

ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 622.233

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЖНЫХ ПНЕВМОУДАРНИКОВ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ СОУДАРЯЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

И. А. Жуков¹, Б. Н. Смоляницкий^{2,3}, В. В. Тимонин²

¹Сибирский государственный индустриальный университет,
ул. Кирова, 42, 654007, г. Новокузнецк, Россия

²Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: bsmol@misd.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

³Сибирский государственный университет путей сообщения,
ул. Д. Ковальчук, 191, 630049, г. Новосибирск, Россия

Обсуждается проблема совершенствования конструкций погружных пневмоударников для повышения производительности бурения скважин в горных породах. Она решается за счет выполнения свободных поверхностей бойков, не контактирующих с корпусом, криволинейными. Это обеспечивает генерирование в породоразрушающем инструменте ударного импульса, разрушающего породный массив с минимальной энергоемкостью. Разработаны новые конструкции бойков для погружных пневмоударников ПП110ЭН и ПП110НК, созданных в ИГД СО РАН. Экспериментально показано, что подбор рациональной формы бойков обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик погружных пневмоударников в среднем на 15 %.

Пневмоударник, боек, удар, импульс, горная порода, разрушение

DOI: 10.15372/FTPRPI20180205

В практике разработки полезных ископаемых наиболее распространен механический способ разрушения горной породы при бурении шпуров и скважин, при котором отделение частей горных пород от массива происходит под действием механических усилий, создаваемых машиной и передаваемых породе специальным инструментом [1–3]. Для бурения в породах средней и высокой крепости успешно применяется ударно-вращательный способ воздействия. Одним из видов буровых агрегатов, обеспечивающих такой способ, являются погружные пневмоударники [2, 3].

Эффективная работа ударных машин определяется энергией единичного удара, которая задается исходя из ресурса, эксплуатационной надежности ударного узла и инструмента, при условии обеспечения разрушения породы с минимальной энергоемкостью. При бурении боек, взаимодействуя с долотом, генерирует изменяющиеся во времени силы, обеспечивающие разрушение горной породы. Наименьшая энергоемкость разрушения среды будет достигнута в том

случае, когда зависимость изменения нагрузки, передаваемой долотом забой, от времени ее действия совпадает с формой начального импульса, генерируемого бойком. В этом случае отраженная от забоя энергия будет минимальной. При действии ударного импульса, не согласованного с нагрузкой на забой, происходит отражение энергии. Она не используется на разрушение забоя скважины, что повышает общую энергоемкость процесса бурения. Таким образом, эффективность разрушения горной породы при заданной кинетической энергии бойка, ударяющего по буровому долоту, в значительной степени определяется процессом передачи ударного импульса породоразрушающему инструменту. Его совершенствование, безусловно, будет служить основой для увеличения производительности машин и уменьшения энергозатрат.

В классических трудах по продольному удару (Сен-Венан, Ж. Буссинеск, А. Ляв, С. П. Тимошенко, Н. А. Кильчевский, Я. Г. Пановко и др.) не исследовалась закономерность формирования упругой волны. Дальнейшие работы, проведенные в 60–80-х годах XX в., показали, что эффект воздействия на горную породу породоразрушающего инструмента обусловлен как массой и предударной скоростью ударяющего тела, так и его формой [4]. Упругая волна, генерируемая в стержне при ударе, определяется не только ее энергией, но и законом изменения амплитуды импульса по его длине. Физический факт влияния формы ударяющего тела на эффект разрушения при ударе, был официально зарегистрирован в 1964 г. [5]. Из него следует, что разрушение геоматериала зависит от конфигурации ударяющего по инструменту тела, изменяя которую можно согласовать график нагрузки на забой с формой ударного импульса. Это подтверждается результатами работ [1–3, 6–8], в которых проведен системный анализ существующих форм ударников, разработаны методы их аналитического и графо-динамического анализа и синтеза, разработаны легко применяемые в масштабах заводов алгоритмы и программы проектирования бойков, найдены методы проектирования ударяющих тел для заданных условий эксплуатации.

Большинство отечественных пневмоударников созданы в ИГД СО РАН [9–11]. В последние годы сотрудниками Института разработаны новые погружные пневмоударники ПП110ЭН (рис. 1а) и ПП110НК (рис. 1б), энергия удара которых в 1.5–1.8 раза выше, чем у серийных ПП-110-3.2 и др. [12, 13].

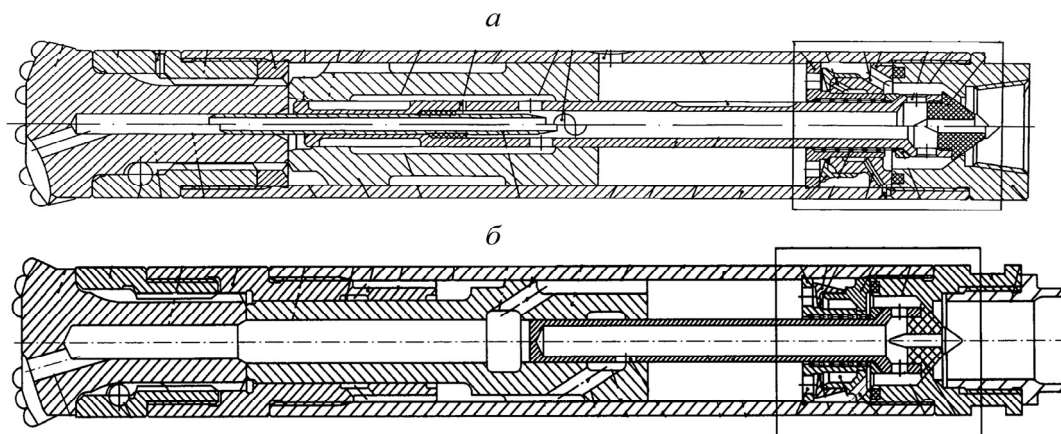


Рис. 1. Погружные пневмоударники ПП110ЭН (а) и ПП110НК (б)

При создании этих пневмоударников с целью увеличения производительности бурения за счет повышения эффективности преобразования энергии удара в работу по разрушению породы обоснованы новые конструкции бойков, свободные поверхности которых выполнены криволинейными. Ранее в [6] установлено, что при разрушении породы наилучшие результаты

дает боек, формирующий импульс, в котором амплитуда нарастает по линейному закону или интенсивностью, повышающейся во времени. Этим обусловлена необходимость согласования формы ударного импульса с зависимостью усилия внедрения долота в забой от глубины внедрения, которая для большинства пород средней и высокой крепости имеет линейный характер [14]. Боек, удовлетворяющий данному условию, должен быть переменного поперечного сечения. Его площадь увеличивается от ударного торца к заднему, а поверхность, не контактирующая с корпусом или другими деталями при его движении, образована кривой, вогнутой в сторону продольной оси ударника.

Разработанные в соответствии с этим положением новые бойки представлены на рис. 2. В бойке пневмоударника ПП110ЭН в качестве образующей двух наружных поверхностей, не контактирующих с корпусом, применена цепная линия (рис. 3а), а у бойка пневмоударника ПП110НК образующей одной из наружной и внутренней поверхностей является гипербола (рис. 3б).



Рис. 2. Бойки погружных пневмоударников ПП110ЭН (а), ПП110НК (б)

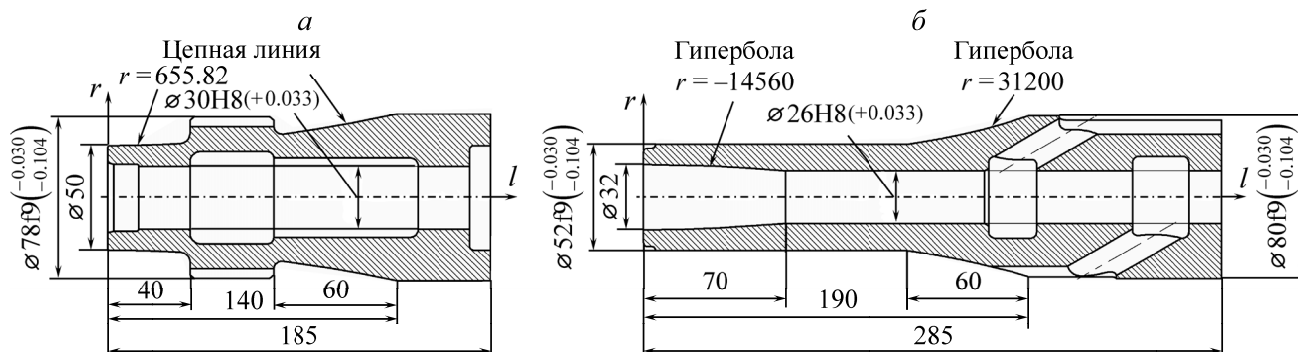


Рис. 3. Конструкции бойков ПП110ЭН (а), ПП110НК (б)

У пневмоударника ПП110ЭН расчетная предударная скорость бойка 8 м/с, масса 4 кг, длина бойка 185 мм, приведенный диаметр ударного торца инструмента $d_0 = 49$ мм. В пневмоударнике ПП110НК расчетная предударная скорость бойка 8 м/с, масса 5.6 кг, длина 285 мм, приведенный диаметр ударного торца инструмента $d_0 = 37$ мм.

С использованием программного обеспечения “Ударный импульс v2.1”, разработанного в Сибирском государственном индустриальном университете, определены формы и характеристики ударных импульсов, генерируемых старыми и новыми бойками пневмоударников (рис. 4).

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что новые бойки пневмоударников генерируют ударные импульсы с нарастающим усилием, тем самым уменьшая энергию отраженной волны. Изменение формы бойков обеспечивает увеличение коэффициента усиления импульса $F_{\max} / F_0$ на 10–30 % и рост максимального значения импульса без изменения массы и предударной скорости бойка.

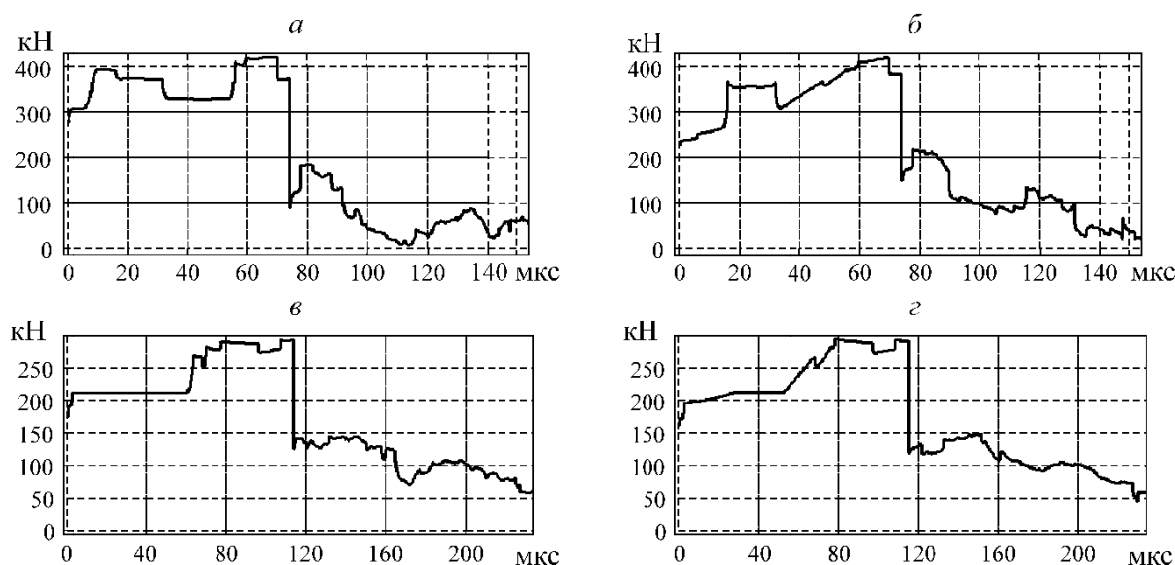


Рис. 4. Ударные импульсы от бойков ПП110ЭН: *а* — старого; *б* — нового (количество расчетных шагов 1000) и от бойков ПП110HK6: *в* — старого; *г* — нового (количество расчетных шагов 1500)

Для подтверждения расчетных результатов проведен физический эксперимент, главной задачей которого была фиксация и сравнение упругих волн деформаций, генерируемых при ударе старым и новым бойками ПП110ЭН. Для испытаний разработаны опытные образцы бойков (рис. 5*а*), в которых в отличие от реальных торцы выполнены глухими с толщиной стенки 1.76 мм. Это сделано для нанесения удара по штанге-волноводу с поперечным сечением в форме шестигранника с целью упрощения эксперимента при сохранении его информативности.

За основу экспериментального стенда принят копер ударный вертикальный (рис. 5*б*), конструкция которого дает возможность наносить удар с предупредной скоростью до 6 м/с. Стенд позволяет осуществлять ударное воздействие на буровой инструмент без поворота его вокруг собственной оси. В качестве инструмента использована коронка перфораторная КЦС 41-25. Буровая штанга изготовлена из шестигранного проката ШБП Т-25-800. При падении боек наносил удар по штанге, на конце которой закреплен с помощью конусного соединения инструмент, опирающийся на блок горной породы (в качестве последней использовался гранит с размерами 40 × 36 × 15 см).

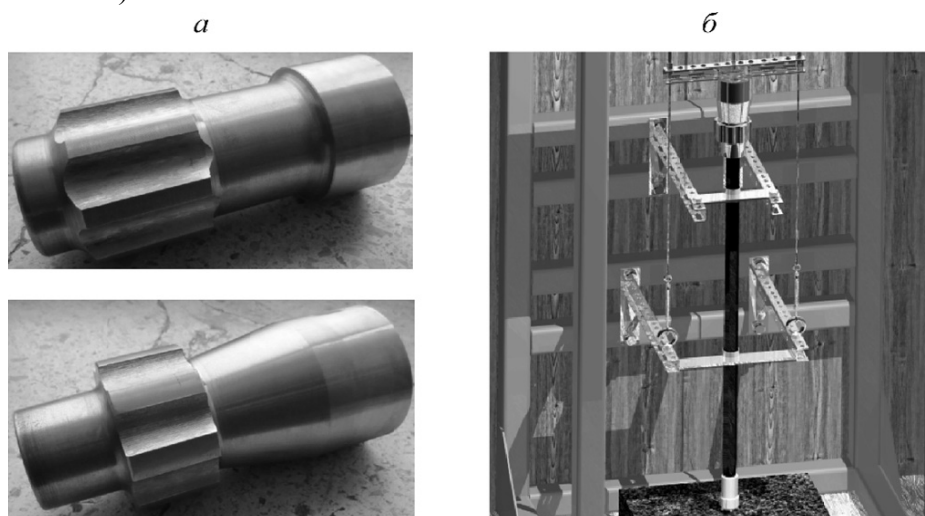


Рис. 5. Опытные образцы бойков пневмоударника ПП110ЭН (*а*) и экспериментальный стенд (*б*)

Для регистрации ударных импульсов применялись тензодатчики типа КФ5П1-10-400 с сопротивлением $R = 400$ Ом и длиной базы датчика 10 мм. Датчики наклеивались на штангу клеем ВС-350 и подключались по схеме, приведенной на рис. 6.

В качестве измерительного прибора (ИП) применялся цифро-аналоговый преобразователь ZET 230 с частотой 50 кГц. Питание подавалось через аккумулятор “Агат”. Осциллограммы волн деформаций фиксировались с помощью специализированного программного обеспечения ZetLAB, модуль “Многоканальный осциллограф”. Масштаб получаемых осциллограмм определялся с помощью тарировочного прямоугольного импульса, генерируемого в штанге цилиндрическим бойком равного с ней сечения.

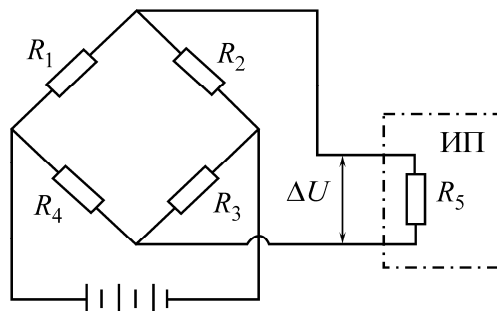


Рис. 6. Схема подключения датчиков

Экспериментальное исследование бойков ПП110ЭН выполнялось при условиях:

- высота сброса $h = 1.6$ м, предударная скорость $V_0 = 5.6$ м/с, количество ударов при расположении коронки в одной лунке — 5;
- после нанесения единичного удара фиксировалась волна упругой деформации и проводилась очистка лунки выкола под буровой коронкой от шлама;
- после нанесения пяти ударов осуществлялся замер объема разрушенной породы и трещинообразования методом заполнения лунки водой;
- общее количество ударов, нанесенных каждым бойком, — 15.

На рис. 7 представлены экспериментальные осциллограммы ударных импульсов от старого (а) и нового (б) бойков с наложенными на них расчетными, полученными также при скорости бойка в момент удара 5.6 м/с (штриховая линия).

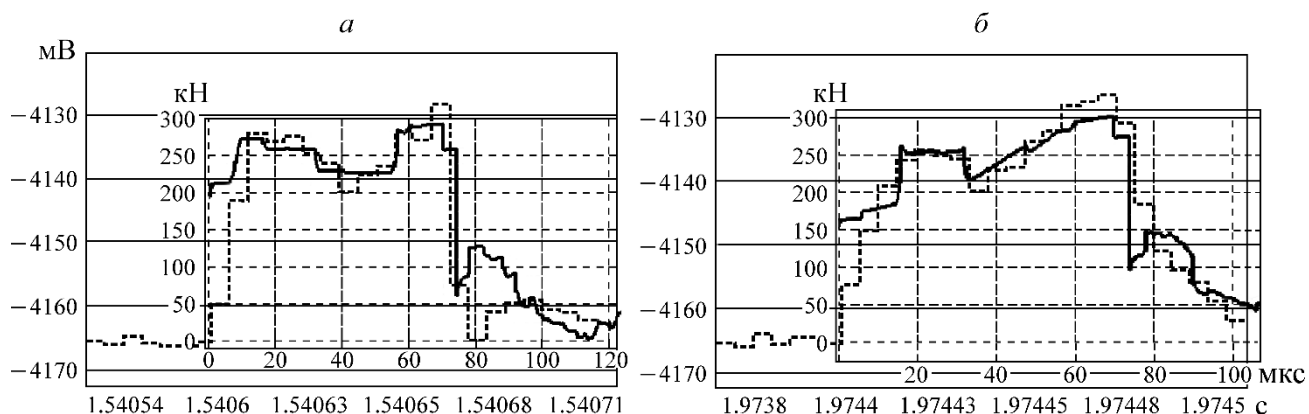


Рис. 7. Экспериментальные ударные импульсы бойков

Результаты статистической обработки данных свидетельствуют о том, что теоретические и экспериментальные исследования имеют удовлетворительную сходимость. Погрешность результатов 7.3 ± 2.1 %.

Оценка объема разрушенной породы и максимальной глубины внедрения инструмента показала, что в среднем при ударе старым бойком объем работы составляет 2 см^3 , глубина — 6 мм, при ударе новым бойком объем — 2.3 см^3 , глубина — 7.5 мм.

ВЫВОДЫ

Для увеличения производительности бурения за счет повышения эффективности преобразования энергии удара в работу по разрушению породы обоснованы новые конструкции бойков погружных пневмоударников, свободные поверхности которых выполнены криволинейными.

Расчетным путем и экспериментально установлено, что применение для бойка пневмоударника ПП110ЭН в качестве образующей наружных поверхностей, не контактирующих с корпусом, цепной линии, а для бойка пневмоударника ПП110НК — гиперболы обеспечивает увеличение объема разрушенной за один удар горной породы не менее чем на 15 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов О. Д., Дворников Л. Т. Бурильные машины. — М.: Машиностроение, 1976. — 295 с.
2. Бегагоен И. А., Дядюра А. Г., Бажал А. И. Бурильные машины. Расчет, конструкции, долговечность. — М.: Недра, 1972. — 368 с.
3. Иванов К. И., Латышев В. А., Андреев В. Д. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1987. — 272 с.
4. Александрова Е. В., Соколинский В. Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. — М.: Наука, 1969. — 201 с.
5. Открытие № 13 СССР. Закономерность передачи энергии при ударе / Е. В. Александров. — Приоритет от 30.10.1957 // Оpubл. в БИ. — 1964. — № 7.
6. Дворников Л. Т., Жуков И. А. Рациональное проектирование ударных систем технологического назначения // Вестн. СибГИУ. — 2012. — № 2. — С. 15–20.
7. Жуков И. А. Исходные основания к изучению влияния форм бойков на форму ударного импульса в машинах ударного действия // Вестн. КГТУ. — 2014. — № 5. — С. 25–27.
8. Жуков И. А. Продольные колебания стержней применительно к ударным системам технологического назначения // Машиностроение и инж. образование. — 2016. — № 1. — С. 40–49.
9. Суднишников Б. В., Есин Н. Н., Тупицын К. К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. — Новосибирск: Наука, 1985. — 135 с.
10. Смоляницкий Б. Н., Репин А. А., Данилов Б. Б. и др. Повышение эффективности и долговечности импульсных машин для сооружения протяженных скважин в породных массивах / отв. ред. Б. Ф. Симонов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. — 204 с.
11. Репин А. А., Смоляницкий Б. Н., Алексеев С. А., Тимонин В. В., Карпов В. Н., Попелюх А. И. Опыт создания в ИГД СО РАН погружных пневмоударников высокого давления для открытых горных работ // ФТПРПИ. — 2014. — № 5. — С. 157–168.
12. Пат. 85185 РФ, МПК E21B 4/14. Погружной пневмоударник / А. А. Липин, А. В. Белоусов, В. В. Тимонин // Оpubл. в БИ. — 2009. — № 21. — 6 с.
13. Тимонин В. В. Погружные пневмоударники для подземных условий отработки месторождений // Горное оборудование и электромеханика. — 2015. — № 2 (111). — С. 13–17.
14. Алимов О. Д., Манжосов В. К., Еремьянц В. Э. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах. — М.: Наука, 1985. — 360 с.

Поступила в редакцию 1/II 2018