

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРШНЯ-УДАРНИКА С БОЙКОМ И РЕГУЛИРУЕМОЙ ЗАДВИЖКИ В ПОГРУЖНОМ ПНЕВМОУДАРНИКЕ

*Юнгмейстер Д.А.<sup>1</sup>, Гасымов Э.Э.<sup>1</sup>, Борисов С.В.<sup>2</sup>, Тимофеев М.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II;*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** карьерный буровой станок, погружной пневмоударник, шарошечное долото, удар, разрушение горной породы, скорость бурения, скважина, породоразрушающий инструмент.

**Аннотация.** В Российской Федерации одним из наиболее популярных отечественных буровых станков для бурения взрывных скважин является СБШ-250МНА-32. Однако использование данного станка не всегда эффективно из-за низкой скорости бурения твёрдых пород, а также сложно-структурированных пород, состоящих из поочерёдно меняющихся твёрдых и мягких слоёв, породы с подобной сложной структурой встречаются на карьерах компании АО «Апатит». По этой причине задача увеличения скорости бурения с использованием данных станков является весьма актуальной. Для решения данной задачи предлагается улучшить эффективность вращательного бурения посредством использования погружного пневмоударника (ППУ), который будет устанавливаться в буровой став СБШ-250МНА-32, а параметры ППУ могут быть изменены посредством различной степени открытия задвижки перед ППУ. Также в пневмоударнике производится изменение ударной системы путем введения промежуточного элемента (бойка) между поршнем-ударником и буровым инструментом. Использование указанной технологии бурения позволяет увеличить скорость бурения СБШ с ППУ не менее чем на 25% и снизить себестоимость бурения.

## STUDY OF THE EFFICIENCY OF ROCK DRILLING USING A STRIKER AND AN ADJUSTABLE VALVE IN A DOWN-THE-HOLE HAMMER

*Yungmeister D.A.<sup>1</sup>, Gasimov E.E.<sup>1</sup>, Borisov S.V.<sup>2</sup>, Timofeev M.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II;*

<sup>2</sup>*Prof. M.A. Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
Saint-Petersburg*

**Keywords:** quarry drilling rig, submersible pneumatic hammer, roller chisel, impact, rock destruction, drilling speed, borehole, rock-breaking tool.

**Abstract.** In the Russian Federation one of the most popular domestic drilling machines for blast hole drilling is SBSH-250MNA-32. The task of increasing the drilling speed with the use of such machines is very actual. Slowdown of drilling process often occurs when working with rocks having complex structure with alternating hard and soft layers. An example of such rocks can be the rocks used in the quarries of JSC Apatit. The authors of the study propose to improve the efficiency of rotary drilling at mining enterprises, where drilling machines are used, by introducing a submersible pneumatic hammer unit (SPH) in the drilling rig of the roller cone drilling machine, SBSH-250MNA-32. Also, in the pneumatic percussion system is changed by introducing an intermediate element (striker) between the percussion piston and the drilling tool. The addition of the K coefficient, which varies from 1 to 1.5, during the drilling of rock formations using a down-the-hole hammer (DTH), reflects an increase in drilling efficiency due to optimized energy transfer from the impact. The increase in drilling speed by 2.5 times represents a significant advantage, especially in conditions involving complex geological structures.

## 1. Введение

Выбор подходящего шарошечного долота может существенно повлиять на скорость бурения. Увеличение скорости бурения может быть достигнуто адаптацией работы бурового станка для различных геологических условий. Для разных геологических условий существует определённый набор долот: долота имеют различную твёрдость и прочность, а также различную форму твёрдосплавных элементов, выбор этих параметров зависит от свойств горных пород, таких как прочность, абразивность. Корректный выбор расхода и давления воздуха в пневмоударной системе является важным фактором для повышения эффективности бурения.

Повышение эффективности может быть достигнуто регулировкой параметров бурения. Параметры бурения зависят от конкретных условий бурения и геологических особенностей массива, а также скорости вращения, осевой нагрузки на долото и пр. параметров станка [1-3].

В статье представлено техническое решение [4], которое позволяет осуществлять регулирование ударной мощности за счет изменения потока воздуха регулируемой заслонкой данную систему предлагается использовать в буровой технике, основанной на ударно-вращательном способе (рис. 1).

Данная система предназначена для использования при бурении взрывных скважин или геологоразведки, где требуется разрушение твердых пород. Система включает в себя буровой станок и шарошечный породоразрушающий инструмент. Буровой станок состоит из ходовой части с кабиной оператора и мачтой с вращателем. Внутри нижней части бурового става размещается пневмоударник. Внизу муфты бурового става находится подвижная заслонка, выполненная в виде двух пластин с отверстиями, соединенных ободом. Подвижная заслонка может радиально перемещаться для регулирования потока воздуха. В середине подвижной заслонки 3 установлен вертикальный вал с парами направляющих упоров, а через него проходит червячный механизм.

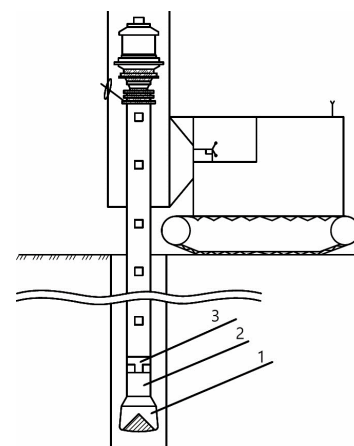


Рис. 1. Модернизированный буровой станок с заслонкой:  
1 – шарошечное долото,  
2 – ППУ, 3 – подвижная заслонка

Пневмоударник 2, размещенный в нижней части бурового става, использует воздух, подаваемый по трубе бурового става, а затем направляет использованный воздух в инструмент 1. Позиция заслонки определяет ударную мощность системы, поскольку регулирование потока воздуха позволяет контролировать энергию, передаваемую на породу. Через подвижную заслонку проходит вертикальный вал, связанный с червячным механизмом и приводом. Этот механизм обеспечивает движение заслонки и позволяет оператору системы управлять потоком воздуха, регулируя ударную мощность в зависимости от требуемых условий. Дополнительно, система включает блок управления заслонкой, который расположен над приводом червячного механизма на внутренней стенке муфты бурового ствола. Блок управления связывается с заслонкой кабелем и включает передатчики, приемники, аккумуляторы и переключатели, которые обеспечивают беспроводное управление заслонкой из кабины оператора [4].

Подводя итог предложенного технического решения (рис. 2), авторы обосновывают систему, позволяющую оператору бурового станка контролировать воздушный поток и регулировать ударную мощность для эффективного разрушения твердых пород.

Благодаря возможности изменять поток воздуха при помощи подвижной заслонки, система обеспечивает гибкость и адаптивность в различных условиях работы [5].

Устройство на рисунке 2, соответствующее патенту № 2720041 [5], позволяет разрушать горные породы с использованием ударных импульсов сложной формы, которая регулируется в зависимости от параметров ударной системы «поршень-боек-инструмент». Определённой особенностью такого ударного механизма, является наличие подпружиненного бойка, размещённого между поршнем и породоразрушающим инструментом, где верхний конец пружин находится в пазах поршня, а нижний конец связан с бойком. Эта конструкция

способствует улучшению скорости бурения, долговечности породоразрушающего инструмента и обеспечивает более безопасные рабочие условия. В зависимости от величин массы бойка, массы и хода поршня, характеристик пружин, давления воздуха перед шарошкой и прочих параметров ППУ, можно формировать различные ударные импульсы. Это позволяет оптимизировать форму импульса для конкретного типа горной породы и породоразрушающего инструмента, что способствует повышению долговечности инструмента и увеличению эффективности бурения [4, 5].

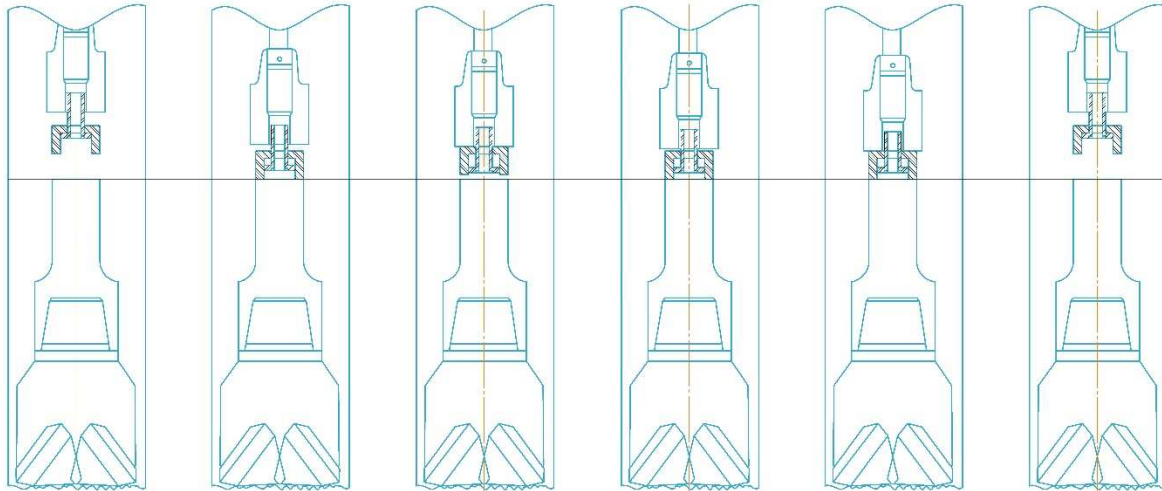


Рис. 2. Удар бойка с погружным пневмоударником и шарошечным долотом

## 2. Экспериментальное исследование удара с бойком

В ходе экспериментальных исследований производились серии ударов двумя типами ударников (рис. 3). При испытании ударника с бойком варьировались высота подъема и величина зазора между ударником и бойком. Разработан стенд и система фиксации ударного импульса, для установления эффективности использования ударной трехмассовой системы «поршень-боек-инструмент», для этого исследовались два цилиндра: а) цельный цилиндр; б) цилиндр с бойком, при этом масса цельного цилиндра и цилиндра с бойком одинаковые [6, 7].

Сигнал от датчика через схему компенсации электрических наводок поступает на аналоговый вход AI Channel 2 устройства DAQ Signal Accessory (рис. 4) и далее на плату NI, установленную в шасси Q1604. Далее сигнал датчика поступает в измерительный канал, конфигурируемый в среде NI Signal Express, где в цифровом виде записывается в файл с расширением \*.tdms. Формирование графической зависимости удара и ее анализ осуществляется в среде NI Diadem (рис. 5). Остальные импульсы последовательному анализу не подвергаются, поскольку представляют собой суммарную реакцию опоры и ударника [8, 9].

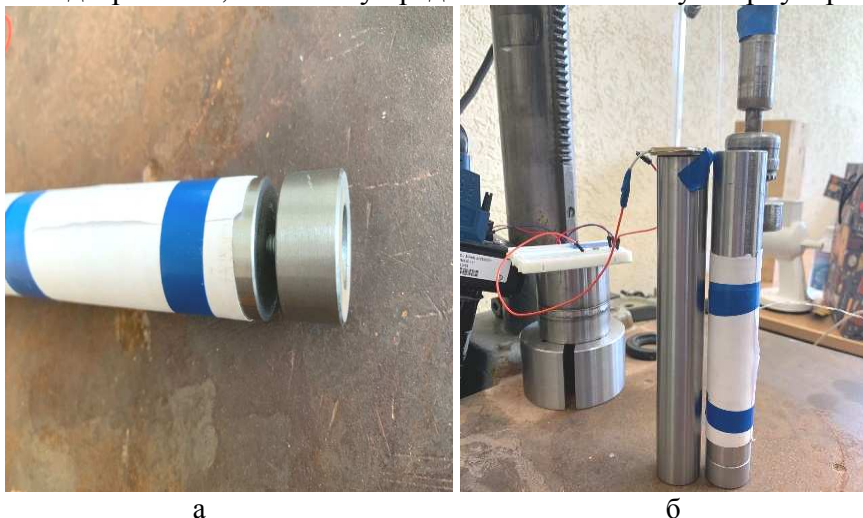


Рис. 3. Стенд системы фиксации ударного импульса: а) цилиндр с бойком; б) цельный цилиндр



Рис. 4. Процессор и датчик DAQ Signal Accessory от фирмы National Instruments (NI)

При реализации метода в качестве контролируемых параметров, характеризующих удар, выбраны амплитуда импульса (первый импульс в последовательности), его длительность и площадь, а для ударника с бойком, кроме перечисленных, преамплитуда (рис. 5), длительность по уровню 0,5 и площадь импульса [10, 11]. Рассматривается первый импульс в последовательности, к его параметрам относятся следующие:  $\Delta\tau_1$  – длительность фронта,  $A_1$  – амплитуда,  $\Delta\tau_2$  – длительность импульса по уровню 0,5 (рис. 5) [12, 13].

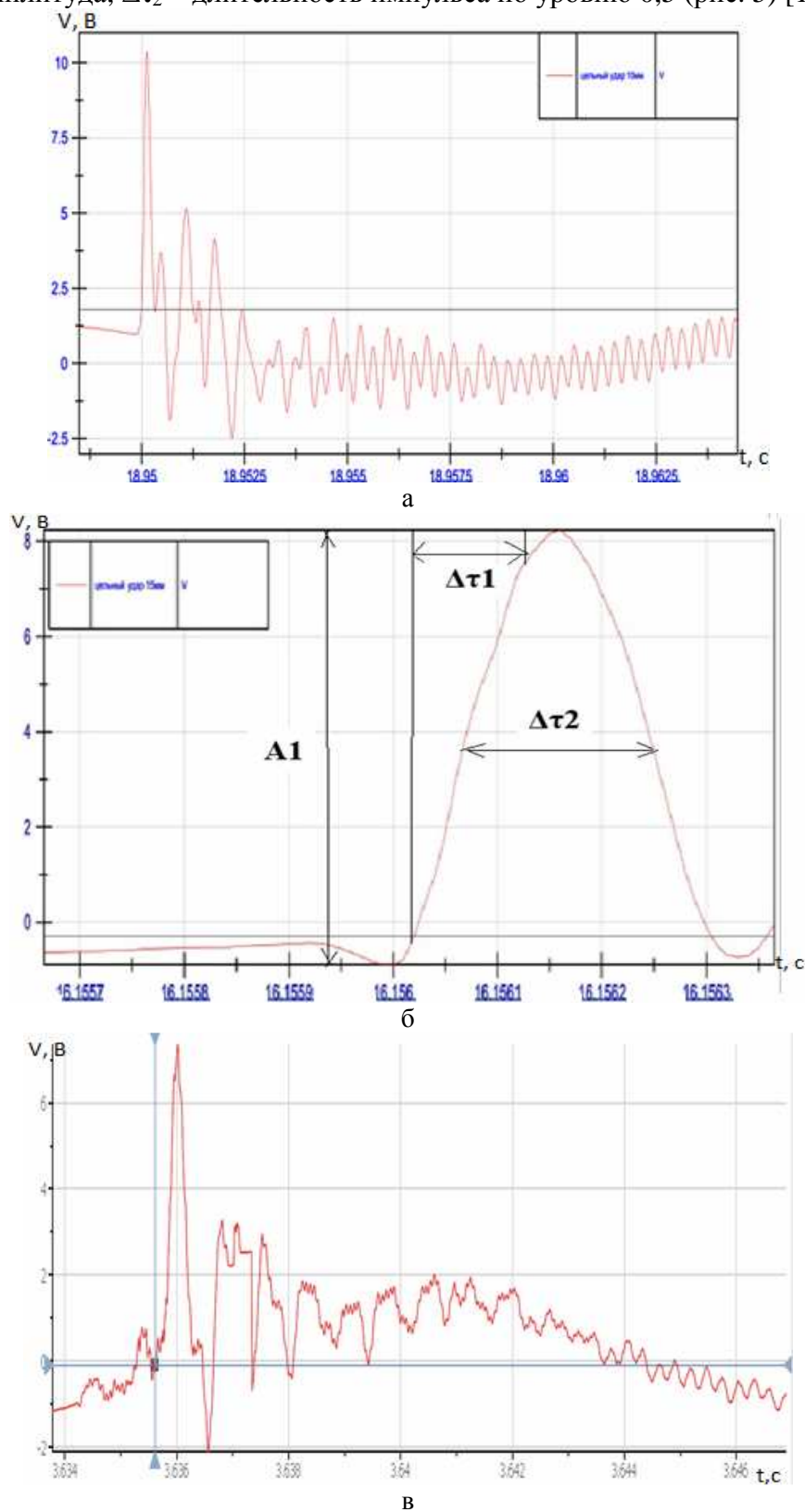


Рис. 5. Анализ ударов в программе Diadem: а) удар цельным цилиндром, б) увеличенный график удара цельным цилиндром, в) удар с бойком

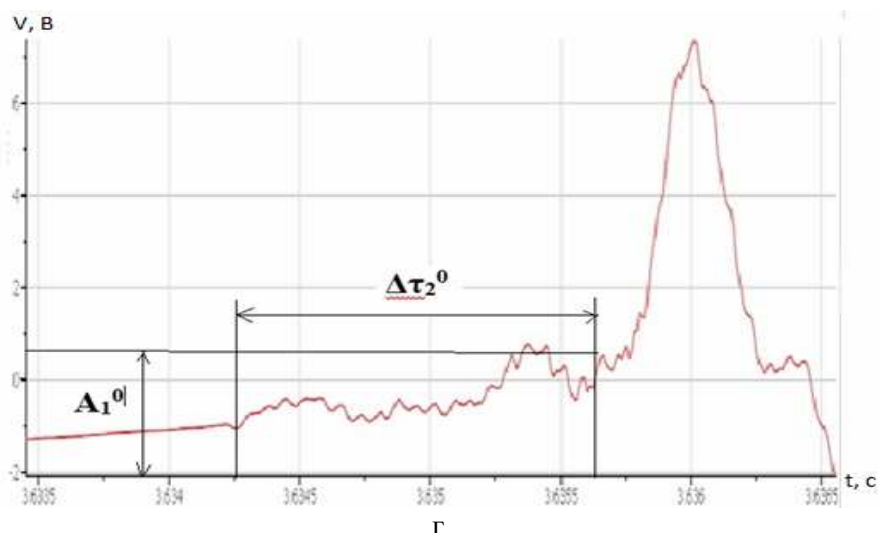


Рис. 5. Анализ ударов в программе Diadem: г) увеличенный график удара с бойком

В качестве оценки суммарного количества энергии удара принималась величина, пропорциональная площади ударного импульса  $S_1$ , как произведения амплитуды импульса  $A_1$  на его длительность на уровне 0,5 ( $\Delta\tau_2$ ). Т.е. имеем  $S_1 = \Delta\tau_2 \cdot A_1$ .

Также рассматривается предимпульс, под которым понимается на графике импульс реакции бойка малой амплитуды, предшествующий во времени первому импульсу в последовательности. К анализируемым параметрам предимпульса относятся:  $\Delta\tau_2^0$  – длительность предимпульса по уровню 0,5,  $A_1^0$  – амплитуда.

Остальные импульсы последовательности анализу не подвергаются, поскольку представляют собой суммарную реакцию опоры и ударника (табл. 1-3). В таблицах представлены усредненные результаты измерений в сериях испытаний.

Табл. 1. Параметры удара с бойком, зазор 3 мм

Удар с бойком, 3 мм	$\Delta\tau_1$ , мс	$\Delta\tau_2$ , мс	$A_1$ , В	$S_1$ , В·мс	$\Delta\tau_2^0$ , мс	$A_1^0$ , В	$S_2$ , В·мс
	0,52	0,52	4,30	2,25	1,02	0,1	0,10

Табл. 2. Параметры удара с бойком, зазор 7 мм

Удар с бойком, 7 мм	$\Delta\tau_1$ , мс	$\Delta\tau_2$ , мс	$A_1$ , В	$S_1$ , В·мс	$\Delta\tau_2^0$ , мс	$A_1^0$ , В	$S_2$ , В·мс
	0,35	0,35	8,31	2,92	0,83	0,38	0,27

Табл. 3. Параметры цельного ударника

Удар цельным ударником	$\Delta\tau_1$ , мс	$\Delta\tau_2$ , мс	$A_1$ , В	$S_1$ , В·мс
	0,22	0,22	9,35	2,06

### 3. Результаты эксперимента

#### Стеновые исследования ударного воздействия

При изучении графиков можно заключить, что удар с бойком является эффективным, по причине увеличения ударной мощности не менее чем на 30% (табл. 2 и 3, параметр  $S$ ). Этот подход способствует увеличению работоспособности шарошечного долота при использовании ППУ. Анализируя данные графиков, необходимо учесть несколько факторов, включая свойства горной породы, глубину бурения, геометрию шарошек и другие параметры [14-16]. Также для определения оптимальной стратегии выбора ударной системы и параметров ее работы необходимо провести комплексный анализ, учитывающий условия удара.

Таким образом, на основании исследования графиков можно сделать вывод, что удар с бойком, с последующим нарастанием ударной силы, может способствовать повышению эффективности работы шарошечного долота при использовании ППУ [17]. При этом, амплитуда импульса цельного ударника выше на 11% (соответственно 8,3 В и 9,31 В, см. табл. 2 и 3), чем ударника с бойком, а длительность импульса цельного ударника на уровне

0,5 меньше на 37% (соответственно 0,22 мс и 0,35 мс, см. табл. 2 и 3) в сравнении с шириной импульса от ударника с бойком.

В диаграмме удара цельного ударника отсутствует предимпульс, что является естественным из физических соображений [18].

При уменьшении ширины зазора с 7 мм до 3 мм амплитуда первого ударного импульса уменьшается (соответственно 8,31 В и 4,3 В, см. табл. 1 и 2), длительность первого ударного импульса по уровню 0,5 возрастает (соответственно 0,35 мс и 0,52 мс, см. табл. 1 и 2), длительность фронта также возрастает (соответственно 0,35 мс и 0,52 мс, см. табл. 1 и 2).

Также нужно учитывать, что при уменьшении ширины зазора с 7 мм до 3 мм амплитуда предимпульса уменьшается, а его ширина возрастает (соответственно с 0,38 В и до 0,1 В и с 0,83 мс до 1,02 мс, см. табл. 1 и 2).

При этом площадь ударного импульса цельного ударника, пропорциональная энергии удара, составляет меньшую величину, чем в случае применения ударника с дополнительным бойком (соответственно только  $S_1$  и  $S_1 + S_2$ , для зазора 3 мм соответственно 2,03 В·мс и 2,35 В·мс, см. табл. 3 и 1, и для зазора 7 мм соответственно 2,06 В·мс и 3,19 В·мс, см. табл. 3 и 2) [19].

Таким образом, мощность первого ударного импульса при использовании дополнительного бойка как бы «растягивается» во времени, при увеличении суммарной во времени энергии воздействия на породу и снижении амплитуды ударной нагрузки, облегчая тем самым режим работы шарошек механизма долота [20, 21].

Использованием ППУ по схеме, согласно патенту №2720041 дает возможность утверждать, что ударный импульс может быть увеличен: «растянут» во времени, что положительно скажется на долговечности шарошки, но это требует экспериментального доказательства.

Разработанное устройство повышает эффективность бурения и, скорее всего, в незначительной степени будет влиять на стойкость долота, а также обеспечивает безопасность работ и ускоряет процесс разрушения.

Расчеты позволяют утверждать, что использование специального импульса при бурении, состоящего из последовательности коротких импульсов с крутым передним фронтом и резким обрывом на заднем фронте, позволяет эффективно управлять процессом бурения [22].

#### 4. Определения скорости бурения в СБШ с помощью ППУ

Важнейшими показателями эффективности бурения являются стойкость долота и скорость бурения. В разделах 2-3 показано, что использование трёхмассовой системы «поршень-боёк-инструмент» позволяет за счёт реализации ударного импульса специальной формы снизить «вредное» влияние удара по шарошке, однако, процесс реализации дребезга в трёхмассовой ударной системе возможен только в случае пониженного давления в зоне взаимодействия бойка и хвостовика.

Как показали ранее выполненные исследования по определению скорости бурения станком СБШ с ППУ, прирост скорости в сравнении с бурением стандартным станком находится в интервале 15-25% [1, 18, 19], по данным Secogoc указанный прирост может составлять до 50% при использовании специальных шарошек.

Определение средней скорости бурения при выполнении допущения о возможности использования принципа адаптивности расчётных величин скорости бурения обычным станком СБШ и скорости бурения погружным пневмоударником производится по формулам:

$$v_{cp} = v_0 + v_{ппу}, \quad (1)$$

$$v_0 = 14400 \frac{P_k \cdot n}{P_{кон} \cdot D}, \quad (2)$$

где  $P_k$  – осевое усилие на долото при бурении,  $P_{кон} = 44\sqrt{f^3}$ , МН;  $n$  – частота вращения штанги,  $c^{-1}$ ;  $P_{кон}$  – контактная прочность буримых пород, МПа;  $D$  – диаметр инструмента, мм;  $f$  – коэффициент крепости горной породы по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова.

$$\text{Тогда } v_0 = 14400 \frac{P_k \cdot n}{44 \sqrt{f^3 \cdot D}}. \quad (3)$$

Можно утверждать, что скорость бурения погружным пневмоударником, также как и формула (2), определяется по методикам Иванова К.И. [20]:

$$v_{ny} = \frac{80 \cdot A_{y\delta} \cdot n_y}{f \cdot d^2}, \quad (4)$$

где  $A_{y\delta}$  – энергия единичного удара,  $A_{y\delta} = (150–300)$  Дж (для примера расчёта принимается погружной пневмоударник П-110);  $n_y$  – частота ударов,  $n_y = 22 \text{ с}^{-1}$ ;  $d$  – диаметр скважины, мм;

Бурение станками СБШ с ППУ кроме чисто ударного воздействия на забой, повышающего скорость бурения с учётом формулы (4), может давать повышенную скорость бурения (до 50%) за счёт: более плотного прилегания шарошки к забою, очищения породоразрушающих элементов от штыба, возможного повышения трещиноватости забоя, улучшения отвода штыба из призабойной зоны, улучшения условий продувки и других условий работы шарошки при нанесении по ней ударов. В этом случае можно утверждать, что простое суммирование (2) и (4) будет давать заниженные результаты расчёта скорости бурения, поэтому для выхода на экспериментальные показатели скорости бурения возможно использование двух вариантов коэффициентов повышения скорости бурения:  $k_1$  – коэффициент прироста скорости бурения погружным пневмоударником,  $k_2$  – коэффициент прироста суммарной скорости бурения.

В этом случае расчетные зависимости скорости бурения с учётом коэффициента  $k_1$  или коэффициента  $k_2$  имеют вид:

$$v_{общая} = v_{0СБШ} + k_1 \cdot v_{ny}, \quad (5)$$

$$v_{общая} = (v_{0СБШ} + v_{ny})k_2. \quad (6)$$

На графике (рис. 6) представлены зависимости скорости бурения стандартным станком СБШ (нижний график), а также зависимости скорости бурения, рассчитанные с учётом различных подходов учёта эффективности бурения СБШ с ППУ.

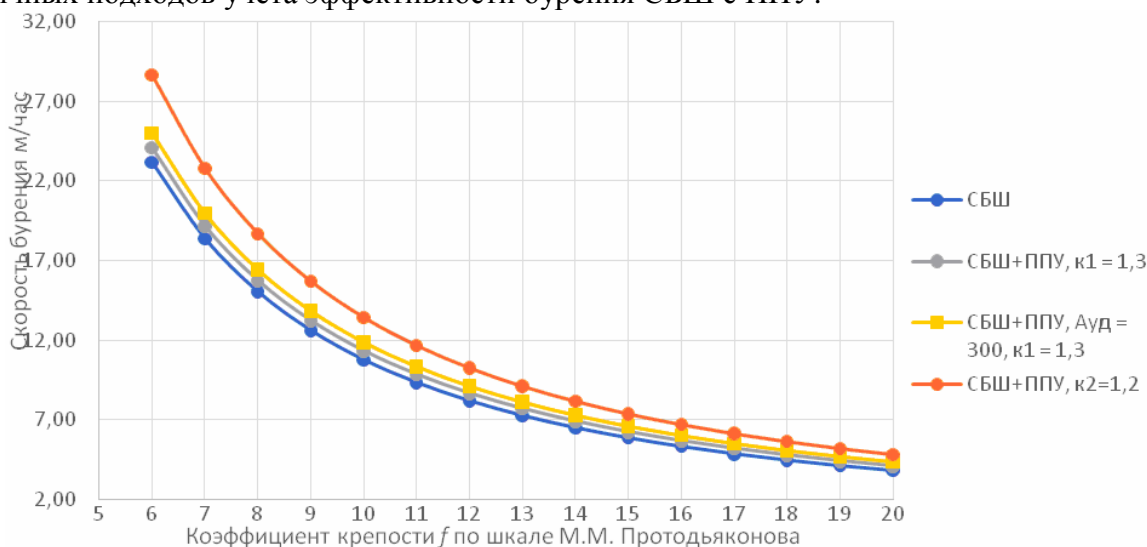


Рис. 6. График зависимости скорости бурения от коэффициента крепости  $f$  по шкале М.М. Протождьяконова

Из графиков на рисунке 6 видно, что использование формулы (5), в которой  $A_{y\delta} = 150$  Дж, а коэффициент  $k_1$  равен 1,3, даёт незначительный прирост скорости бурения, около 5%, что не соответствует экспериментальным данным, а графики, построенные по формулам (1) и (5) фактически сливаются. При увеличении энергии до предельного значения 300 Дж происходит увеличение скорости бурения до величины 10%. Это даёт основание считать, что необходимо пользоваться формулой (6), так, для коэффициента  $k_2$ , равного 1,2 и энергии удара 150 Дж, прирост скорости бурения составит около 25%.

Величина потока воздуха в ППУ, управляемая заслонкой, влияет на эффективность бурения. Это улучшает условия работы шарошки и интенсифицирует разрушение забоя. Новая конструкция радиоуправляемой заслонки с ППУ обеспечивает широкий диапазон регулирования частоты удара по шарошке. Использование поршней ударников различной конструкции и, соответственно, массы позволяет создать универсальный ППУ с большим диапазоном параметров удара [23, 24].

#### **4. Обсуждение исследования**

Добавление коэффициентов  $k$ , которые варьируются от 1 до 1,3, при расчёте скорости бурения горных пород с помощью ППУ, а также использование трёхмассовых ударных систем, отражает увеличение эффективности бурения, благодаря оптимизированной передаче ударной энергии. Увеличение скорости бурения в среднем на 25% является значительным преимуществом, особенно в условиях сложно-структурированных пород, как, например, в случае со вскрышными породами, разрабатываемыми АО «Апатит». Такие улучшения не только повысят эффективность работы, но и могут сократить общие затраты на бурение за счет уменьшения времени, необходимого для прохождения сложных участков. Это также может повлиять на снижение износа бурового оборудования, так как более эффективная передача ударной энергии не превысит стандартную нагрузку на буровой инструмент.

#### **5. Выводы**

В заключение представленного исследования по оптимизации бурильных процессов с использованием пневмударников с бойками и задвижками можно сделать следующие выводы.

1. Увеличение скорости бурения остается важной задачей в горнодобывающей промышленности, и исследования, проведенные в данной работе, предоставляют ценную информацию для решения этой проблемы.

2. Форма импульса силы, передаваемого пневмударником, оказывает значительное влияние на эффективность бурения.

3. Экспериментальные исследования удара с бойком позволяют установить, что трехмассовая система «поршень-боек-инструмент» способствует повышению эффективности работы шарошечного долота при использовании пневмударника.

4. Оператор бурового станка может изменять воздушный поток и тем самым регулировать силу удара для эффективного разрушения твердых пород с использованием регулируемой задвижки. Благодаря возможности управлять потоком воздуха при помощи подвижной заслонки, система обеспечивает адаптивность и гибкость в разнообразных условиях работы.

5. Расчет скорости бурения с использованием пневмударника и бойка требует дополнительных экспериментов для подтверждения полученных результатов.

Подобные исследования по оптимизации бурения могут привести к повышению эффективности разрушения горных пород, снижению износа оборудования и, как следствие, увеличению производительности и экономической эффективности буровзрывных работ.

Данная работа предоставляет основу для дальнейших исследований и ресурсных испытаний модернизированных станков с целью оптимизации бурильных процессов и повышения эффективности бурения.

#### **Список литературы**

1. Лукашов К.А. Обоснование рациональных режимов работы станка шарошечного бурения с наддолотным ударником для условий ОАО «Апатит»; дисс. ... канд. техн. наук. – СПб.: СПГИ (ТУ), 2004. – 131 с.
2. Юнгмейстер Д.А., Горшков Л.К., Пивнев В.А. Судьенков Ю.В. Модернизация ударных буровых механизмов. – СПб.: Политехника-сервис, 2012. – 149 с.
3. Заляев М.Ф. Исследование вибрации при бурении скважин на термокарстовом газоконденсатном месторождении // Нефтегазовое дело. – 2015. – Т. 13, № 4. – С. 36-40.
4. Патент №2770472 РФ. Система для разрушения горных пород / Д.А. Юнгмейстер, В.А. Шпенст, А.И. Исаев, Э.Э. Гасымов. – Заявка №2021115145 от 27.05.2021; опубл. 18.04.2022, Бюл. №11.
5. Патент №2720041 РФ. Устройство для разрушения горных пород ударными импульсами / Д.А. Юнгмейстер, А.И. Исаев, Р.И. Королев, П.Д. Соболева. – Заявка №2019111583 от 16.04.2019; опубл. 23.04.2020, Бюл. №12.



6. Wu D., Yin K., Gan X., Zhang X., Yin Q. Strength analysis of new kinds of RC drill bit and its experimental study // *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*. 2017, vol. 47, no 1, pp. 197-202. DOI: 10.13278/j.cnki.jjuese.201701206.
7. Vardhan A., Kumar A., Dasgupta K. Effect of various parameters on the performance of the blasthole drilling // *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2017, vol. 65, no 2, pp. 49-54.
8. Sun Y., Shi Y., Wang Q., Yao Z. Study on speed characteristics of hydraulic top drive under fluctuating load // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2018, vol. 167, pp. 277-286. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.04.003.
9. Габов В.В., Задков Д.А., Нгуен Кхак Линь. Особенности формирования элементарных сколов в процессе резания углей и изотропных материалов эталонным резцом горных машин // *Записки Горного института*. – 2019. – Т. 236. – С. 153-161. – DOI: 10.31897/pmi.2019.2.153.
10. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов, 8-е изд. – М.: Изд-во «Майнинг Медиа Групп», 2013. – 593 с.
11. Юнгмейстер Д.А., Исаев А.И., Ячейкин А.И., Соболева П.Д. Экспериментальные исследования погружного пневмоударника бурового станка // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2021. – №3. – С. 28-36. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-28-36.
12. Сабитов А.Э., Исаев А.И., Юнгмейстер Д.А., Уразбахтин Р.Ю. Обоснование компоновки и параметров перфораторов-ударников для исполнительных органов проходческих комбайнов // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2016. – №4. – С. 17-22.
13. Сухов Р.И., Болкисев В.С., Реготунов А.С. Выбор направлений совершенствования отечественной буровой техники для проходки взрывных скважин // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2014. – №5. – С. 46-48.
14. Юнгмейстер Д.А., Исаев А.И., Гасымов Э.Э. Обоснование параметров погружного пневмоударника бурового станка для регулирования скорости бурения потоком воздуха // *Горный журнал*. – 2022. – №7. – С. 72-77. – DOI: 10.17580/gzh.2022.07.12.
15. Болобов В.И., Плащинский В.А. Об оценке энергоемкости при раскалывании фрагментов породы // *Обогащение руд*. – 2023. – №2. – С. 3-8. – DOI: 10.17580/or.2023.02.01.
16. Болобов В.И., Плащинский В.А. Влияние продолжительности удара на эффективность разрушения горных пород и пластического деформирования металлов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2022. – № 3. – С. 78-96. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_3\_0\_78.
17. Юнгмейстер Д.А., Гасымов Э.Э., Исаев А.И. Обоснование конструкции и параметров устройства для регулирования потока воздуха в погружных пневмоударниках станков шарошечного бурения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2022. – №6-2. – С. 251-267. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_251.
18. Теплякова А.В., Азимов А.М., Алиева Л., Жуков И.А. Обзор и анализ технических решений для повышения долговечности и улучшения технологичности элементов ударных узлов бурильных машин // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2022. – №9. – С. 120-132. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_9\_0\_120.
19. Zhukov I.A., Martyushev N.V., Zyukin D.A., Azimov A.M., Karlina A.I. Modification of Hydraulic Hammers Used in Repair of Metallurgical Units // *Metallurgist*. 2023, vol. 66, pp. 1644-1652. DOI: 10.1007/s11015-023-01480-w.
20. Иванов К.И., Латышев В.А., Андреев В.Д. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. – 3-е изд. – М.: Недра, 1987. – 272 с.
21. Хруцкий А.А., Ощепков В.С. Компьютерное моделирование рабочего процесса погружного пневмоударника П-110 // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – № 7. – С. 131-138. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-131-138.
22. Vardhan A., Kumar A., Dasgupta K. Effect of various parameters on the performance of the blasthole drilling // *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2017, vol. 65, no. 2, pp. 49-54.
23. Господариков А.П., Ревин И.Е., Морозов К.В. Композитная модель анализа данных сейсмического мониторинга при ведении горных работ на примере Кукисвумчоррского месторождения АО «Апатит» // *Записки Горного института*. – 2023. – Т. 262. – С. 571-580. – doi.org/10.31897/PMI.2023.9.
24. Чудинова И.В., Николаев Н.И. Разработка состава и исследование свойств бурового раствора для бурения скважин в неустойчивых глинистых породах // *Успехи современного естествознания*. – 2019. – №8. – С. 85-89.

## References

1. Lukashov K.A. Substantiation of rational modes of operation of a roller drilling machine with a super-hammer for the conditions of JSC "Apatit": diss. ... cand. of tech. sc.. – SPb.: SPSMI (TU), 2004. – 131 p.
2. Yungmeister D.A., Gorshkov L.K., Pivnev V.A. Sudienvkov Yu.V. Modernization of impact drilling mechanisms. – SPb.: Polytechnic-service, 2012. – 149 p.
3. Zalyaev M.F. Investigation of vibration when drilling wells at a thermokarst gas condensate field // *Oil and gas business*. 2015, vol. 13, no. 4, pp. 36-40.
4. Patent No. 2770472 RU. System for the destruction of rocks / D.A. Yungmeister, V.A. Shpenst, A.I. Isaev, E.E. Gasimov. – Appl. No. 2021115145 from 27.05.2021; publ. 18.04.2022, Bul. No.11.
5. Patent No. 2720041 RU. Device for destroying rocks by shock pulses / D.A. Yungmeister, A.I. Isaev, R.I. Koroley, P.D. Soboleva. – Appl. No. 2019111583 from 16.04.2019; publ. 23.04.2020, Bul. No. 12.

6. Wu D., Yin K., Gan X., Zhang X., Yin Q. Strength analysis of new kinds of RC drill bit and its experimental study // Journal of Jilin University (Earth Science Edition). 2017, vol. 47, no 1, pp. 197-202. DOI: 10.13278/j.cnki.jjuese.201701206.
7. Vardhan A., Kumar A., Dasgupta K. Effect of various parameters on the performance of the blasthole drilling // Journal of Mines, Metals and Fuels. 2017, vol. 65, no 2, pp. 49-54.
8. Sun Y., Shi Y., Wang Q., Yao Z. Study on speed characteristics of hydraulic top drive under fluctuating load // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2018, vol. 167, pp. 277-286. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.04.003.
9. Gabov V.V., Zadkov D.A., Nguyen Hak Lin. Features of the formation of an elementary gap when cutting coals and isotropic materials with a reference cutting tool of mining machines // Journal of Mining Institute. 2019, vol. 236, pp. 153-161. DOI: 10.31897/pmi.2019.2.153.
10. Poderni R.Yu. Mechanical equipment of quarries: Textbook for universities, 8th ed. – M.: Publ. house "Mining Media Group", 2013. – 593 p.
11. Yungmeister D.A., Isaev A.I., Cellkin A.I., Soboleva P.D. Experimental studies of the submersible pneumatic hammer of the drilling machine // Mining information and Analytical bulletin. 2021, no. 3, pp. 28-36. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-28-36.
12. Sabitov A.E., Isaev A.I., Jungmeister D.A., Urzabakhtin R.Yu. Substantiation of the layout and parameters of perforators for the executive bodies of tunneling combines // Mining equipment and electromechanics. 2016, no. 4, pp. 17-22.
13. Sukhov R.I., Bolkisev V.S., Regotunov A.S. The choice of directions for improving domestic drilling equipment for drilling blast wells // Mining equipment and electromechanics. 2014, no. 5, pp. 46-48.
14. Yungmeister D.A., Isaev A.I., Gasimov E.E. Substantiation of the parameters of a pneumatic DTH perforator for regulating the penetration rate using an air flow // Gornyi Zhurnal. 2022, no. 7, pp. 72-77. DOI: 10.17580/gzh.2022.07.12.
15. Bolobov V.I., Plaschinsky V.A. On the assessment of energy consumption during the splitting of rock fragments // Obogashchenie Rud. 2023, no. 2, pp. 3-8. DOI: 10.17580/or.2023.02.01.
16. Bolobov V.I., Plaschinsky V.A. Impact duration on the effectiveness of rock destruction and plastic deformation of metals // Mining information and analytical bulletin. 2022, no. 3, pp. 78-96. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_3\_0\_78.
17. Yungmeister D.A., Gasymov E.E., Isaev A.I. Substantiation of the design and parameters of the device for regulating air flow in submersible pneumatic hammers of roller drilling machines // Mining information and analytical bulletin. 2022, no. 6-2, 251-267. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_251.
18. Teplyakova A.V., Azimov A.M., Alieva L., Zhukov I.A. Review and analysis of technical solutions for increasing durability and improving the manufacturability of elements of impact units of drilling machines // Mining information and analytical Bulletin. 2022, no. 9, pp. 120-132. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_9\_0\_120.
19. Zhukov I.A., Martyushev N.V., Zyukin D.A., Azimov A.M., Karlina A.I. Modification of Hydraulic Hammers Used in Repair of Metallurgical Units // Metallurgist. 2023, vol. 66, pp. 1644-1652. DOI: 10.1007/s11015-023-01480-w.
20. Ivanov K.I., Latyshev V.A., Andreev V.D. Drilling technique in the development of mineral deposits. – 3rd ed. – M.: Nedra, 1987. – 272 p.
21. Khrutsky A.A., Oshchepkov V.S. Computer simulation of the working process of a submerged pneumatic hammer P-110 // Mining information and analytical bulletin. 2018, no. 7, pp. 131-138. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-131-138.
22. Vardhan A., Kumar A., Dasgupta K. Effect of various parameters on the performance of the blasthole drilling // Journal of Mines, Metals and Fuels. 2017, vol. 65, no. 2, pp. 49-54.
23. Gospodarikov A.P., Revin I.E., Morozov K.V. Composite model of seismic monitoring data analysis during mining operations on the example of the Kukisvumchorrskoye deposit of AO Apatit // Journal of Mining Institute. 2023, vol. 262, pp. 571-580. DOI: 10.31897/PMI.2023.9.
24. Chudinova I.V., Nikolaev N I. Development of the composition and study of drilling mud properties for drilling wells in unstable clayey rocks // Advances in modern natural science. 2019, no. 8, pp. 85-89.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Юнгмейстер Дмитрий Алексеевич</b> – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения	<b>Yungmeister Dmitry Alekseevich</b> – doctor of technical sciences, professor, professor of mechanical engineering Department
<b>Гасымов Эмиль Эльчин оглы</b> – аспирант	<b>Gasimov Emil Elchin</b> – postgraduate student
<b>Борисов Сергей Викторович</b> – кандидат технических наук, доцент	<b>Borisov Sergey Viktorovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor
<b>Тимофеев Максим Игоревич</b> – студент	<b>Timofeev Maksim Igorevich</b> – student
azayli.emil@gmail.com	

Получена 03.12.2023