

Результаты обработки пироклора растворами кислот (время обработки — 4 ч)

t, °C	Реагент (C, %)	Перешло в раствор, % от исходного				
		U	Th	ΣРЗЭ	Ta	Nb
80	H ₂ SO ₄ (10)	40	2,9	15,4	н/о	13,1
80	H ₂ SO ₄ (10)*	45	12,6	17,0	9,1	14,7
80	H ₂ SO ₄ (40)	36	2,6	7,4	н/о	15,0
80	H ₂ SO ₄ (40)*	46,9	11,4	10	н/о	13,0
80	HNO ₃ (45)	41	3,5	3,8	0,02	0,06
120	H ₂ SO ₄ (25)*	85,2	38,5	54,2	1,0	2,2
120	H ₂ SO ₄ (25)**	90,8	36,4	65,5	0,83	3,2
140	HNO ₃ (45)	99,6	92,7	94,8	1,6	2,01
140	HNO ₃ (10) + H ₂ SO ₄ (10)	99,6	94,7	96,1	0,8	0,39

*С добавлением 10 % MnO₂.

**После обработки ультразвуком и с добавлением 10 % MnO₂.

получение ценных компонентов, не содержащих радионуклидов.

Проведен комплекс исследований по удалению радионуклидов из пироклоровых концентратов обогащения редкометалльно-редкоземельного сырья, содержащих радиоактивные элементы. Исследование выполнено на образце природного пироклора следующего состава (%): SiO₂ — 12,0; Al₂O₃ — 6,06; Fe₂O₃ — 2,46; FeO — 2,44; CaO — 2,83; MgO — 0,5; TiO₂ — 3,57; Na₂O — 4,0; K₂O — 1,83; MnO — 0,034; Nb₂O₅ — 41,1; Ta₂O₅ — 1,67; U — 0,815; ThO₂ — 0,67; ΣРЗЭ — 13,2; F — 4,33; PbO — 0,75. Для выщелачивания использовали растворы H₂SO₄ и HNO₃ различных концентраций. Процесс проводили как с окислителем — пиролюзитом (MnO₂), так и без него, как на исходном образце, так и на продукте, предварительно обработанном ультразвуком.

Данные таблицы показывают, что при выщелачивании растворами H₂SO₄ различной концентрации даже при умеренных параметрах в раствор переходит значительная часть U (~40 %). В присутствии MnO₂ степень перехода несколько увеличивается, но возрастают потери Ta и Nb с раствором. Извлечение Th и РЗЭ не превышают 12,6 и 17 % соответственно. Увеличение концентрации H₂SO₄ до 40 % практически не влияет на показатели. В автоклавных условиях при повышении температуры до 120 °С (в присутствии MnO₂) степень перехода U и Th в раствор возрастает до 85 %. Предварительная ультразвуковая обработка пироклорового концентрата перед выщелачиванием повышает степень извлечения U до 90,8 %. Эффективность использования ультразвуковых колебаний в гидрометаллургии определяются, в первую очередь, чисто механическим действием, особенно при создании в жидкости кавитации. В последнем случае не только возникают гидродинамические потоки вихревого характера, снимающие внешнедиффузионные сопротивления, но и происходит разрушение твердых тел, снятие поверхностных пленок, накопление различного типа дефектов в кристаллической решетке (особенно в поверхностных областях) [1].

При выщелачивании пироклора смесью HNO₃ и H₂SO₄ поведение U и Th аналогично. Однако при умеренных параметрах процесс протекает недостаточно

интенсивно. Извлечение U и Th составляет ~50 %. В условиях автоклавного выщелачивания скорость процесса резко возрастает, и при 140 °С практически полное переведение в раствор U, Th и РЗЭ завершается в течение 4 ч. Следует отметить, что проведение процесса при повышенных температуре и давлении не только обеспечивает практически полное удаление радионуклидов из пироклора, но и вследствие гидролитических явлений сводит до минимума переход в раствор Ta и Nb (до 1–2 %), которые концентрируются в нерастворимом остатке.

Полученный таким образом продукт удовлетворяет ОСТ 48–37–72 (с дополнением № 4, утвержденным Госстандартом № 45/04 от 22.09.82) и пригоден для непосредственного использования при производстве феррониобия.

На основании этих исследований для пироклорового концентрата Катугинского месторождения, характеризующегося повышенным содержанием радиоактивных элементов (U₃O₈ = 1,06 %; ThO₂ = 0,53 %), в лабораторных условиях разработана принципиальная технологическая схема, обеспечивающая получение концентрата, пригодного для выплавки феррониобия. С этой целью концентрат, измельченный до 200 меш, обрабатывали смесью 10%-ных растворов серной и азотной кислот, взятых в отношении 1:1. Чтобы исключить потери тантала и ниобия, процесс осуществляется в условиях автоклавного выщелачивания (t = 120–140 °С, давление 4 атм). При этом за 4 ч в раствор практически полностью перешли уран, торий и редкоземельные элементы.

Таким образом, проведенные исследования позволили найти технологические решения, обеспечивающие дезактивацию пироклоровых концентратов, полученных из редкометалльно-редкоземельного сырья и содержащих радиоактивные элементы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев А.С. Выщелачивание и способы его интенсификации — М.: МИСИС, 2005.
2. Россман Г.И., Бахур А.Е., Петрова Н.В. Промышленная радиационная экология минерального сырья — М.: ВИМС, 2012.

© Лихникевич Е.Г., 2015

Лихникевич Елена Германовна // Likhnikievich@mail.ru

УДК 622.234

Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Гроссу А.Н. (ЮРГПУ)

ИССЛЕДОВАНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА И СКОРОСТИ БУРЕНИЯ ПРОСЛОЕВ ПОРОД И РУДЫ ДОЛОТОМ С ГИДРОМОНИТОРНЫМ ПРИВОДОМ

Рассмотрена возможность применения в компоновке гидродобычного агрегата бурового долота режущего типа с гидромониторным приводом для разбуривания прослоев, разделяющих мощные пласты рыхлых железных руд на Гостинцевском месторождении КМА. Приведены результаты теоретического и экспериментального исследования усилий резания, осевых нагрузок, крутящего момента на долоте и скорости бурения прослоев из пород средней

крепости. **Ключевые слова:** буровое долото с гидромониторным приводом, Гостищевское месторождение, расчеты силы резания и крутящего момента, разбуривание прослоев породы.

Tretyak A.Ya., Litkevich Yu.F., Grossu A.N. (Platov South-Russian State Polytechnical University)

STUDIES TORQUE AND SPEED OF DRILLING OF INTERLAYERS ROCKS AND ORE BIT WITH HYDRAULIC MONITOR DRIVE

*The article discusses the possibility of applying the hydrominor plant — drilling bit of cutting type with hydraulic monitor drive for the drilling of interlayers, separating the thick layers of loose iron ore on Gostischevskoye field of KMA. The results of a theoretical and experimental study of efforts of cutting, axial loadings, torque on a bit and speed of drilling of interlayers from rocks of average strength. **Key words:** drilling bit with hydraulic monitor drive; Gostischevskoye field of KMA; calculations of forces of cutting and torque; drilling of interlayers rocks.*

В Белгородской области на Гостищевском месторождении КМА запасы богатых железных руд исчисляются многими миллиардами тонн. Однако сложность их добычи заключается в том, что геологический разрез в интервале 530–795 м представлен мощными отложениями гематит-мартитовой руды с чередующимися прослоями железной слюдки мощностью до 90 см.

Анализ технологических характеристик гидродобычных снарядов, которые применялись на Шемраевском месторождении КМА, позволил выявить присущие им недостатки и сконструировать новое устройство для скважинной гидродобычи железной руды применительно к геологическим условиям Гостищевского месторождения — буровое долото режущего типа с гидромониторным приводом (рис. 1), с помощью которого происходит не только разрушение породы, но также и прорезание породных прослоев.

Важнейшим показателем эффективности бурения прослоев и рыхлых железных руд буровым долотом с гидромониторным приводом является возможность создания крутящего момента на долоте, обеспечивающего резание породы слоями различной толщины.

Процесс разрушения прослоев между мощными пластами рыхлой железной руды состоит из двух этапов:

вхождение в прослой забуривающей части долота на глубину до 150 мм;

разрушение прослоев разбуривающей частью долота и расширение прохода между пластами воздействием гидромониторных струй.

Для пород средней крепости (V и VI категорий по буримости) с контактной прочностью P_k от 350 до 450 МПа, абразивностью $\alpha = 10 \div 15$ мг и коэффициентом крепости $f = 6 \div 6,6$ (по шкале А.А. Протодяконова) для забуривающей части, выполненной в виде породного резца (рис. 2) диаметром $D = 50$ мм с раствором радиусом $r_p = 5$ мм, с концевым углом $\phi_{cp} = 110^\circ$, углом резания $\delta = 90^\circ$, с начальной площадкой затупления $F_{зат} = 6$ мм², усилие резания P_z (в Н) на перереза при срезании слоя толщиной h (в мм) определяется по формуле [2]

$$P_z = \mu_c R_d F_{зат} + \frac{R_{ск} h (r - r_p)}{2 \sin \tau \cdot \sin(\tau + \delta)}, \quad (1)$$

где R_d — сопротивление породы дроблению ($R_d = 0,24 P_k$); $R_{ск}$ — сопротивление породы скалыванию ($R_{ск} = 0,06 P_k$); μ_c — коэффициент трения на торцевой площадке резца ($\mu_c = 0,35$); r , r_p — радиус резца и радиус его раствора, мм; τ — угол скалывания породы ($\tau = 25^\circ$).

Для внедрения резца в забой действует осевая нагрузка P_y . Со стороны породы на перо резца действуют нормальные силы сопротивления внедрению, а также силы трения по передней $\mu_1 P_{yn}$ и по задней $\mu_1 P_{yz}$ граням.

Осевая нагрузка P_y (в Н) для забуривающей части долота, необходимая для срезания слоя породы толщиной h (мм), рассчитывается по формуле [2]

$$P_y = R_d F_{зат} + \frac{R_{ск} h (r - r_p) \mu \cdot \sin \phi_{cp}}{2 \sin \tau \cdot \sin(\tau + \delta)}, \quad (2)$$

где μ — коэффициент трения на передней площадке резца ($\mu = 0,4$).

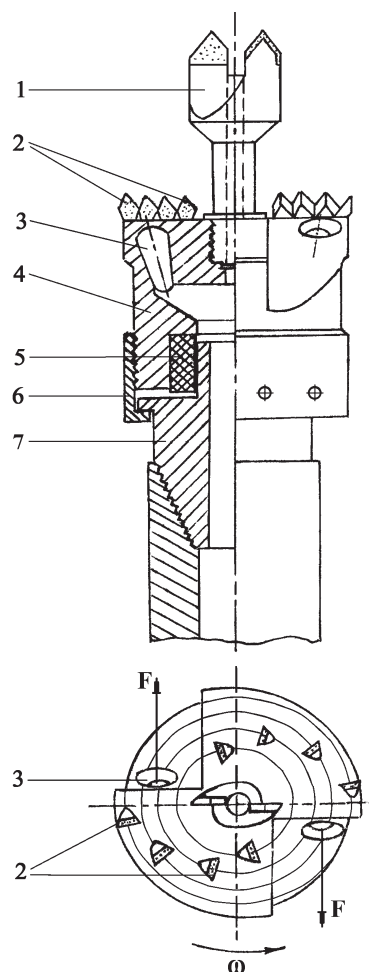


Рис. 1. Буровое долото режущего типа с гидромониторным приводом для скважинной гидродобычи полезных ископаемых. 1 — забуривающая часть бурового долота; 2 — твердосплавные режущие элементы; 3 — каналы для формирования гидромониторных струй; 4 — разбуривающая часть долота; 5 — втулка; 6 — присоединительная гайка; 7 — переводник

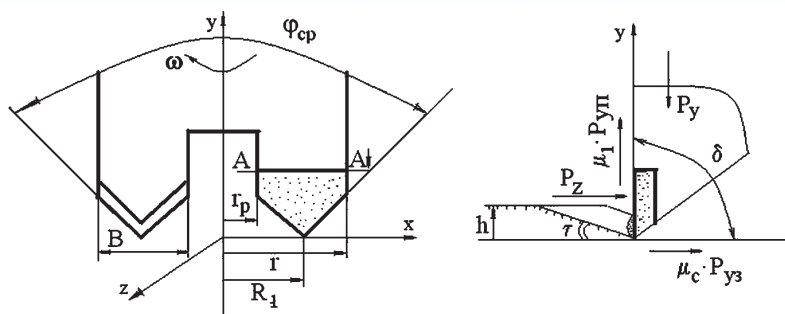


Рис. 2. Схема сил на забуривающей части долота

Для режущих элементов забуривающей части радиус R_1 (в мм) центра приложения силы P_{z1} будет

$$R_1 = r_p + B/2, \quad (3)$$

где B — ширина режущего элемента ($B = 20$ мм).

Необходимый крутящий момент $M_{заб}$ (в Н·м) для среза слоя породы толщиной h (в мм) на забуривающей части определяется по формуле

$$M_{заб} = 2 \cdot 10^{-3} R_i P_{zi}.$$

В табл. 1 представлены расчетные значения усилий резания P_{zi} , осевой нагрузки P_y и крутящего момента $M_{заб}$ на долоте при забуривании по породам с контактной прочностью P_k 350 и 450 МПа для разной толщины срезаемого слоя породы h . Выполненные расчеты показывают, что при таких значениях P_z , P_y и $M_{заб}$ при забуривании в пропласт слоя породы, разделяющего мощные пласты рыхлой железной руды, долото с гидромониторным приводом, развивающее крутящий момент $M_k = 350$ Н·м при частоте 102 мин⁻¹, будет работать с 3-кратным запасом по крутящему моменту при всех расчетных значениях $M_{заб}$, вычисленных для максимальных размеров срезаемого слоя породы.

При разбурировании пропластков режущие элементы, установленные на разных радиусах R_i относительно продольной оси долота (рис. 3), разрушают породу с различными скоростями резания V_i (м/с):

$$V_i = 10^{-3} \omega R_i,$$

где ω — угловая скорость долота, рад/с; R_i — радиус установки режущего элемента, мм.

Исследованиями [2], выполненными на кафедре «Горные и нефтегазодобывающие машины» ЮРГПУ (НПИ), установлено, что при изменении скорости резания в широком диапазоне (от 0,7 до 3,0 м/с) усилия резания остаются практически неизменными. Поэтому для разбуривающей части долота усилие резания $\sum P_{zi}$, осевую нагрузку $\sum P_{yi}$ определяем по формулам (1) и (2).

Для режущих элементов забуривающей части радиус R_1 центра приложения силы P_{z1} определяется по формуле (3).

Тогда, исходя из сплошности разрушения забоя, для разбуривающих резцов

$$R_2 = R_1 + B;$$

$$R_3 = R_1 + 2B;$$

$$R_4 = R_1 + 3B;$$

...

$$R_n = R_1 + (n - 1)B.$$

Результирующий крутящий момент M_p (в Н·м) на буровом долоте при разбурировании прослоев определяется по формуле

$$M_p = 2P_z \cdot 10^{-3} (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5),$$

где $R_1 - R_5$ составляют 15, 35, 55, 75 и 95 мм соответственно.

В табл. 2 представлены расчетные значения усилий P_z , P_y и величины крутящего момента M_p на долоте при разбурировании пород средней крепости с разной контактной прочностью P_k .

Анализ полученных результатов показывает, что устойчивая работа долота при разбурировании прослоев будет обеспечиваться при толщине срезаемого слоя породы $h \leq 0,5$ мм, когда необходимый минимальный крутящий момент $M_{p \min} = 321$ Н·м будет меньше номинального крутящего момента на долоте $M_k = 350$ Н·м (на прослоях с $P_k = 450$ МПа).

Скорость бурения при забуривании и разбурировании определяли по методике [3, 4], разработанной на кафедре «Бурение нефтегазовых скважин и геофизика» ЮРГПУ (НПИ). Нами установлено, что скорость бурения долотами режущего типа во всем диапазоне ра-

Таблица 1

h, мм	P _к , МПа					
	350	450	350	450	350	450
	P _z , Н		P _y , Н		M _{заб} , Н·м	
1	672	940	545	916	20,16	28,2
2	1228	1654	754	1185	36,84	49,62
3	1782	2369	963	1453	53,46	71,07
4	2337	3083	1172	1720	70,11	92,49

Таблица 2

h, мм	P _к , МПа					
	350	450	350	450	350	450
	P _z , Н		P _y , Н		M _р , Н·м	
1,0	672	940	2725	4580	369	517
0,9	617	869	2620	4448	339	478
0,7	505	727	2411	4180	278	399,7
0,5	394	584	2202	3910	217	321

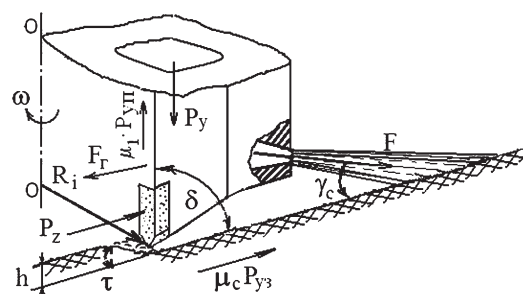


Рис. 3. Схема сил на резцах разбуривающей части долота. γ_c — угол наклона гидромониторной струи; F_r — горизонтальная составляющая силы F , создающей крутящий момент M_k на долоте ($F_r = -F \cos \gamma_c$)

Таблица 3

h , мм	V_0 , мм/с	P_y , Н	$P_{уд}$, Н/мм ²	$V_{заб}$, мм/с
1	9,5	916	152	3,2
2		1185	197,5	4,17
3		1453	242	5,1
4		1720	286	6,05

бочих частот не зависит от частоты вращения, а пропорциональна осевой нагрузке, т.е. зависит от $P_{уд}$ — удельной нагрузки на режущих кромках бурового инструмента. Скорость бурения V (мм/с) определяется по формуле

$$V = V_0(P_{уд} / P_k),$$

где V_0 — модуль скорости бурения, мм/с.

Модуль скорости — это скорость бурения, когда удельная нагрузка $P_{уд}$ (МПа) на режущих кромках бурового инструмента равна контактной прочности породы P_k , т.е. $P_{уд} = P_k$.

$$P_{уд} = P_y / F_{зат}.$$

Модуль скорости бурения определяется зависимостью

$$V_0 = 4270 / P_k.$$

Для прослоев породы с контактной прочностью $P_k = 450$ МПа $V_0 = 9,5$ мм/с. В табл. 3 представлена расчетная скорость забуривания $V_{заб}$ для пород с указанной контактной прочностью (VI категория по буримости) при различных значениях осевой нагрузки на долоте P_y .

Технические и конструктивные параметры долота позволяют производить забуривание с любым из представленных значений расчетной скорости.

При разбуривании расчет скорости бурения V_p выполнили для допустимого значения крутящего момента на долоте (табл. 2).

Для $h = 0,5$ мм $P_y = 440$ Н, тогда $P_{уд} = 440 : 6 = 73$ МПа, а $V_p = 9,5 \cdot 73 : 450 = 1,55$ мм/с $\approx 0,1$ м/мин.

Проверку расчетных значений крутящего момента и скорости бурения прослоев породы проводили на экспериментальном стенде, изготовленном на базе станка СКБ-4 (рис. 4, стенд не полноразмерный).

На стенде установлен блок породы из слоистого песчаника с контактной прочностью $P_k = 400$ МПа и абразивностью $\alpha = 10$ мг. В качестве забуривающего инструмента применяли серийный резец БИ-741А диаметром 45 мм с отрицательным передним углом $\gamma = -15^\circ$ и углом резания $\delta = 105^\circ$. Для промывки

привода гидромониторного долота использовался насос УНБ-100, обеспечивающий расход воды $Q = 35$ л/с и давление $P_n = 3$ МПа.

Реактивная сила от гидромониторной струи F (в Н) с учетом потерь давления определяется по формуле

$$F = (S/2) \cdot 10^2 k_n \cdot \Delta P,$$

где S — площадь сечения гидромониторных струй на выходе ($S = 6,28$ см²); k_n — коэффициент потерь давления в трубопроводной системе ($k_n = 0,85$); ΔP — давление струй на выходе из насадки ($\Delta P = P_n k_n$), тогда $F = 800$ Н.

Крутящий момент на долоте M_k (Н·м) определяем по формуле [1]

$$M_k = Fl \cos \gamma_{ст},$$

где l — плечо силы F ($l = 0,2$ м); $\gamma_{ст}$ — угол наклона гидромониторной струи к груди забоя ($\gamma_{ст} = 25^\circ$).

Тогда $M_k = 800 \cdot 0,2 \cdot 0,906 = 145$ Н·м.

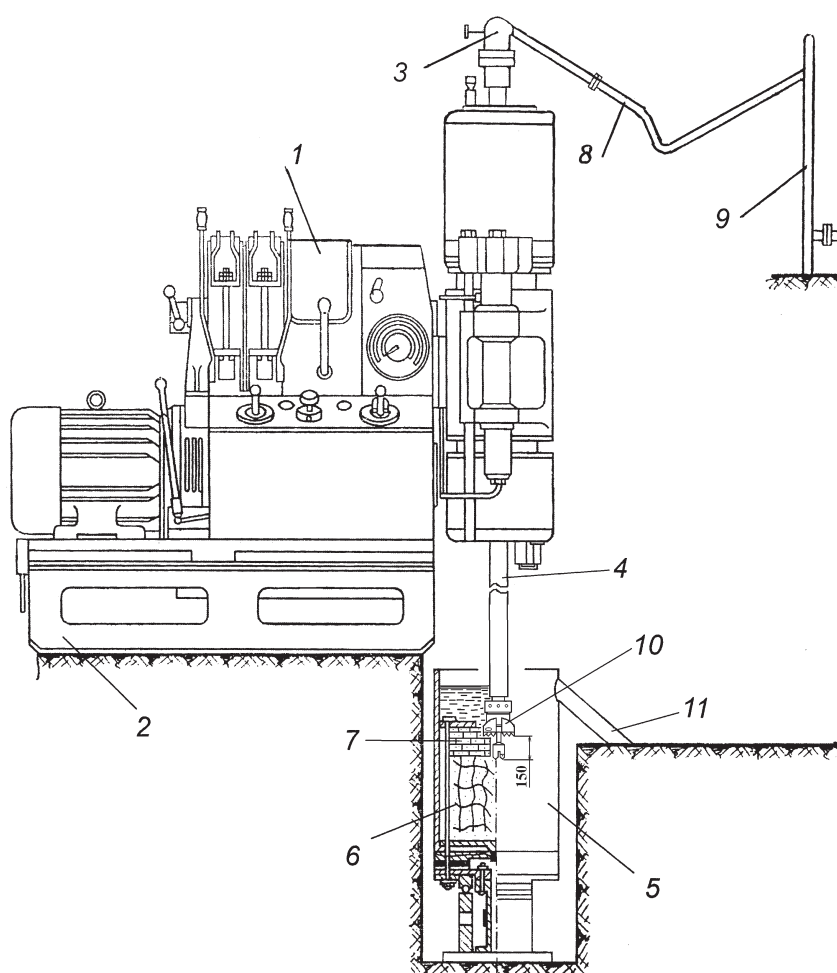


Рис. 4. Экспериментальный стенд на базе станка СКБ-4 с нагрузочным устройством из прослоя породы и рыхлой руды. 1 — станок СКБ-4; 2 — рама; 3 — промывочное устройство; 4 — буровая штанга; 5 — корпус искусственного забоя; 6 — руда рыхлая (или песчано-глинистая порода); 7 — прослой (сланец, руда полускальная); 8 — буровой шланг; 9 — стояк; 10 — модель бурового долота; 11 — отвод для выхода промывочной жидкости в циркуляционную систему

Таблица 4

t, с	V _б , м/мин	V _{заб} , м/мин
32	0,28	0,267
42	0,214	
36	0,25	
34	0,264	
41	0,22	

Проверку возможности использования таких параметров стенда для проведения экспериментов выполняли по методике расчетов P_z , P_y и $M_{заб}$ [2]:

$$P_{z1} = \mu_c R_d F_{зат} + \frac{R_{ск} h (r - r_p) (\sin \delta + \mu_1 \cos \delta)}{2 \sin \tau \cdot \sin(\tau + \delta)}$$

Так, при $\mu_c = 0,35$, $\mu_1 = 0,4$, $F_{зат} = 6 \text{ мм}^2$, $\delta = 105^\circ$, $h = 1 \text{ мм/об}$ при бурении резцом БИ-741 с толщиной стружки $h_c = 1 \text{ мм}$ расчетное значение усилия резания $P_{z1} = 843 \text{ Н}$. А необходимый крутящий момент $M_{заб}$ определяем по формуле

$$M_{заб} = 2 R_l \cdot 10^{-3} P_{z1} = 2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 843 = 25,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необходимую осевую нагрузку на долото при забуривании определяем по формуле [2]

$$P_{y1} = R_d F_{зат} - \frac{R_{ск} h_c (r - r_p) (\cos \delta - \mu_1 \sin \delta) \sin \varphi_{cp}}{2 \sin \tau \cdot \sin(\tau + \delta)}$$

Тогда для $h_c = 1 \text{ мм}$, $\mu_c = 0,35$, $\mu_1 = 0,4$, $F_{зат} = 6 \text{ мм}^2$, $\delta = 105^\circ$, $\varphi_{cp} = 60^\circ$

$$P_{y1} = 990 \text{ Н}.$$

При таком значении P_{y1} удельная нагрузка на режущих кромках забуривающей части долота будет

$$P_{уд} = P_{y1} / F_{зат} = 990 : 6 = 165 \text{ МПа}.$$

Зная P_y и P_k , определяем возможную скорость бурения V_b по формуле [2]

$$V_b = V_0 \cdot P_{уд} / P_k = 9,5 \cdot 165 : 400 = 3,9 \text{ мм/с}.$$

Следовательно, на стенде можно проводить исследование работы бурового долота с гидромониторным приводом.

Бурение блока породы — слоистого песчаника с $P_k = 400 \text{ МПа}$, $\alpha = 10 \text{ мг}$, выполнялось в режиме забуривания. Время бурения на глубину $H = 150 \text{ мм}$ засекали секундомером. Результаты экспериментального и теоретического определения скорости бурения представлены в табл. 4.

Выполненные исследования позволили установить следующее:

1. Предлагаемое буровое долото режущего типа с гидромониторным приводом может быть использовано при бурении прослоев пород средней крепости и мощных пластов железных руд на Гостищевском месторождении КМА.

2. Среднее значение скорости бурения составляет $V_b = 0,245 \text{ м/мин}$, коэффициент вариации $k_b = 11,5 \%$.

3. Отличие расчетных значений скорости бурения $V_{заб}$ от экспериментальных замеров V_b находится в пределах $9 \div 10 \%$, что в горном деле считается незначительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. — М.: Альянс, 2011.
2. Крапивин М.Г., Раков И.Я., Сысоев Н.И. Горные инструменты. — М.: Недра, 1990.
3. Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Е. Исследование подачи и модуля скорости при вращательном бурении горных пород // Интервал. — 2006. — № 2. — С. 25–27.
4. Третьяк А.Я., Чихоткин В.Ф., Литкевич Ю.Ф., Асеева А.Е. Метод расчета осевой нагрузки и механической скорости бурения двухфазного долота режущего типа Д-2ВВ // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. — 2006. — № 3. — С. 13–18.

© Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Гроссу А.Н., 2015

Третьяк Александр Яковлевич // 13050465@mail.ru

Литкевич Юрий Федорович // 13050465@mail.ru

Гроссу Анна Николаевна // 13050465@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 553.04; 338.054.23

Денисов М.Н. (НЦ «ВИЭМС»)

СТОИМОСТЬ УТРАТЫ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВРЕДА, ПРИЧИНЕННОГО НЕДРАМ ПО ВИНЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Предлагается уточнение порядка определения компенсации безвозвратных потерь запасов полезных ископаемых по вине недропользователя. Определены показатели оценки стоимости утраченных запасов в зависимости от вида товарной продукции, длительности отработки и причин утери запасов. **Ключевые слова:** полезные ископаемые, добыча, запасы, потери запасов, стоимость, недропользователь.

Denisov M.N. (VIEMS)

COST OF THE LOST MINERAL RESERVES DUE TO THE DAMAGE CAUSED TO THE MINERAL SUBSOIL

The article suggests the adjustments in the procedure for the determination of compensation for non-collectable losses of mineral reserves, caused by a resources user. The article determines the indices of cost estimation for non-collectable reserves depending on the type of product, duration of resource recovery and causes of reserves losses. **Key words:** mineral reserves, production, stocks, non-collectable reserves, cost of recovery, resource user.

До недавнего времени в системе недропользования основное внимание уделялось потерям полезного ископаемого при его добыче. Согласно Налоговому