

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ БУРОВЫХ СТАНКОВ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

***Эгамбердиев Илхом Пулатович, **Муминов Рашид Олимович.**

*доктор технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
Навоийский государственный горный институт

**кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
Навоийский государственный горный институт

Аннотация: В работе рассмотрено конструкций и технические характеристики зарубежных буровых станков. А также показан сопоставительный анализ основных параметров массы, мощность и теоретическая производительность различных типоразмеров карьерных буровых станков.

Ключевые слова: Буровой станок, шарошечное бурение, энерговооруженность, энергоемкость, конструкция, рабочего оборудование.

ХОРИЖИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРУВЧИЛАРНИНГ КАРЬЕР БУРҒИЛАШ ДАСТГОҲЛАРИ КОНСТРУКЦИЈЛАРИНИ ЗАМОНАВИЙ ҲОЛАТИНИ ТАҲЛИЛИ ВА ТАДҚИҚОТИ

Эгамбердиев Илхом Пулатович, Муминов Рашид Олимович.

Annotatsiya: Maqolada xorijiy burg'ilash dastgohlarining konstruksiyalari va texnik xarakteristikalari ko'rib chiqilgan. Shuningdek har xil tipli o'lchamdagi kar'yer burg'ilash dastgohlarining asosiy o'g'irlik parametrlari, quvvati va nazariy unumdorligi qiyosiy tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: Burg'ilash dastgohi, sharoskali burg'ilash, quvvatlanirish manbai, energiya intensivligi, konstruksiya, ishchi uskunalari.

RESEARCH AND ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF STRUCTURES OF MINING DRILLING RIGS OF FOREIGN MANUFACTURERS

Egamberdiyev Ithom Pulatovich, Muminov Rashid Olimovich.

Abstract: The article discusses the designs and technical characteristics of foreign drilling rigs. It also shows a comparative analysis of the main parameters of mass, influence and theoretical productivity of various standard sizes of open-pit drilling rigs.

Key words: Drilling rig, roller cone drilling, power-to-weight ratio, power consumption, design, working equipment.

За рубежом буровые станки вращательного бурения выпускаются преимущественно фирмами: «Атлас Копко» («Atlas Copco»), «Ингерсолл-Ранд» («Ingersoll-Rand»), «Бюсайрус-Ири» («Bucyrus-Erie»), «Тамрок-Дрилтех» («Tamrock-Driltech»), «Харнишфегер» («Harnischfeger P.&H») и некоторыми другими. Ими созданы станки вращательного бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром до 560мм.

Современный зарубежный буровой станок – высокотехнологичное изделие, в котором широко используются комплектующие узлы специализированных изготовителей, в частности: гусеничное оборудование от фирм «Caterpillar» и «Intertrac», компрессоры от «Atlas Copco», «Gardner-Denver», «Ingersoll-Rand», системы гидропривода от «Denison», «Mannesmann-Rexroth», «Schroeder», «Vickers», «Vane», дизели от «Caterpillar», «Cummins», «Komatsu», «GM» и др. [1,2,5,7,8].

В современных моделях наблюдается устойчивая тенденция гидрофикации

основных приводов, требуют сложных и дорогих в эксплуатации систем управления.

Гидрофицированные станки имеют преимущественно дизельный первичный двигатель, который может быть заменен по требованию заказчика электрическим. Дизельные станки не зависят от карьерной электрической сети, обладают мобильностью и маневренностью, что в ряде случаев обеспечивает существенную экономию эксплуатационных затрат и более высокую техническую производительность (в среднем на 10–15%) за счет сокращения затрат времени связанных с переносом коммуникаций электроснабжения.

Конструкции рабочего оборудования станков (мачт и вращательно-подающих механизмов) у различных фирм имеют некоторые отличия, однако мачты станков всех фирм выполняются с открытой передней панелью и, как правило, с верхним расположением вращателя, за исключением единичных моделей имеющих роторный нижний вращатель. Привод вращения на гидрофицированных станках осуществляется через редукторы от аксиально-поршневых гидромоторов. Подачи - либо от гидроцилиндров с цепными или канатными полиспастами. Наиболее популярными производителями универсальных буровых станков являются фирмы «Atlas Copco» и «Tamrock-Driltech». Основные тенденции в создании станков этих фирм – применение единого первичного двигателя (дизеля или высоковольтного электродвигателя) приводящего в действие компрессор и насосную станцию.

Фирма «Atlas Copco» – правопреемник и собственник с 2002г ранее широко известной фирмы «Ingersoll–Rand», выпускает семейство по полностью гидрофицированных станков (табл. 1.1). В каталогах фирмы 9 моделей станков, от легкого DM30 массой 28т до тяжелого «Pit Viper 351» массой 169т (рис. 1). [1,2,3,4,5,6,8].

Сопоставительный анализ (рис. 2) различных типоразмеров карьерных буровых станков с учетом их основных параметров (массы – G ; установленной мощности силовой установки – N_y ; теоретической производительности – V) выполненный по критериям:

– **энерговооруженности** – N_y/G , ($кВт/Т$) – отношению установленной мощности – N_y силовой установки бурового станка к его весу - G ;

– **энергоемкости бурения** взрывной скважины – N_y/V , ($кВт/м^3/ч$) отношению установленной мощности – N_y силовой установки бурового станка к его паспортной объемной производительности – V , свидетельствует, что в диапазоне диаметров взрывных скважин от 214 до 270 мм наибольшей энерговооруженностью и энергоемкостью бурения обладают буровые станки с вращательно – подающим механизмом шпиндельной схемы, в то время как буровые станки с вращательно – подающим механизмом патронного типа при низкой энерговооруженности имеет значительно меньшую энергоемкость бурения.

Техническая характеристика станков вращательного бурения скважин фирмы «Atlas Copco»

Таблица 1.1

Наименование показателей	DM-30	DM-45/50	DML	DM-M2	DM-M3	PV- 271	PV- 351
Диаметры бурения, мм	130- -171	127- -171	152- -270	251- -270	251- -311	200- -270	270- -410
Глубина бурения, м: одной штангой максимальная	9,1; 15,2	9,1; 55/45	9,1; 10,7 55,0	10,7; 53,3	12,2 48,8	6,8;12,2 60;	19,8 55,0
Скорость хода, км/ч	0-4,0	0-3,2	0-2,7	0-1,9	0-1,8		
Ходовая часть	CAT- D4	CAT 320L	CAT 330S	CAT 320E	CAT 350	CAT 345L	CAT 375L
Рабочий вес, т	23,7	28,2	49,0	60,7	104,4	80	169

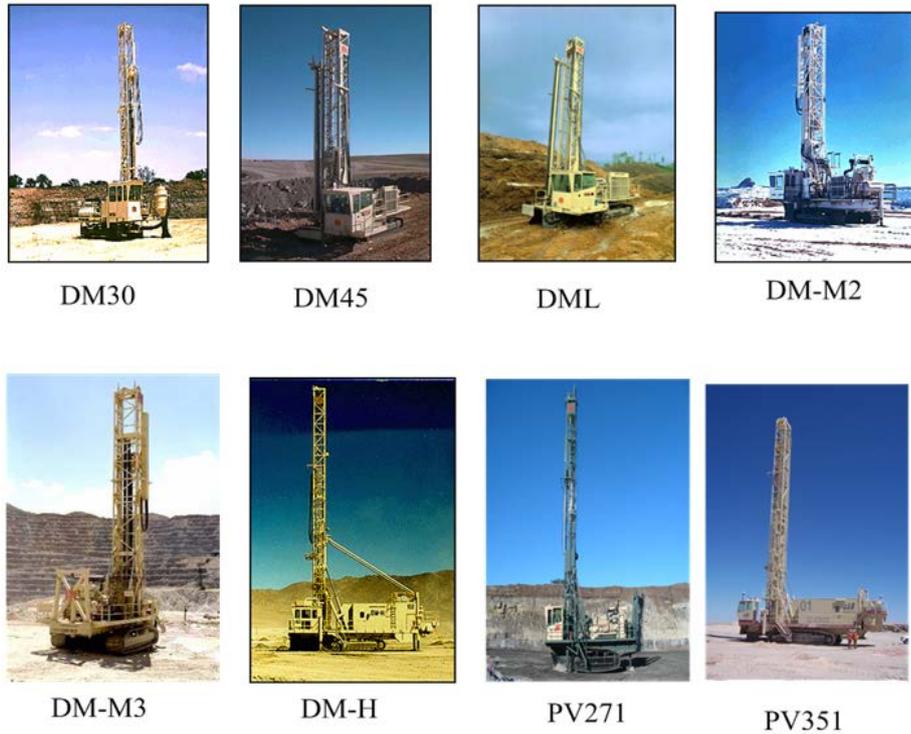


Рис. 1 – Станки фирмы «Атлас Копко»

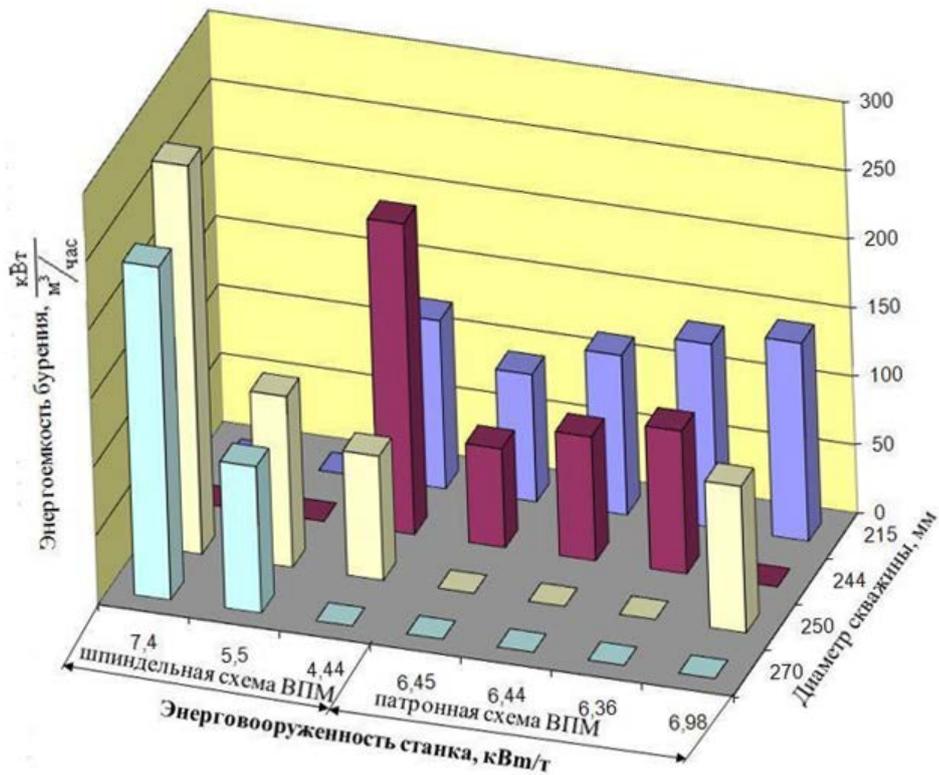


Рис. 2 – Сопоставительный анализ конструкций буровых станков по критериям энерговооруженность станка и энергоемкость бурения

Максимально допустимое усилие нагружения долота – $P_{остат}$, для бурения вертикальных и наклонных скважин (рис. 3а) буровыми станками моделей СБШ -250 и СБШ – 270 может быть определено из уравнения моментов относительно точки «О» которое имеет вид:

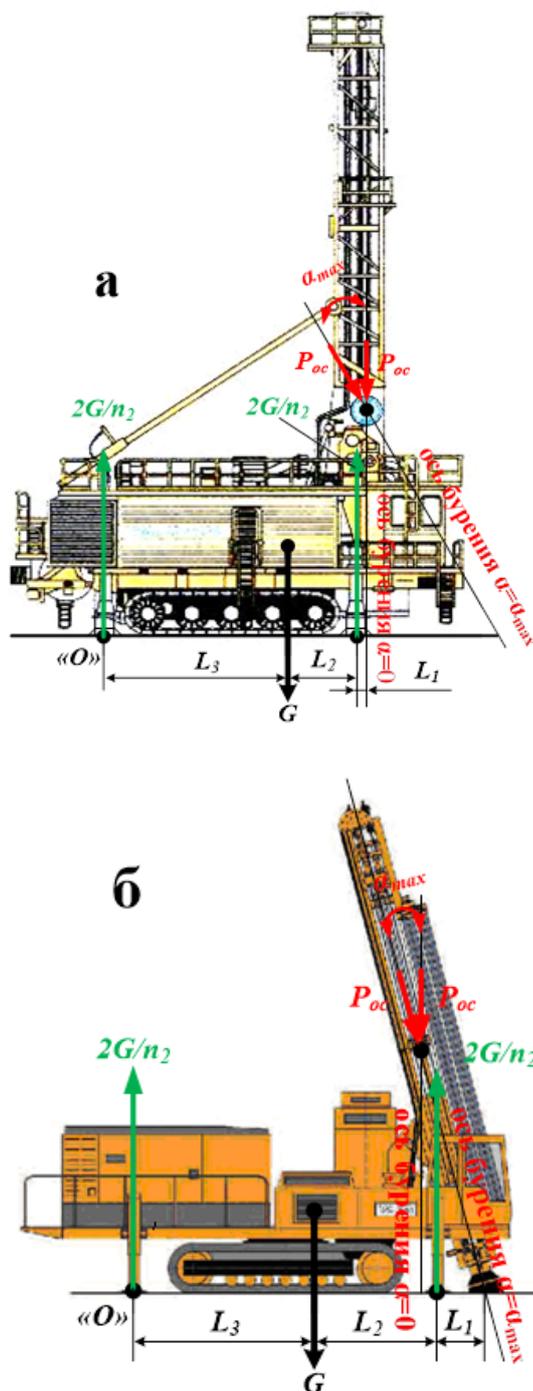


Рис. 3 – Схема сил действующих на раму бурового станка при бурении наклонных вертикальных скважин станками моделей: а – СБШ – 250 и СБШ – 270; б – СБШ – 200

$$P_{oc} (L_1 + L_2 + L_3) / \cos \alpha - 2Gk_n(L_2 + L_3) / n = 0 \quad (1.1)$$

откуда реакция на долоте составит:

$$P_{oc} = \frac{2G}{n} \frac{k_n(L_2 + L_3)}{L_1 + L_2 + L_3} \cos \alpha, \text{ Н} \quad (1.2)$$

где: P_{oc} – осевое усилие на долото, Н;

G – масса станка, кг;

L_1, L_2, L_3 – плечи приложения реакций от силы веса станка, м;

α – угол наклона мачты от вертикали, град;

n_a – число аутригеров системы горизонтирования станка, ед;

k_n – коэффициент неравномерности нагружения аутригеров, при $n = 3$ $k_n = 1.2$, при $n = 4$ $k_n = 1.25$.

Максимально допустимое усилие нагружения долота – P_{ocmax} , для бурения вертикальных и наклонных скважин (рис. 3б) буровыми станками моделей СБШ – 200 может быть определено из уравнения моментов относительно точки «О» которое имеет вид:

$$P_{oc} (L_3 + L_2 - 2L_1) / \cos \alpha - Gk_n (L_2 + L_3) / n = 0 \quad (1.3)$$

откуда реакция на долоте составит:

$$P_{oc} = \frac{G}{n} \frac{k_n (L_2 + L_3)}{L_3 + L_2 - 2L_1} \cos \alpha, \text{ Н} \quad (1.4)$$

Массовые, конструктивные и линейные параметры буровых станков приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Модель станка СБШ	Вес станка, т, (G)	Число аутригеров	Плечи приложения реакций от силы веса станка, м			Осевая сила: от системы подачи/ максимально допустимая на долото, т (P_{oc}/P_{ocmax})	
			L ₁	L ₂	L ₃	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 30^0$
200	54,0	3	0,90	2.926	5.853	<u>27.168</u>	<u>23.528</u>
	55,0	3				20	20
	59,0	3				<u>27.672</u>	<u>23.964</u>
	62,0	3				20	20
250	90,0	4	1,02	1,563	3,126	<u>46.198</u>	<u>40.007</u>
	100	4				32,5	32,5
						<u>51.331</u>	<u>44.452</u>
						32,5	32,5
270	135	4	2,80	2.450	4.900	<u>61.095</u>	<u>52.908</u>
						40	40

Анализ результатов приведенных в таблице 1.2 свидетельствует, что максимально допустимая величина осевой нагрузки на долото – P_{ocmax} , обеспечиваемая весом модификаций буровых станков:

– уменьшается с увеличением увода оси бурения от вертикального положения. При наклонном бурении увод оси бурения от вертикального положения (L_1) тем больше, чем выше ось наклона мачты от рамы станка;

– СБШ – 200 (паспортный вес модификаций: 54; 55; тонн) дает возможность бурить вертикальные и наклонные скважины с переделом прочности породы при одноосном сжатии $[\sigma_{сж}] = 14,28$ МПа с максимальным диаметром в $[D] = 200$ мм при ограничении осевого усилия до $[P_{oc}] = 200$ кН с предельной частотой вращения долота – $[n_{вр}] = 70$ об/мин [4];

– СБШ – 200 (паспортный вес модификаций: 59;62 тонн) дает возможность бурить вертикальные скважины с переделом прочности породы при одноосном сжатии $[\sigma_{сж}] = 16$ МПа с максимальным диаметром в $[D] = 250$ мм при ограничении осевого усилия до $[P_{oc}] = 280$ кН с предельной частотой вращения долота – $[n_{вр}] = 60$ об/мин [74] и наклонные скважины с переделом прочности породы при одноосном сжатии $[\sigma_{сж}] = 14,28$ МПа с максимальным диаметром в $[D] = 200$ мм при ограничении осевого усилия до $[P_{oc}] = 200$ кН с предельной частотой вращения долота – $[n_{вр}] = 70$ об/мин [4];

– СБШ – 250 (паспортный вес модификаций 90 и 100 тонн) бурового станка дает

возможность бурить вертикальные и наклонные скважины с переделом прочности породы при одноосном сжатии до $\sigma_{сж}=17,25$ МПа с максимальным диаметром в $[D] = 269,9$ мм, при предельной частоте вращения долота – $n_{вр} = 55$ об/мин [4];

– СБШ – 270 (паспортный вес 135 тонн) бурового станка дает возможность бурить вертикальные и наклонные скважины с переделом прочности породы при одноосном сжатии до $\sigma_{сж}=18,4$ МПа с максимальным диаметром в $[D] = 311/320$ мм, при предельной частоте вращения долота – $n_{вр} = 50$ об/мин [4];

Что касается модификаций бурового станка СБШ – 200 паспортный вес модификаций: 54; 55 тонн, то здесь следует отметить, вертикальных и наклонных скважин и машин с паспортным весом 59; 62, что бурение долотами диаметром 250 мм может быть осуществлено на породах с меньшим значением передела прочности.

Для уяснения зависимости величины передела прочности породы при одноосном сжатии – $\sigma_{сж}$ от величины осевой нагрузки на долото – $P_{ос}$, воспользуемся критерием подобия:

$$\frac{\sigma_{сжi}}{[\sigma_{сж}]} = \frac{P_{осi}}{D_i} \Big/ \frac{[P_{ос}]}{[D]} \quad (1.5)$$

где $P_{осi}$ – i -тое осевое усилие на долото, Н;

D_i – диаметр i -того долота, м;

$\sigma_{сжi}$ – передел прочности i -той породы при одноосном сжатии, Па;

Из равенства (1.5) имеем:

$$\sigma_{сжi} \leq \frac{[D] P_{\alpha=\alpha_j}}{D_i [P_{ос}]} [\sigma_{сж}], \text{ Па} \quad (1.6)$$

где $P_{\alpha=\alpha_j}$ – осевая нагрузка, на долото обеспечиваемая весом станка при j -том угле наклона его мачты, Н, $\alpha_j = 0^0, 5^0, 15^0, 30^0$

Результаты расчетов предела прочности породы – $\sigma_{сжi}$ при $[D] = 200$ мм, $[\sigma_{сж}] = 14,28$ МПа и $[P_{ос}] = 200$ кН для осевой нагрузки на долото при j -том угле наклона мачты станка приведены в таблице 1.3

Таблица 1.3

Вес типоразмера бурового станка СБШ – 200, т	Осевая сила на долото обеспечиваемая весом станка, т ($P_{\alpha=\alpha_j}$)		Предел прочности породы, МПа ($\sigma_{сжi}$)	
	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 30^0$	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 30^0$
54	27,168	23,528	15,517	13,438
55	27,672	23,964	15,806	13,688
59	29,684	25,706	16,000	14,683
62	31,193	27,013	16,000	15,429

Анализ данных таблицы 1.3 свидетельствует, что:

– осевая нагрузка на долото от веса станка СБШ – 200 для модификаций с весом 54,55,59,62 при угле наклона мачты в 30^0 может обеспечить бурение взрывных скважин долотом с диаметром 250 со значительно меньшим пределом прочности породы, чем бурение долотом диаметром 200 мм;

– для модификаций с весом 59,62 при вертикальном положении мачты может обеспечить бурение взрывных скважин долотом с диаметром 250 с номинальной

прочности породы в 16 МПа.

Далее, для выявления вида аналитической зависимости между осевым усилием на долото и частотой его вращения примем следующие допущения:

– эквивалентная нагрузка на подшипники долота прямо пропорциональна осевой нагрузке на долото;

– коэффициент неравномерности распределения нагрузки между подшипниками долота принимаем равным единице.

Критерием работоспособности роликоподшипников опоры шарошки долота является их ресурс [5,6,7,8]. Ресурс долота до предельного состояния определяется долговечностью его подшипников – L_h , которая составляет величину:

$$L_h = \frac{10^6}{60n_{ep}} \left(\frac{G_d}{P_{oc}} \right)^r, \text{ ч} \quad (1.7)$$

где G_d – каталожная динамическая грузоподъемность роликоподшипника, Н;

r – показатель степени, составляющий величину для роликоподшипников $r=10/3$ [5].

В соответствии с принятыми допущениями и с учетом того, что значения величин проходки на долото до предельного состояния его подшипников равны, для каждой шарошки долота имеем: $L_h = \text{const}$, $G_d = \text{const}$. Или

$$\frac{1}{[n_{ep}] [P_{oc}]^r} = \frac{1}{n_{ep} P^r_{\alpha=\alpha_j}} \quad (1.8)$$

После соответствующих алгебраических преобразований уравнения (1.8) имеем зависимость между осевым усилием на долото и частотой его вращения:

$$n_{ep} = \left(\frac{[P_{oc}]}{P_{\alpha=\alpha_j}} \right)^r [n_{ep}], \text{ об/мин} \quad (1.9)$$

Результаты расчетов частот вращения долот – n_{epi} диаметром 250 мм для осевой нагрузки на долото при j -том угле наклона мачты при условии что максимальная частота вращения долота обеспечиваемая вращателем бурового станка типа СБШ – 200 равна $n_{ep \max} = 120$ об/мин приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Вес типоразмера бурового станка СБШ – 200, т	Осевая сила на долото обеспечиваемая весом станка, т ($P_{\alpha=\alpha_j}$)		Частота вращения долота - $[n_{ep}]$, об/мин при допустимом усилии - $[P_{oc}]$, т	
			60/28	
	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 30^0$	$\alpha = 0^0$	$\alpha = 30^0$
54	27,168	23,528	66	107
55	27,672	23,964	62	101
59	29,684	25,706	60	80
62	31,193	27,013	60	68

Анализ данных приведенных в таблицах 1.3 и 1.4 свидетельствует, что бурение взрывных скважин станками СБШ – 200 различных модификаций долотом диаметром 250, несмотря на снижение предела прочности буримой породы – $\sigma_{сжi}$ может, осуществляется без потери их производительности за счет увеличения частоты вращения долота – n_{epi}

Вывод

Таким образом, сопоставительным анализом основных параметров (массы – G ; установленной мощности силовой установки – N_y ; теоретической производительности – V) различных типоразмеров карьерных буровых станков установлено, что в диапазоне диаметров взрывных скважин от 214 до 270 мм наибольшей энерговооруженностью и энергоемкостью бурения обладают буровые станки с вращательно – подающим механизмом шпиндельной схемы, в то время как буровые станки с вращательно – подающим механизмом патронного типа при низкой энерговооруженности имеет значительно меньшую энергоемкость бурения.

Список литературы:

1. Муминов Р.О. Обоснование и выбор динамических параметров вращательно-подающего механизма карьерного бурового станка. Диссертация канд. техн. наук, Москва 2012, 115 с
2. Подэрни Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 680 с.: ил. (ГОРНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ) ISBN 978-5-7418-0467-4 (в пер.)
3. Л.И. Кантович, С.В. Козлов, Р.О. Муминов. Обоснование и выбор параметров вращательно – подающего механизма карьерного бурового станка // ГИАБ, № 5, М.: изд-во «Горная книга», 2011. – С. 225 – 229.
4. Л.И. Кантович, Р.О. Муминов, И.П. Эгамбердиев. Выбор рациональных жесткостных параметров вращательно – подающего механизма карьерного бурового станка // Горный Вестник Узбекистана, № 1 (44), Ташкент, ДП «Poli Press» март 2011. – С. 116 – 119.
5. Л.И. Кантович, Р.О. Муминов. Обоснование и выбор жесткостных параметров виброзащитного вращательно – подающего механизма карьерного бурового станка // Сборник докладов 7 – й Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». М.: Изд – во ИПКОН РАН, 2010. – С. 255 – 258.
6. Л.И. Кантович, Р.Ю. Подэрни, Р.О. Муминов. Влияние параметров вращательно – подающего механизма бурового станка на его производительность // ГИАБ, № 11, М.: изд-во «Горная книга», 2010. – С. 396 – 399.
7. I.P. Egamberdiev¹, L. Atakulov², R.O. Muminov³, Kh.Kh. Ashurov⁴ Research of Vibration Processes of Bearing Units of Mining Equipment. Volume 9, No.5, September - October 2020 International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering Available Online at <http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijatcse125952020.pdf> <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/125952020>
8. Muminov R.O., Boynazarov G. G. Analysis of dynamic and hardness parameters rotation and feeding systems of the drilling rig. SOI: 1.1/TAS DOI: 10.15863/TAS International Scientific Journal Theoretical & Applied Science p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online) Year: 2020 Issue: 11 Volume: 91 Published: 05.11.2020 <http://T-Science.org>.

Эгамбердиев Илхом Пулатович - texnika fanlari doktori, Navoiy davlat konchilik instituti “Mashinasozlik texnologiyasi” kafedrasida dotsenti, Tel.: +998936124560 (с), E-mail: rashid81@mail.ru

Муминов Рашид Олимович – texnika fanlari nomzodi, Navoiy davlat konchilik instituti “Mashinasozlik texnologiyasi” kafedrasida dotsenti, Tel.: +998935810028 (с), E-mail: rashid81@mail.ru