружаемого торца стержня-штанг, в месте стыка штанг. Вторая часть штанги длиной 699 мм жестко соединялась с первым отрезком стержня с помощью резьбового соединения (М12 × 1,25 мм). На этой части штанги размещался датчик Д2, регистрирующий поперечные колебания в стержне при прохождении ударного импульса. Датчик Д2 располагался на расстоянии 30 мм от места стыка штанг, т.е. на расстоянии 263 мм от нагружаемого конца штанги.

Все измерения проводились на одной скорости поршня, равной 6,5 м/с.

Оба датчика выполнены из пьезопленки ПВДФ. Датчик Д1 выполнен в виде диска

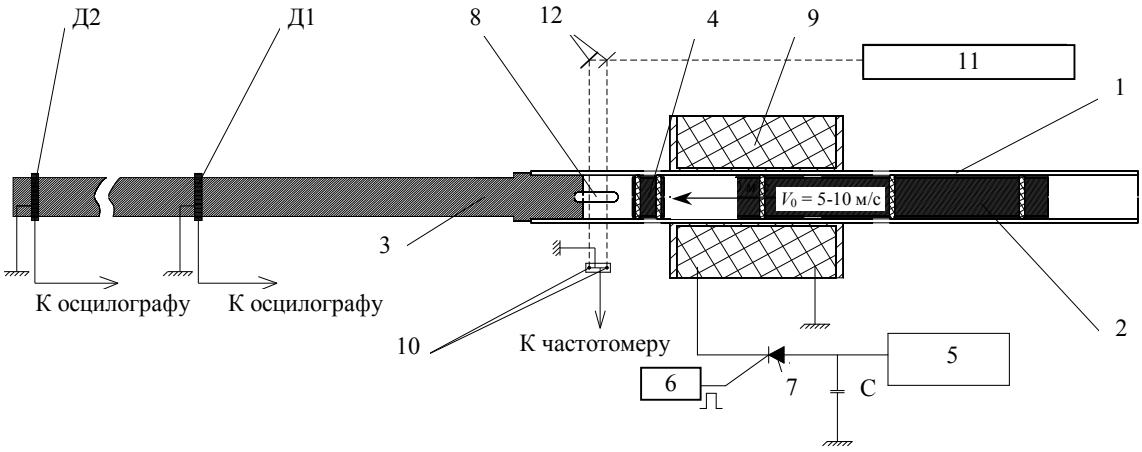


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки

1 – труба; 2 – поршень-ударник; 3 – штанга (стержень 24 × 500 мм); 4 – боек; 5 – источник постоянного напряжения (до U = 1000 В); 6 – генератор импульсов; 7 – тиристор; 8 – окно для измерения скорости; 9 – соленоид; Д1, Д2 – пьезодатчик ПВДФ; 10 – фотодиоды; 11 – лазер; 12 – зеркала отражения луча лазера для измерения скорости; С – блок конденсаторов, С = 800 мкФ

толщиной 100 мкм, диаметром 24 мм с центральным отверстием 12 мм, токосъем осуществлялся с помощью медных токосъемников толщиной 50 мкм. Датчик Д2 изготовлен из пьезопленки толщиной 30 мкм и выполнен в виде полоски шириной 2 мм и длиной 70 мм, токосъем осуществлялся медной полоской толщиной 50 мкм. Ширина датчика, определяющая временное разрешение, позволяла регистрировать упругие колебания с разрешением не хуже 0,5 мкс.

Характерные виды сигналов с датчиков Д1 и Д2 для случая удара поршня, поршня с бойком при различных первоначальных положениях бойка относительно торца штанги

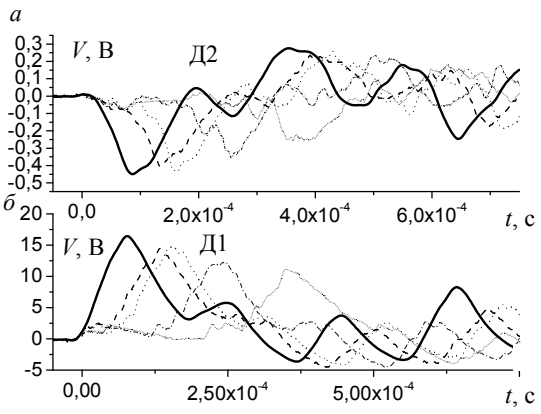


Рис.2. Осциллограммы сигналов с датчиков Д1 (*а*) и Д2 (*б*) для случая соударения поршня с промежуточным бойком и штангой при разных начальных расстояний бойка от торца штанги

(от 1,0 до 20 мм) представлены на рис.2. Основной черной линией показаны осциллограммы, соответствующие удару только поршня, все другие осциллограммы удару этого же поршня с бойком из Ti.

Видно, что в отличие от гладкого импульса, соответствующего удару поршня, наличие промежуточного ударника-бойка приводит к появлению на осциллограммах всплесков, опережающих основной импульс, соответствующий совокупному воздействию поршня и бойка.

Анализируя графики ударных импульсов, с учетом гипотезы о разрушении пород на переднем фронте ударного импульса, можно с уверенностью говорить о значительном увеличении эффективности разрушения породы с применением сдвоенных ударных систем [3, 4].

• *Исследование ударных систем на стенде с баллистическим маятником* [1]. Методика исследований заключалась в следующем (рис.3): датчики размещались на стержне-штанге 3 стенда и в стержне 10 баллистического маятника 11. Стержень 10 баллистического маятника 11 выполнен в виде стальной трубы такого же диаметра, что и стержень-штанга 3 стенда, а его длина превышала длину поршня-ударника 2 более чем в два раза. Угол отклонения баллистического маятника 11 измерялся при помощи электрического потенциометра (угломера) 12.

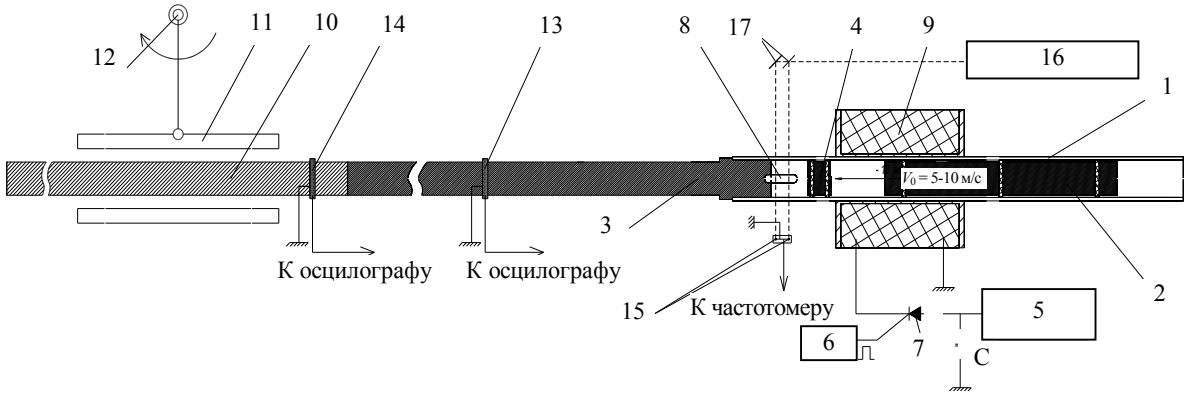


Рис.3. Схема стенда с баллистическим маятником для исследования ударных систем
1 – труба; 2 – поршень-ударник; 3 – штанга; 4 – боек; 5 – источник постоянного напряжения; 6 – генератор импульсов; 7 – тиристор; 8 – окно для измерения скорости; 9 – соленоид; 10 – стержень баллистического маятника; 11 – баллистический маятник; 12 – потенциометр; 13, 14 – пьезодатчики ПВДФ (датчик напряжений); 15 – фотодиоды; 16 – лазер; 17 – зеркала тражения луча лазера для измерения скорости

Экспериментальное оборудование

Позиции рис.3	Наименование	Параметры	Марка	Аналоговые марки прибора	Примечание
5	Источник питания	Напряжение до 500 В	УИП-1	Б5-24А (до 4000В)	–
6	Генератор импульсов	Длительность 10 нс – 1 с Время повтора 100 нс – 1 с Амплитуда 10 В (50 Ом)	Г5-54	Г5-56	–
7	Тиристор	–	ТЛ2-160-8	–	–
12	Потенциометр линейный прецизионный проволочный типа ПЛП	Частота 400 Гц Усилие, прилагаемое вдоль оси потенциометра прецизионного, не более 9,8 Н	ПЛП-21 (R = 20 кОм)	–	Для определения энергии удара поршня-ударника
13, 14	Пьезодатчик (датчик напряжений)	–	ПВДФ	–	То же
15	Фотодиоды	Максимальное напряжение 10 В Чувствительность 7 нА/лк Время срабатывания/отпускания 3,5 нс Угол обнаружения ±50°	ФД-256 (2 шт.)	BPW21 (2 шт.)	Для измерения скорости поршня-ударника
16	Лазер	Длина волны 0,63 мкм Средняя мощность 5 Вт	Plasma ГН-5П	ГН-2П	То же
17	Осциллограф	2 канала, 40 МГц Частота дискретизации 1 Ггц, Память 2500 точек на канал Монохромный дисплей, USB	Tektronix TD5754C	Tektronix TDS 1001B	–
18	Частотомер электронно-счетный	2 канала (0,1 Гц-150 МГц, 100 МГц-1000 МГц) Стабильность 5Е-6 8-разрядный индикатор Масса 3 кг	Ч3-34А	Ч3-84/2	Время между сигналами импульсов
19	Конденсаторы	–	МБГМ-1000 В – 200 мкФ	–	–

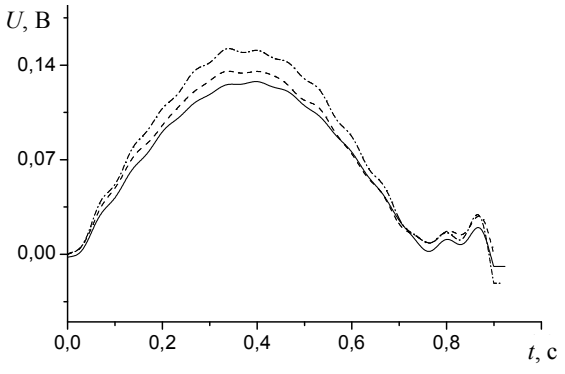


Рис.4. Отклонения баллистического маятника при воздействии ударного импульса

Первый датчик 13 регистрировал продольные колебания напряжений в штанге 3 стенда при прохождении ударного импульса и располагался на расстоянии 300 мм от нагружаемого торца штанги. Второй датчик 14 размещался на расстоянии 30 мм от конца стержня 10 баллистического маятника 11 и регистрировал на осциллографе колебания напряжений при прохождении ударного импульса через стык между штангой 3 и стержнем 10 маятника при различных режимах ударного воздействия.

В таблице представлено необходимое оборудование для экспериментальных исследований на стенде.

На рис.4 представлены типичные осциллограммы отклонений баллистического маятника при воздействии ударного импульса с поршнем без бойка и с применением бойка (величина зазора 1 и 1,5 мм). Угол отклонения баллистического маятника равен кинетической энергии, передаваемой в стержень маятника при воздействии ударного импульса. Из осциллограммы видно, что энергия, передаваемая через штангу при воздействии сдвоенной ударной системы, превышает на 15-20 % энергию, передаваемую через штангу при воздействии классической ударной системы.

• *Исследования эффективности разрушения пород различных свойств при использовании классической ударной системы и ударной системы из трех тел.* Исследовались характер разрушения и глубина внедрения ударника-индентора в образец, а также пороги и характер разрушения образцов при испытаниях на ударный изгиб [2] по методу Шарпи. Для этого была выполнена следующая работа (рис.5):

– монтировалось специальное крепление 11 (упор) с подставкой для образцов породы различной крепости и с возможностью фиксирования упора в определенном положении;

– образец породы 17 и торец сменной насадки (пики) 4, установленной на конце штанги 16 стенда, были вплотную прижаты друг к другу для соблюдения акустического контакта;

– в центральной части испытуемых образцов выполнялся надрез, необходимый для концентрации ударной нагрузки в заданном месте образца.

В качестве испытуемого материала были использованы образцы породы, выполненные из эпоксидной смолы квадратного сечения.

Пороговые скорсти поршня-ударника, при которых происходило разрушение образцов, различались на 25-30 %. Пороговое значение скорости для удара только поршня составляло около 3,5 м/с, а для удара поршня через боек примерно 2,9 м/с.

При оценке эффективности разрушения образцов породы пользовались методом Шарпи. Разрушение образцов при ударе поршня через боек, т.е. ударным импульсом с более высокочастотным спектром, помимо различия пороговых скоростей, характеризуется наличием достаточно большого числа микротрещин. Это свидетельствует об интенсификации разрушения пород при использовании сдвоенной ударной системы [2].

Дальнейшие исследования ударных систем будут проводиться в следующих направлениях:

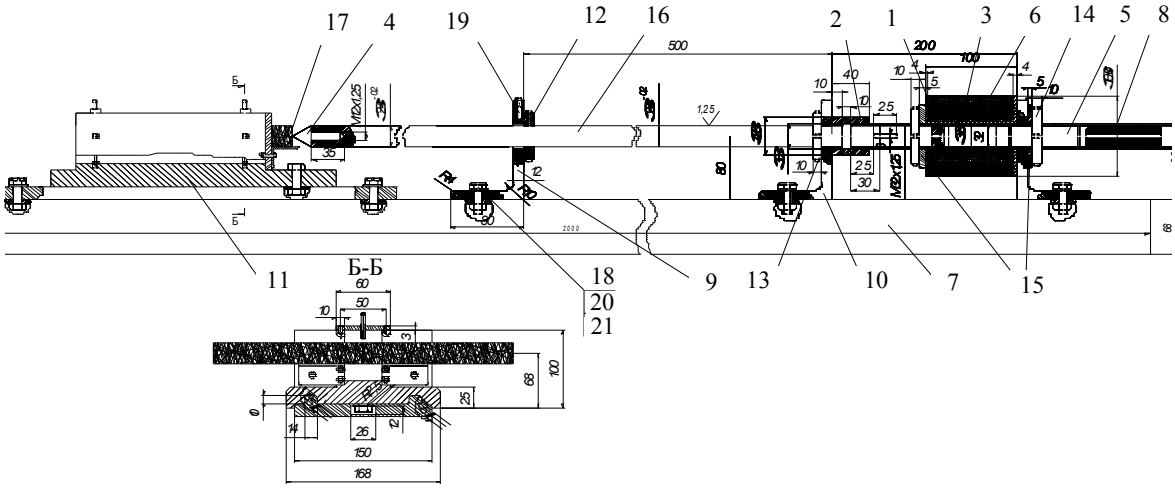


Рис.5. Стенд для исследования ударных систем при взаимодействии с породами различных свойств

1 – боек; 2 – втулка; 3 – катушка для соленоидной обмотки; 4 – сменная насадка (пика); 5 – поршень; 6 – соленоидная обмотка; 7 – рама; 8 – труба из нержавеющей стали; 9, 10 – уголки; 11 – крепление (упор) для испытуемых образцов; 12, 13,14 – фиксаторы; 15 – шайбы; 16 – штанга; 17 – испытуемый образец породы; 18,19,20 – стандартные изделия для креплений или фиксации сборочных единиц стенда

• модернизация конструкций ударных систем буровых головок;

• отладка конструкций элементов ударных систем модернизированных или вновь разработанных буровых головок (изготовление макетов новых ударных систем, проверка их работоспособности, отладка конструкции – изготовление уточненных по результатам стендовых испытаний рабочих чертежей, изготовление обновленных элементов, вторичная или последующая проверка работоспособности на стенде, ресурсные испытания).

Проведение этих работ позволит судить о применении ударных систем «поршень-боек-штанга» в конструкциях пневмо-, гидро- и электроперфораторов.

В настоящее время в лаборатории кафедры теории упругости СПГУ совместно со специалистами кафедры конструирования горных машин и технологии машиностроения СПГГИ смонтирован стенд для исследования ударной системы модернизированного электрического перфоратора Dauer ИЭ4724, на котором будут проводиться следующие работы:

• имитирование процесса бурения;

• измерение энергии и частоты ударов поршня-ударника с помощью баллистического маятника;

• регистрирование параметров ударного импульса с помощью пленочных пьезодатчиков;

• наблюдение за разрушением образцов различных свойств в зависимости от применяемой ударной системы.

Работа по созданию стенда делилась на ряд этапов:

• разработка металлоконструкции стенда;

• разработка устройства для измерения энергии, скорости и частоты ударов поршня-ударника;

• разработка устройства для измерения ударного импульса, проходящего в штанге стенда под воздействием на нее поршня-ударника;

• разработка методики исследований основных параметров ударных систем перфоратора.

Создание аналогичного стенда в лаборатории кафедры конструирования горных машин и технологии машиностроения СПГГИ и разработка методических указаний позволит проводить на стенде как научно-исследовательские, так и учебно-исследовательские работы студентов и аспирантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование ударных систем на стенде с баллистическим маятником / Д.А.Юнгмейстер, Г.В.Соколова, Ю.В.Судьенков, А.Я.Бурак // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 7.

2. Исследование эффективности разрушения твердых тел при ударе одиночным и сдвоенным стержнем-ударником / Ю.В.Судьенков, А.И.Сусликов, Д.А.Юнгмейстер, А.Я.Бурак // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии; Материалы III международного научного симпозиума; ОрелГТУ. Орел, 2006.

3. Основные результаты исследований перфоратора со сдвоенной ударной системой «поршень-боек-штанга» / Д.А.Юнгмейстер, А.Я.Бурак, В.А.Пивнев, Ю.В.Судьенков // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 3.

4. Экспериментальные исследования пневматических перфораторов (ударных систем) с двухмассовым поршнем-ударником / Д.А.Юнгмейстер, В.А.Пивнев, Ю.В.Судьенков и др. // Гидравлика и пневматика. 2004. № 13-14.