© А.А. Репин, Д.И. Кокоулин, И.О. Шахторин, 2016

УДК 622.233

А.А. Репин, Д.И. Кокоулин, И.О. Шахторин

СОЗДАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН МАЛОГО ДИАМЕТРА

Обоснована необходимость создания бурового оборудования вращательно–ударного действия, предназначенного для бурения скважин диаметром 40–60 мм на глубину до 50 м, разработана конструкция и изготовлен буровой станок с погружным пневмоударником, проведены аналитические и экспериментальные исследования по определению скорости бурения по породам различной крепости.

Ключевые слова: вращательно-ударное бурение, аналитические и экспериментальные исследования, натурный стенд.

Новые технологии разработки угольных и рудных месторождений требуют проведение работ по созданию бурового оборудования для бурения скважин диаметром 40–60 мм на глубину до 50 м в крепких породах. Существующие способы бурения скважин малого диаметра, использующие способ вращательного бурения при помощи отечественных буровых станков БЖ-45 и анкероустановщиков СБР, а также ряда зарубежных анкероустановщиков, не отвечают современным требованиям, как по производительности, так и по расходу бурового инструмента. Применение известных буровых установок, оснащенных перфораторами, ограничено глубиной бурения скважин, не превышающей 5–10 м, так как эффект от удара по хвосту бурового става по мере увеличения ее глубины уменьшается. Таким образом, возникла необходимость в создании такого бурового оборудования, которое при малом весе и малых габаритах могло обеспечить проходку скважин диаметром 40–60 мм на глубину до 50 м в крепких породах.

Известно, что наиболее эффективным способом бурения скважин в крепких породах является способ вращательно-ударного бурения с применением погружных пневмоударников, позволяющих осуществлять динамическое воздействие на горный массив для его разрушения непосредственно в забое [1]. С использованием этого принципа бурения в ИГД СО РАН

разработано буровое оборудование, включающее станок СБП (рис. 1), и погружной пневмоударник АШ-43 с наружным диаметром 37 мм (рис. 2) [2].

Станок СБП (рис. 1, *а*) устанавливается в горной выработке (например, штреке) на двух раздвижных стойках *1*, и распирается опорами *2* с помощью винтов. Неподвижные нижние стойки *1* соединяются жестко между собой кронштейнами *3* и *4*. Одновременно нижние стойки являются направляющими для редуктора – вращателя *5*. На кронштейне *3* жестко закреплены два пневмоцилиндра *6*, штоки которых проходят через отверстия в кронштейне *3* и при помощи пальцев крепятся к коромыслу *7*. Коромысло, в свою очередь, шарнирно соединяется двумя тягами *8* с корпусом редуктора-вращателя *5*. При втянутых штоках пневмоцилиндров редуктор-вращатель находится в нижнем положении. В переходник редуктора вставляется штанга *9*. На забойный конец штанги устанавливается погружной пневмоударник *11*. После этого включается редуктор-вращатель и подается команда пневмоцилиндрам *6* на выдвижение штоков. При этом, буровой став вместе с редуктором-вращателем подается на забой, включается пневмоударник и начинается процесс бурения.

После окончания бурения вращение штанги останавливается, прекращается подача воздуха в пневмоударник, штанга закрепляется на кронштейне рычагами *10*.

При проектировании пневмоударника АШ-43 реша-

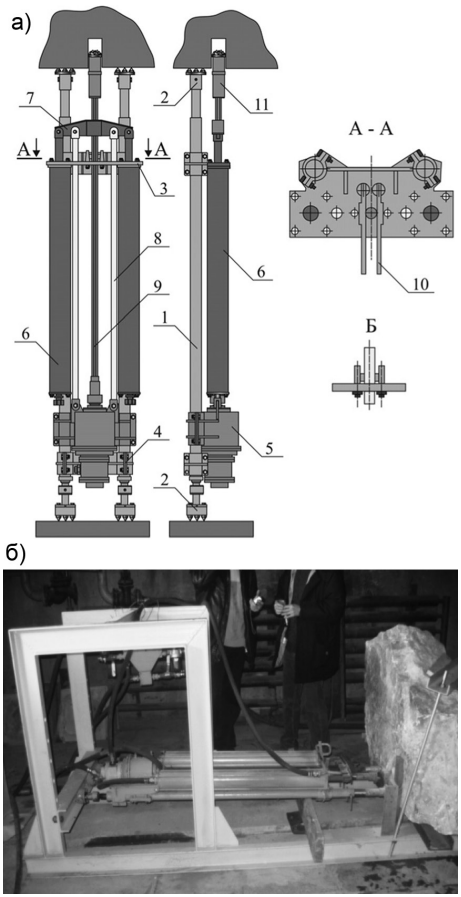

Рис. 1. Станок буровой породный СБП с пневмоударником АШ: а – общий вид станка; б – опытный образец на стенде

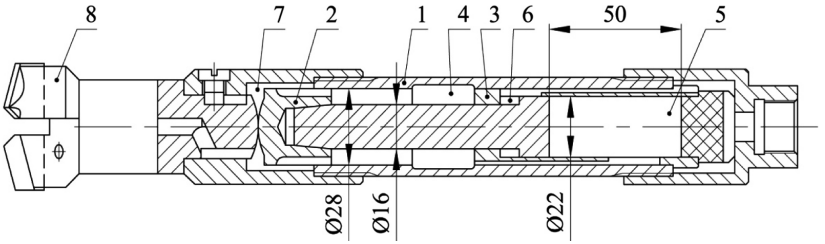

Рис. 2. Пневмоударник погружной АШ-43: 1 – корпус; 2 – ударник; 3 – воздухораспределительная гильза; 4 – кольцевая полость камеры рабочего хода; 5 – торцевая камера рабочего хода; 6 – камера холостого хода постоянного давления; 7 – расточка; 8 – буровая коронка

лась задача получения максимально возможной энергоотдачи пневмоударником в процесе бурения при его относительно небольших габаритах, диктуемых диаметром скважины, который определяется технологической необходимостью. Исходя из геометрических параметров спроектированного пневмоударника (рис. 2) определялись его энергетические возможности.

В соответствии с рекомендациями Б.В. Суднишникова [3] энергия удара спроектированного пневмоударника равна:

$$A = F \cdot S \cdot \text{p} = 0{,}0006 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}4 \cdot 10^6 = 7{,}2 \text{ Дж}, \qquad (1)$$

где $F = 0{,}0006$ м^2 – площадь ударника; $S = 0{,}03$ м – путь ударника с учетом холостого хода и воздушной подушки; $P = 0{,}4$ МПа – среднее давление в пневмоударнике.

По разработанной ИГД СО РАН технической документации был изготовлен опытный образец станка СБП на заводе ООО «Спецгидравлика», а так же пневмоударник АШ-43 в мастерских ИГД СО РАН.

В качестве бурового инструмента применен резец породный БИ-746 конструкции ООО «Буровой инструмент» (г. Новокузнецк).

Эффективность бурения скважин вращательно ударным способом объясняется тем, что глубина внедрения бурового инструмента в горный массив за один оборот бурового става складывается из углубления от действия статической и ударной нагрузок [4]. Таким образом, можно допустить, что общая скорость бурения скважин этим способом будет равна сумме скоростей, полученных вращательным и ударно-поворотным способами.

На основании проведенных научных исследований В.В. Царициным рекомендованы формулы по определению скорости бурения вращательным и ударно-поворотным способами [5].

Скорость при вращательном способе бурения:

$$V_{вр} = \frac{4 \cdot n \cdot m \cdot P(1+\beta)\cos\gamma}{d \cdot \sigma} \text{ см/мин}, \quad (2)$$

Скорость при ударно-поворотном способе бурения:

$$V_{уд} = \frac{2{,}85 \cdot z \cdot T \cdot \sin\alpha / 2}{d^2 \cdot \sigma(f + \operatorname{tg}\alpha / 2)} \text{ см/мин}, \quad (3)$$

Просуммировав формулы (2) и (3), получим скорость бурения, соответствующую вращательно-ударному способу бурения буровым инструментом с притупленными лезвиями:

$$V_{\Sigma} = V_{вр} + V_{уд} =$$

$$= \frac{2}{d \cdot \sigma}\left[n \cdot m \cdot p(1+\beta)\cos\gamma + \frac{0{,}71 \cdot z \cdot T \cdot \sin\alpha / 2}{d \cdot (f + \operatorname{tg}\alpha / 2)}\right] \text{ см/мин}, \quad (4)$$

где n – скорость вращения бурового става, об/мин; m – коэффициент формы лезвий бурового инструмента; p – осевое усилие на буровой став, кг; γ – угол установки лезвия относительно забоя, град.; d – диаметр скважины, см; α – угол заострения лезвия, град.; β – коэффициент формы среза стружки при бурении; z – частота ударов ударника, уд/мин; T – энергия удара, Дж; f – коэффициент трения; σ – предел прочности горного массива, МПа.

Принимаем, согласно рекомендациям О.Д. Алимова [6] скорость вращения бурового става n = 180 об/мин, усилие подачи бурового става на забой P = 750 кг (в соответствии с технической характеристикой СБП), геометрические параметры породного резца БИ-746, силовые параметры пневмоударника в соответ-

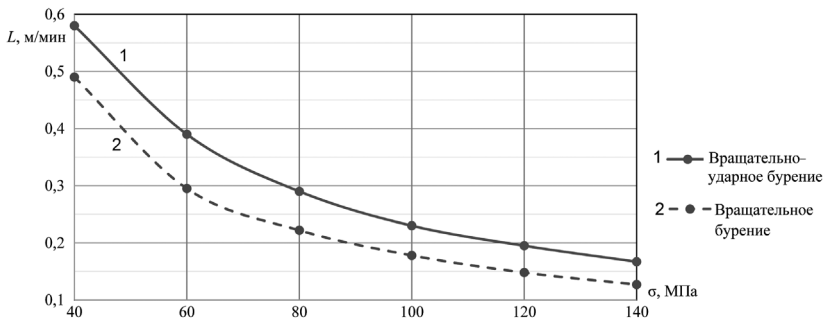

Рис. 3. График зависимости $V = f(\sigma)$ при бурении скважины диаметром 46 мм, построенный по результатам аналитических исследований

ствии с результатами расчетов по формуле (1) и подставляем их в формулы (4) и (2). В результате расчетов получена зависимость скорости бурения скважины диаметром 46 мм в породах различной крепости $L = f(\sigma)$ вращательно-ударным и вращательным способами бурения (рис. 3).

С целью подтверждения правомерности аналитического решения задачи были проведены экспериментальные исследования процессов бурения в ходе испытаний бурового оборудования на натурном стенде.

Натурный стенд представляет собой пространственную раму, в которой раскрепляется буровой станок. На нижнем основании рамы установлен и закреплен блок горной породы (см. рис. 1, *б*). В ходе испытаний были пробурены скважины диаметром 46 мм в бетонном и мраморном блоках. Испытания проводились в два этапа. На первом этапе бурение скважин осуществлялось методом вращательного бурения. На втором производилось методом вращательно-ударного бурения. И в первом и во втором случаях испытания сопровождались замерами давления в поршневых полостях пневмоцилиндров и в рабочих зонах пневмодвигателя вращателя бурового става и пневмоударника. Кроме того выполнялись замеры скорости врашения и подачи бурового става на забой (скорости бурения), а также частоты колебаний ударника. Все замеры выполнялись одновременно. Замеры давления и частоты колебаний ударника выполнялись при помощи датчиков давления с последующей обработкой и записью результатов на компьютер.

Результаты испытаний после обработки сводились в таблицу. В таблице приведены обработанные данные, полученные в процессе бурения мрамора и бетонного блока крепостью 11 и 4 единицы по шкале проф. М.М. Протодьяконова.

При сравнении результатов аналитических и экспериментальных исследований установлено, что величина скорости бурения вращательно-ударным способом, полученная экспериментальным путем на 8–10%, превышала скорость бурения, определенную аналитически (рис. 4).

Данное несовпадение скоростей объясняется тем, что разрушение горного массива при вращательно-ударном способе бурения происходит как от динамического воздействия на него буровым инструментом, так и вращательного резания. При этом, в результате удара лезвия бурового инструмента не только внедряются в массив на соответствующую глубину, но и способствуют возникновению в нем микротрещин, нарушаю-

Результаты испытаний

№ опыта	Способ бурения	Горная среда	Подача, кН	Момент, Нм	Частота ударов, Дж	Обороты *n*, об/мин	$V_{уд\text{-}вр.}$ эксп., м/мин	$V_{вращ.}$ эксп., м/мин	$V_{уд\text{-}вр}$ расчет., м/мин
1	Уд.-вращательное	мрамор μ = =11ед	7,12	90,6	38	180	0,24	–	0,21
2			7,12	97,14	38	180	0,24	–	
3	Вращательное		6,34	103,6	–	180	–	0,18	–
4			6,31	107,9	–	180	–	0,15	–
5	Уд.-вращательное	бетонный блок μ = = 4ед	6,61	112,2	39	200	0,66	–	0,58
6			6,33	97,2	40	190	0,61	–	
7	Вращательное		5,34	99,3	–	180	–	0,54	–
8			4,9	95,2	–	185	–	0,5	–

щих целостность структуры массива и уменьшая его допускаемое напряжение на сжатие, что облегчает дальнейший процесс разрушения массива уже методом вращательного резания. Выровнять величины скорости, полученные экспериментальным и аналитическим способами можно путем ввода в формулу (3) поправочного коэффициента «*k*». Таким образом, окончательный вариант формулы по определению скорости бурения скважин в крепких породах методом вращательно – ударного бурения с притупленными лезвиями будет выглядеть так:

$$V_{\Sigma} = \frac{2k}{d \cdot \sigma}\left[n \cdot m \cdot p(1+\beta)\cos\gamma + \frac{0{,}71 \cdot z \cdot T \cdot \sin\alpha / 2}{d \cdot (f + \mathrm{tg}\,\alpha / 2)}\right] \text{см/мин}, \quad (5)$$

где *k* – поправочный коэффициент.

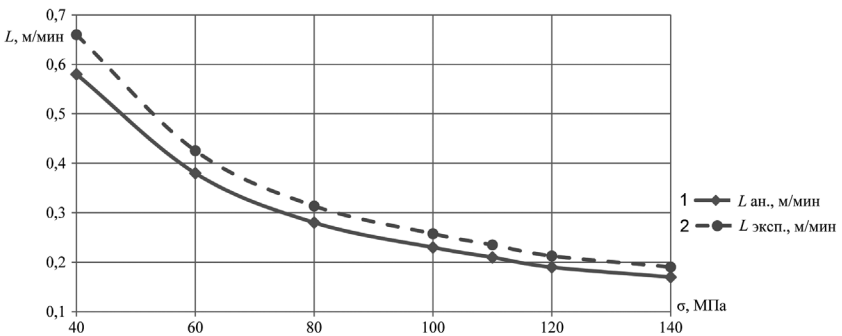

Рис. 4. Графики зависимостей V = f(σ), полученные аналитическим и экспериментальным путем

Поправочный коэффициент «k» определяется из выражения:

$$k = \frac{V_{эксп}}{V_{расч}}, \qquad (6)$$

где $V_{эксп}$ – скорость бурения экспериментальная, м/мин; $V_{расч}$ – скорость бурения расчетная, м/мин.

Испытаниями установлено, что поправочный коэффициент «k» меняется в зависимости от изменения предела прочности горного массива на сжатие. Однако эти изменения по абсолютной величине незначительны. Так, для пород крепостью $\mu = 4$ ед. коэффициент $k = 1{,}1$, а для пород крепостью $\mu = 11$ ед. коэффициент $k = 1{,}14$. Таким образом, можно допустить, что средняя величина поправочного коэффициента составит $k = 1{,}12$. Данные значения коэффициента «k», получены при работе пневмоударника АШ-43.

При рассмотрении формулы (5) и результатов испытаний, видно, что дальнейшее увеличение скорости бурения при использовании станка СБП возможно только за счет увеличения энергетических возможностей пневмоударника, так как усилие подачи бурового става на забой (по характеристике станка СБП) уже достигло своего максимального значения 7,5 кН. Поэтому, было принято решение о необходимости создания нового пневмоударника с более высокими энергетическими показателями. Такой пневмоударник был спроектирован и в настоящее время находится в стадии изготовления в мастерских ИГД СО РАН.

Сопоставление результатов испытаний, полученных экспериментально с результатами аналитических исследований, позволяет сделать вывод о высокой степени их соответствия, что дает возможность определения скорости бурения скважин в горных средах различной крепости аналитическим путем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клишин В. И.*, *Репин А. А.*, *Кокоулин Д. И.*, *Кубанычбек Б.* Создание специальных буровых станков для бурения скважин диаметром 45 мм в крепких породах / Теория машин и рабочих процессов. Сборник трудов. – Бишкек, 2013. – С. 195–201.

2. *Шахторин И. О., Карпов В. Н.* Актуальность использования скважин малого диаметра в технологиях добычи полезных ископаемых / Сборник трудов десятой международной научной конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – М.: ИПКОН, 2013.

3. *Суднишников Б. В.*, *Есин Н. Н.*, *Тупицын К. К.* Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. – Новосибирск: Наука, 1985. – 134 с.

4. *Медведев И.Ф.* Режимы бурения и выбор буровых машин. – М.: Недра, 1986. – 220 с.
5. *Царицын В.В.* Бурение горных пород. – Киев, 1959. – 343 с.
6. *Алимов О.Д.*, *Белов И.Г.*, *Горбунов В.Ф.*, *Маликов Д.Н.* Бурильные машины. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 259 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Репин А.А. – кандидат технических наук, доцент,
заместитель директора, e-mail: repin@misd.nsc.ru,
Кокоулин Д.И. – кандидат технических наук, ведущий инженер,
e-mail: konstruktor430@yandex.ru,
Шахторин И.О. – инженер, аспирант, e-mail: scorpion22@bk.ru,
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН.

UDC 622.233

A.A. Repin, D.I. Kokoulin, I.O. Shakhtorin

CREATING EXECUTIVE BODY FOR DRILLING SMALL DIAMETER WELLS

The demand for new rotation-percussion drilling equipment to make holes 40–60 mm in diameter to 50 m long is validated, a drill installation equipped with a downhole pneumatic drill is designed and manufactured, and analytical-experimental tests on drilling velocity in rocks of various hardness are carried out.

Key words: rotation-percussion drilling, analytical and experimental tests, full-scale test stand.

AUTHORS

Repin A.A.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Deputy Director, e-mail: repin@misd.nsc.ru,
Kokoulin D.I.[1], Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer,
e-mail: konstruktor430@yandex.ru,
Shakhtorin I.O.[1], Engineer, Graduate Student, e-mail: scorpion22@bk.ru,
[1] Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
630091, Novosibirsk, Russia.

REFERENCES

1. Klishin V.I., Repin A.A., Kokoulin D.I., Kubanychbek B. T*eoriya mashin i rabochikh protsessov*. Sbornik trudov (Theory of machines and working processes. Collection of papers), Bishkek, 2013, pp. 195–201.
2. Shakhtorin I.O., Karpov V.N. *Sbornik trudov desyatoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Problemy osvoeniya nedr v XXI veke glazami molodykh»* (Problems of mineral mining in the 21st century in the eyes of young people: Proceedings of the 10th international conference of young scientists and specialists), Moscow, IPKON, 2013.
3. Sudnishnikov B.V., Esin N.N., Tupitsyn K.K. *Issledovanie i konstruirovanie pnevmaticheskikh mashin udarnogo deystviya* (Research and design of pneumatic percussion machines), Novosibirsk, Nauka, 1985, 134 p.
4. Medvedev I.F. *Rezhimy bureniya i vybor burovykh mashin* (Drilling modes and selection of drilling machines), Moscow, Nedra, 1986, 220 p.
5. Tsaritsyn V.V. *Burenie gornykh porod* (Rock drilling), Kiev, 1959, 343 p.
6. Alimov O.D., Belov I.G., Gorbunov V.F., Malikov D.N. *Buril'nye mashiny* (Drilling machines), Moscow, Gosgortekhizdat, 1960, 259 p.