

УДК 622.233:621.86.064.7:62-231.1

ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЛОТ РЕЖУЩЕ-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С МНОГОРЯДНЫМ ВООРУЖЕНИЕМ

Гилев А.В., Бовин К.А., Шигин А.О., Белозеров И.Р.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск,

e-mail: anatoliy.gilev@gmail.com, kocht.91@mail.ru, shigin27@rambler.ru, belozerovir@mail.ru

Представлены расчетные скорости бурения, глубины внедрения долота в горную породу за один оборот и скорости вращения зубчато-дисковых фрез. Приведены зависимости изменения скорости вращения зубчато-дисковых фрез от скорости бурения и крепости горных пород. Определены расчетные значения горизонтальной и вертикальной составляющих результирующего усилия и средней окружной скорости зуба зубчато-дисковой фрезы. Установлены характерные черты кинематики разборного долота бурового долота с зубчато-дисковыми фрезами (ДРДФ), указывающие на благоприятные условия для длительной эксплуатации вооружения долота, отсутствие перегрева зубьев и целесообразность применения силовых режимов бурения. Выявлено, что долота ДРДФ с многорядным вооружением расширяют область рационального применения бурового инструмента режуще-вращательного действия.

Ключевые слова: траектория движения, зубчато-дисковая фреза, двухрядное вооружение, окружная скорость, результирующие усилия

THE JUSTIFICATION KINEMATICAL AND REGIMENT PARAMETERS OF CUTTING-ROTATING DOING WITH MULTI-ARMED ARMAMENT

Gilev A.V., Bovin K.A., Shigin A.O., Belozеров I.R.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: anatoliy.gilev@gmail.com,

kocht.91@mail.ru, shigin27@rambler.ru, belozerovir@mail.ru

Estimated drilling speeds, the introduction of a bit into the rock in one revolution and the speed of rotation of the toothed disc milling cutters are presented. Dependences of the change in the speed of rotation of the toothed disk mills on drilling speed and rock strength are presented. The calculated values of the horizontal and vertical component of the resultant force and the average circumferential velocity of the tooth of the toothed disk mill are given. The kinematic features of the collapsible drill bit with toothed-disks cutter (DRDF) drill bit are revealed, indicating the effectiveness of the interaction of its weapons with the rock bottomhole, the absence of overheating of the teeth and the appropriateness of the use of power drilling regimes. It has been revealed that the DRDF drill bit with multi-row armament expand the area of rational application of the cutting-rotary drilling tool.

Keywords: motion trajectory, toothed-disk cutter, double-row arms, peripheral speed, resultant thrust

Постоянный рост потребности в различного рода полезных ископаемых требует увеличения добычи минерального сырья на горных предприятиях. В связи с чем важное значение приобретает разработка новых и совершенствование уже известных видов буровых инструментов.

При этом разработка месторождений должна не только обеспечивать добычу определенного объема полезного ископаемого заданного качества в установленные сроки, но и должен быть достигнут максимальный экономический эффект с минимальной себестоимостью единицы продукции.

Основные объемы горной массы подготавливаются к выемке буровзрывным способом, одним из главных производственных процессов которого является бурение взрывных скважин [1].

Режущие долота (РД), эксплуатируемые в настоящее время, имеют непрерывный контакт резцов с горной породой на забое

скважины [2, 3]. По сравнению с серийно выпускаемыми шарошечными долотами, имеющими наибольшее распространение (до 80 % всех объемов бурения [4]). Они технологичнее, дешевле в изготовлении и имеют скоростные преимущества, но обладают низкой стойкостью резцов (особенно периферийных) при бурении пород с коэффициентом крепости $f > 6$ и абразивных.

Эффективное бурение сложноструктурных массивов горных пород, с преобладанием пород с коэффициентом крепости $f = 2-5$ и включениями пропластков до коэффициента крепости $f = 6-8$ и абразивных пород, возможно буровыми долотами, имеющими резцы повышенной стойкости, что обеспечивает высокую скорость бурения и повышение срока эксплуатации (стойкости долота) при наличии крепких горных пород.

Проблема создания буровых инструментов в настоящее время весьма актуальна, т.к. снижение затрат на буровые работы (они достигают 30–50 % себестоимости

горных работ [4]) возможно путем снижения затрат на их изготовление, повышение стойкости и снижения удельных затрат, отнесенных к одному погонному метру пробуренной скважины.

Современное состояние вопроса бурения горных пород режущими долотами и накопленные материалы [3, 5–7] позволяют ставить задачу создания новых высокоэффективных типов долот для проходки взрывных скважин в более широком диапазоне изменения коэффициента крепости горных пород (до $f = 10\text{--}12$).

мешены лапы 2, в которых установлены зубчато-дисковые фрезы 3 с осью вращения 4. Перемещению оси вращения 4 препятствует стопорное кольцо 5, устанавливаемое в паз 6. Данная конструкция бурового долота является перспективной, однако требует обоснования кинематических и режимных параметров. Принцип работы долота ДРДФ представлен в дипломной работе А.Г. Ковалева [10].

Рассмотрим кинематические особенности долота ДРДФ с многорядным вооружением, с учетом работы [2].

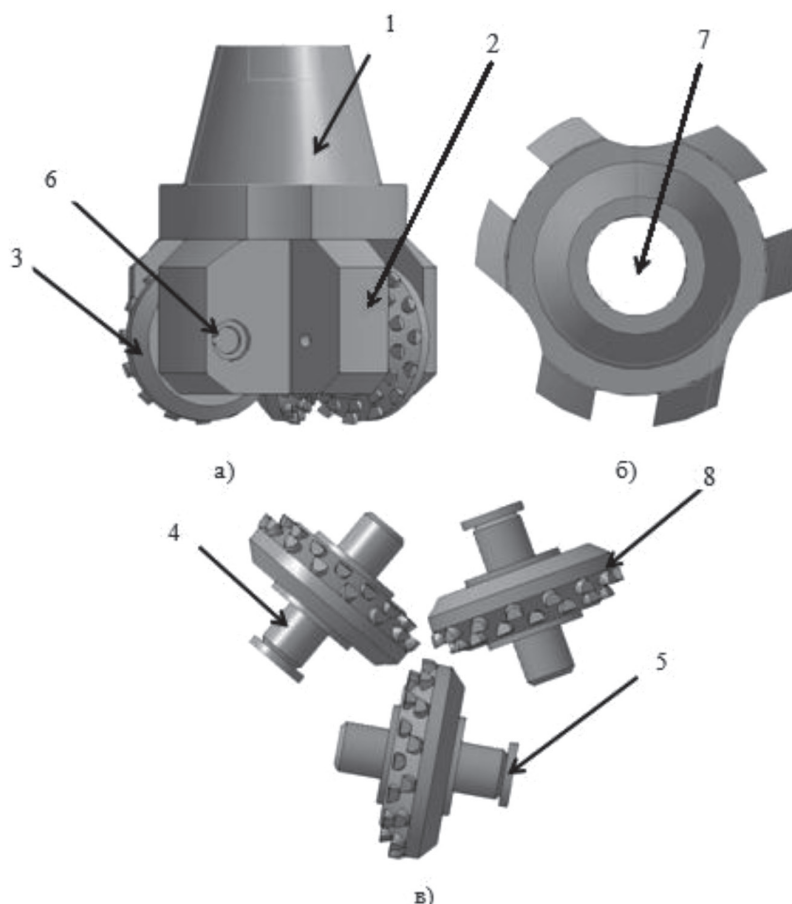


Рис. 1. Буровое разборное долото с зубчато-дисковыми фрезами и двумя рядами твердосплавного вооружения (ДРДФ-244,5-2): 1 – корпус, 2 – лапы, 3 – зубчато-дисковая фреза, 4 – ось вращения, 5 – стопорное кольцо, 6 – паз штопорного кольца, 7 – продувочный канал, 8 – твердосплавное вооружение

Коллективом кафедры «Горные машины и комплексы» Сибирского федерального университета разработано буровое разборное долото с зубчато-дисковыми фрезами (ДРДФ), оснащенными двумя рядами твердосплавного вооружения которое разрушает сложноструктурные массивы горных пород с коэффициентом крепости $f = 2\text{--}10$ (рис. 1) [9]. Долото состоит из корпуса 1 с продувочным каналом 6, на котором раз-

Зубчато-дисковые фрезы, установленные в корпусе долота, совершают перемещение по сложной траектории (поступательное – сверху вниз под действием осевой нагрузки $P_{ос}$ от механизма подачи и вращательное, осуществляемое с помощью механизма вращения). Каждый зуб фрезы (рис. 2) вращается с частотой n_{ϕ} относительно ее оси ($O_2\text{--}O_2$) и вместе с фрезой также вращается относительно

оси скважины O_1-O_1 с частотой n_d (рис. 2). Кроме того, под действием осевого усилия $P_{ос}$ зубчато-дисковая фреза совершает поступательное движение и перемещается вдоль оси скважины O_1-O_1 сверху вниз со скоростью, равной скорости бурения V_6 , и за один оборот вращения долота проходит вертикальный участок, равный глубине внедрения долота в породу h . При этом зуб фрезы за один оборот вокруг оси скважины O_1-O_1 также перемещается вниз на определенный отрезок, а за оборот фрезы (на оси O_2-O_2) проходит вертикальный участок l_ϕ .

Все зубья зубчато-дисковой фрезы образуют сетку разрушения забоя скважины

(рис. 2), параметры которой (величина ячеек) зависят от диаметра зубчато-дисковых фрез d_ϕ , их числа β , количества зубьев N на них и скорости бурения V_6 .

За один оборот зуб фрезы находится в контакте с породой примерно $2/5$ своего пути. На протяжении $3/5$ пути он не контактирует с породой. Таким образом в каждый момент времени с породой на забое скважины контактирует только $2/5$ вооружения (зубьев) зубчато-дисковой фрезы. Все зубья фрезы проходят равный путь в контакте с горной породой, что обеспечивает равномерное их изнашивание [2], в отличие от режущих долот со стационарными резцами [7].

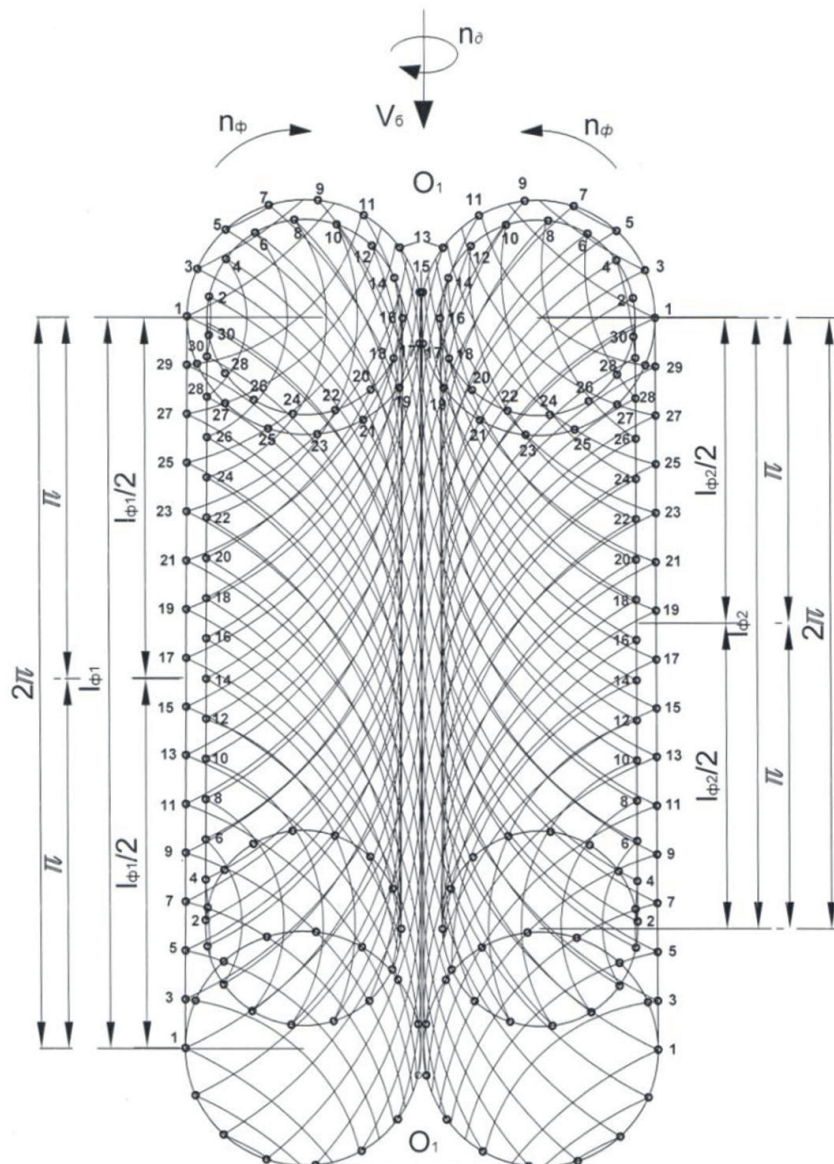


Рис. 2. Сетка разрушения породы в скважине зубьями зубчато-дисковых фрез

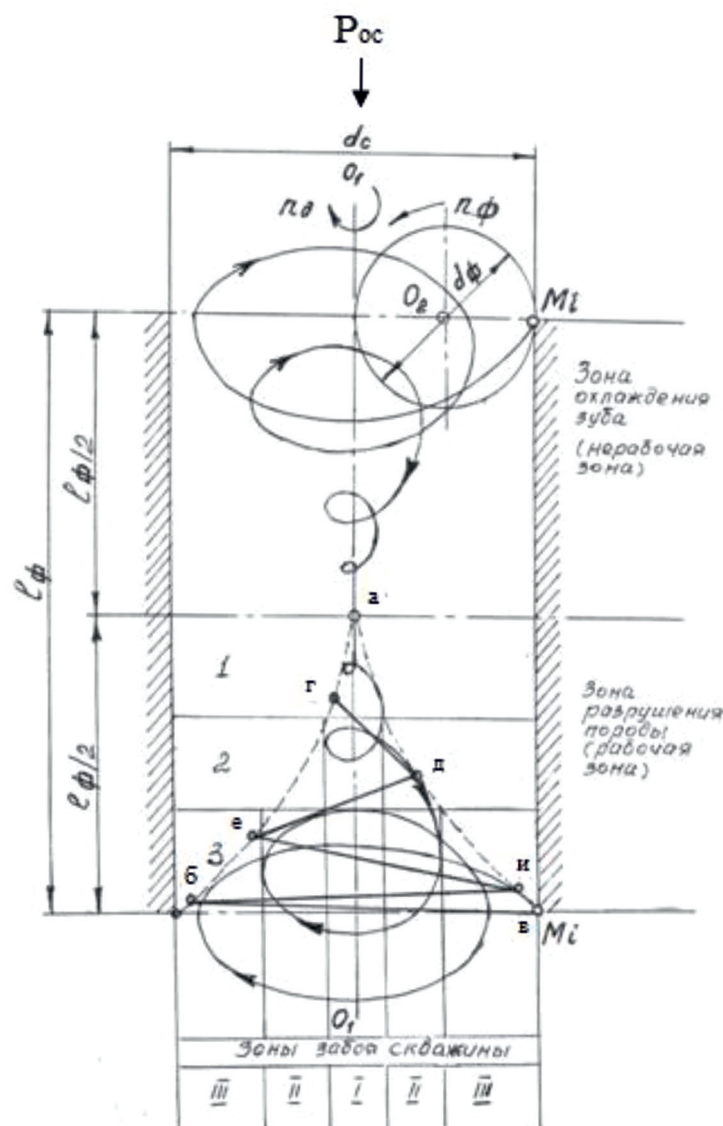


Рис. 3. Работа зуба зубчато-дисковой фрезы

За один оборот долота каждый зуб зубчато-дисковой фрезы проходит путь l_ϕ . При одновременном участии в двух движениях (поступательное и вращательное) зубчато-дисковая фреза образует две зоны разрушения (рабочая зона и зона охлаждения) [2] (рис. 3), в которых попеременно оказываются зубья 1–30 (см. рис. 2). Разрушая породу, зуб зубчато-дисковой фрезы создает сектор разрушения а–б–в (см. рис. 3), который по условиям режимов разрушения можно разделить на три участка [2]. На первом участке отмечаются минимальные значения окружной скорости зуба $V_{окр}$ (м/мин) и горизонтальной составляющей P_r (кН), результирующего усилия P_r . На этом участке происходит разрушение центральной

части забоя (зона забоя I). Второй участок характеризуется средними значениями $V_{окр}$ (м/мин) P_r (кН) и вертикальной составляющей P_v (кН), результирующего усилия P_r . На этом участке происходит разрушение средней части забоя (зона забоя II). На третьем участке наблюдаются максимальные значения $V_{окр}$ (м/мин), P_r (кН) и минимальные значения P_v (кН), результирующего усилия P_r . На этом участке происходит разрушение периферийной части забоя (зона забоя III).

Определение составляющих результирующего усилия P_r (кН) при перемещении зуба фрезы по сектору разрушения возможно по выражениям [2]:

$$P_v = P_r \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

$$P_r = P_v \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

где P_v – вертикальная составляющая результирующего усилия, кН; P_r – горизонтальная составляющая результирующего усилия, кН; α – угол между вертикальной осью скважины и касательной к траектории движения зуба на конкретном участке сектора разрушения, град.

Результирующее усилие P_p (кН) в момент начала разрушения породы можно определить по формуле [2]:

$$P_p = P_{oc} / (N_h \cdot \beta), \quad (3)$$

где N_h – количество зубьев зубчато-дисковой фрезы, одновременно участвующих в разрушении породы: $N_h = N \cdot \frac{2}{5}$; β – число зубчато-дисковых фрез, установленных на долоте.

Для долота ДРДФ-244,5-2 с тремя зубчато-дисковыми фрезами и двумя рядами твердосплавных зубков N , установленных на каждой зубчато-дисковой фрезе, учитывая, что угол α при перемещении по сектору разрушения изменяется от 0 до 90°.

Значения составляющих результирующего усилия P_v и P_r и средней окружной

скорости зуба $V_{окр}$ на участках сектора разрушения породы приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что в центральной зоне забоя скважины зуб фрезы работает с преобладанием вертикального перемещения и горизонтального перемещения с наибольшей окружной скоростью в периферийной зоне забоя скважины.

Для определения ориентировочных значений осевых усилий P_{oc} (кН) воспользуемся зависимостью [7]:

$$P_{oc} = (0,6 - 0,8) \cdot f \cdot d_d \cdot 10^3, \quad (4)$$

где f – коэффициент крепости горной породы; d_d – диаметр долота, см.

Расчеты ориентировочных значений осевых усилий для горных пород с коэффициентом крепости $f = 2-14$ представлены в табл. 2.

Таким образом, при выборе геометрических параметров породоразрушающих элементов долота необходимо учитывать условия работы зуба в забое скважины, характеризующиеся изменением скоростных и силовых режимов бурения.

Таблица 1

Значения P_v , P_r и $V_{окр}$ зуба фрезы долота ДРДФ

Зоны забоя скважины	Участки траектории движения зуба	α , град	P_v , кН	P_r , кН	$V_{окр}$, м/мин
I	а–г	10	2,99	0,52	5,6
II	г–д	45	2,2	2,17	21,8
	д–е	75	0,79	2,96	38,3
III	е–и	80	0,52	2,99	55,1
	и–б	85	0,27	3,05	70,7
	б–в	88	0,11	3,06	76,3

Таблица 2

Зависимость осевого усилия от коэффициента крепости горных пород f

f	2	4	6	8	10	12	14
P_{oc} (кН)	34,23	68,46	102,69	136,92	171,15	205,38	239,61

Таблица 3

Расчетные кинематические и режимные параметры долот ДРДФ

Степень крепости пород	f	Скорость бурения $V_с$		h , мм/об	n_{ϕ} , об/мин при $d_{\phi} = 0,117$ м	n_d/n_{ϕ}	V_{ϕ}/n_{ϕ}
		м/ч	м/мин				
Мягкие и довольно мягкие	2	130	2,16	0,00485	5,88	25,5	0,367
Средние	4	100,4	1,67	0,00465	4,56	26,3	0,367
Средние и довольно крепкие	6	85,9	1,43	0,00442	3,89	27,8	0,367
Крепкие	8	68,7	1,15	0,00424	3,13	28,7	0,367
	10	44,4	0,74	0,00374	2,01	32,8	0,367
	12	25,75	0,43	0,00298	1,17	41	0,367
	14	14,3	0,24	0,00221	0,65	55,4	0,367

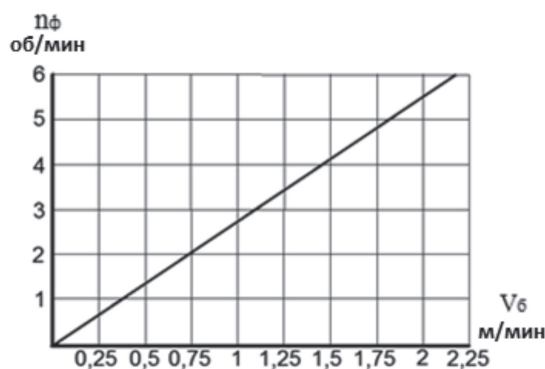


Рис. 4. Зависимость n_ϕ об/мин от V_b м/мин

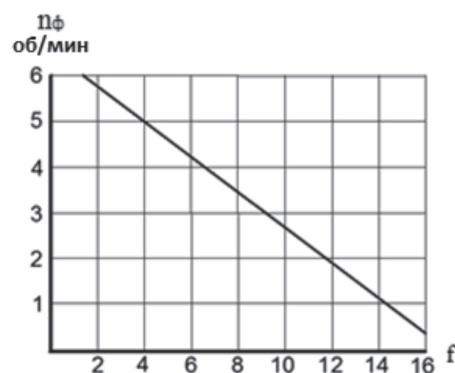


Рис. 5. Зависимость n_ϕ об/мин от f

Характерной чертой кинематики долота ДРДФ является то, что окружная скорость $V_{окр}$ (м/мин) зубчато-дисковой фрезы почти равна скорости бурения V_b (м/мин). Исходя из этого можно сделать вывод, что частота вращения зубчато-дисковой фрезы n_ϕ (об/мин), пропорциональна V_b (м/мин).

Частоту вращения зубчато-дисковой фрезы n_ϕ (об/мин), с учетом работы [6], можно определить по формуле

$$n_\phi = \frac{V_b \cdot K_d}{\pi \cdot d_\phi}, \quad (5)$$

где V_b – скорость бурения м/мин; d_ϕ – диаметр зубчато-дисковой фрезы, м; K_d – коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление в опоре зубчато-дисковой фрезы, $K_d = 1,2 \div 1,5$.

В табл. 3 даны расчетные кинематические и режимные параметры долот ДРДФ-244,5-2 при бурении взрывных скважин в породах различной категории.

Из табл. 3 следует, что с увеличением крепости горных пород скорость бурения V_b и глубина внедрения фрезы за один оборот h снижаются. Это обстоятельство особенно характерно для пород с коэффициентом крепости $f=8$. Так, при изменении коэффициента крепости с $f=2-6$ V_b (м/мин) уменьшается на 20–25%, а при коэффициенте крепости $f=7-14$ – уменьшается до 30%.

По данным табл. 3 построены зависимости изменения скорости вращения зубчато-дисковой фрезы n_ϕ от скорости бурения V_b и крепости горных пород (рис. 4, 5).

Из рис. 4, 5 видно, что для крепости $f=10$ рациональными значениями n_ϕ являются $2 \text{ об/мин} \leq n_\phi \leq 3 \text{ об/мин}$.

Выводы

1. Обоснованы режимные параметры долот режуще-вращательного действия с многорядным вооружением с учетом особенностей их кинематики.

2. Долота ДРДФ с многорядным вооружением расширяют область применения бурового инструмента режуще-вращательного действия с коэффициента крепости $f=2-6$ до $f=8-10$.

Список литературы

1. Гилев А.В., Бовин К.А., Шигин А.О., Белозеров И.Р. Анализ проходки шарошечных долот в условиях Олимпиадинского ГОКа ЗАО «ПОЛЮС» // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20398> (дата обращения: 03.05.2017).
2. Механическое оборудование карьеров: Учеб. для вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. Р.Ю. Подэрни. – М.: Издательство «Майнинг Медиа Групп», 2013. – 593 с.
3. Буткин В.Д., Минеев А.В., Васильев С.И. Развитие конструкций новых видов шарошечных долот для бурения в осложненных горно-геологических условиях // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 3. – С. 45–48.
4. Пятова И.Ю. Обоснование и выбор рациональных параметров трансмиссий гидрообъемных приводов основных механизмов карьерного бурового станка [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Пятова Ирина Юрьевна. – М., 2016. – 143 с.
5. Шигин А.О. Методология проектирования адаптивных вращательно-подающих органов буровых станков и технологий их применения в сложноструктурных породных массивах [Текст]: дис. ... док. техн. наук / Шигин Андрей Олегович. – Красноярск, 2015. – 355 с.
6. Страбыкин Н.Н., Коледин Ю.М., Долгун Я.Н., Шевченко А.Н. Режущие долота для бурения взрывных скважин на карьерах со шнековой очисткой и продувкой // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 5. – С. 2–14.
7. Страбыкин Н.Н., Коледин Ю.М., Горячкин В.М., Красноштанов С.Ю., Шевченко А.Н. Перспективы эффективного применения станков вращательного бурения в сложных горно-геологических условиях и суровых климатических условиях карьеров Сибири и Севера // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 12. – С. 11–15.
8. Решение о выдаче патента №2016129831/03 Российской Федерация. МПК E21B 10/10, 10/12, 10/16. Буровое долото режуще-вращательного типа / К.А. Бовин, А.В. Гилев, В.Т. Чесноков, И.Р. Белозеров и др. – заявл. 20.07.2016. Решение от 26.07.2017.
9. Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях: монография / А.В. Гилев, А.О. Шигин, В.Т. Чесноков, И.Р. Белозеров. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 372 с.
10. Ковалев А.Г. Научн. Рук. Гилев А.В. Исследование кинематики движения долота ДРДФ-244,5-2: дипломная работа. – Красноярск, 2017. – 73 с.