

Султаналиев Б.С., Абсаматов Э.Н.

УДК 622.24

ЖЕЛУРГУЧТАР МЕНЕН ЖАРДЫРУУЧУ КУЯЛАРДЫ БУРГУЛОО БОЮНЧА ХРОНОМЕТРИЯЛЫК БАЙКООЛОР ЖАНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫК ИЗИЛДӨӨЛӨР

ХРОНОМЕТРАЖНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОГРУЖНЫХ ПНЕВМОУДАРНИКОВ

CHRONOMETRY OBSERVATIONS AND EXPERIMENTAL STUDIES OF DRILLING BLAST WELLS USING SUBMERSIBLE AIR HAMMERS

Султаналиев Б.С., Абсаматов Э.Н.

Sultanaliev B.S., Absamatov E.N.

Сокку-айлантуу ыкма менен буроочу агрегаттардын иши боюнча жүргүзүлгөн хронометраждык байкоолордун жыйынтыктары каралып, талданды. изилдөө *Sandvik Leopard DI650* (Финляндия) жана *Zega D480A* (Кытай Эл Республикасынан) маркаларындагы желургучтуу буроочу агрегаттарга байланыштуу болуп, алар тоо шарттарында жардыруучу куяларды буроодо колдонулган. Жогорку тоолуу шарттарда буроочу агрегаттардын механикалык буроо ылдамдыгы жана сменалык өндүрүмдүүлүгү аныкталды. Жардыруучу куяларды буроо өндүрүшүнүн шарттарын негиздөө учун кен-геологиялык өзгөчөлүктөрө, тоо массивинин түзүлүшүнө, минералогиялык курамына жана Джеруй кенинин тоо тектеринин механикалык касиеттерине талдоо жүргүзүлдү. Буроочу агрегаттардын өндүрүмдүүлүгү боюнча айлык борттук журналдардагы байкоо маалыматтары талданды. Хронометраждык байкоолордун жана эсептөөлөрдүн негизинде Кыргыз Республикасынын жогорку тоолуу шарттарында буроочу агрегаттарды колдонуу натыйжалуулугу боюнча тыянактар чыгарылды.

Рассмотрены и проанализированы результаты хронометражных наблюдений за буровыми агрегатами *Sandvik тина Leopard DI650* (Финляндия) и *Zega D480A* (КНР) ударно-вращательного бурения с погружными пневмоударниками при бурении взрывных скважин в условиях высокогорья. Установлены механическая скорость бурения и сменная производительность при высокогорных условиях эксплуатации буровых агрегатов. Для обоснования условий производства бурения взрывных скважин проведён анализ горно-геологических характеристик, строения массива, минералогического состава и механических свойств горных пород Джеруйского

месторождения. Проанализированы данные бортового журнала наблюдений за производительностью буровых агрегатов по месяцам. На основании хронометражных наблюдений и расчётов сделаны выводы об эффективности применения буровых агрегатов в условиях высокогорья Кыргызской Республики.

The results of time-study observations of percussive-rotary drilling rigs equipped with down-the-hole hammers Sandvik Leopard DI650 2 (Finland) and Zega D480A (China) during blast hole drilling under high-altitude conditions are presented and analyzed. The mechanical drilling rate and shift productivity of the rigs operating in mountainous environments were determined. To substantiate the conditions for blast hole drilling operations, an analysis of the geological and mining characteristics, rock mass structure, mineralogical composition, and mechanical properties of the rocks at the Jerui deposit was conducted. Data from monthly onboard performance logs of the drilling rigs were also examined. Based on time-study observations and calculations, conclusions were drawn regarding the efficiency of applying drilling rigs under the high-altitude conditions of the Kyrgyz Republic.

Түйүн сөздөр: буроочу агрегат; тоо таш; таштын катаалдыгы; сокку менен айлантуу ыкмасы менен буроо, жесүрүгүч; күя; буроонун ылдамдыгы; өндүрүмдүүлүк.

Ключевые слова: буровой агрегат; горная порода; крепость породы; ударно-вращательное бурение; пневмоударник; скважина; скорость бурения; производительность.

Keywords: drilling rig; rock; rock strength; rotary percussion drilling; drill bit; pneumatic hammer; borehole; drilling speed; productivity.

Введение. Месторождение Джеруй расположено в горном массиве на высоте 3710 м над уровнем моря на территории Таласской области Таласского района в селе Кара-Ой на расстоянии 190 км от г. Бишкек и в 40 км от г. Талас. Автомобильная трасса Бишкек–Талас проходит через село Кара-Ой. Водоснабжение осуществляется из протекающей рядом с месторождением реки Чон-Чычкан. Район относится к зоне сейсмической активности в 8 баллов. Климат резко континентальный: снег выпадает в начале октября и лежит до конца мая; местами — до середины июня.

Горно-геологическое строение месторождения в основном представлено кварцевыми диоритами, пересечёнными жилами и прожилками золотоносного кварца, а также многочисленными зонами

дробления и гидротермального изменения пород, содержащими сульфидную минерализацию. Месторождение относится к зоне Сусамырского разлома. Основные разрывы на месторождении и рудном поле по всем признакам оперяют зону Сусамырского разлома. Джеруй относится к числу месторождений золотокварцевой формации. Золото приурочено к малосульфидным жилам, прожилкам и зонам метасоматического окварцевания. Кварц однородный, мелко- и тонкозернистый, местами халцедоновидный; цвет — светло-серый и серый. Крепость пород варьируется по шкале проф. М.М. Протодьяконова от 8 до 17, местами встречаются трещиноватые участки.

Месторождение Джеруй представлено массивным, крутопадающим рудным телом. Разработка ведётся комбинированным способом: верхняя часть рудного тела разрабатывается открытым способом, а основная масса руды отрабатывается подземным способом [1].

Цель исследования — определение производительности буровых агрегатов ударно-вращательного бурения с погружными пневмоударниками при бурении взрывных скважин в условиях высокогорья Кыргызской Республики.

Характеристика горных пород является одним из важных факторов; влияющих на скорость бурения; так как определяет их сопротивляемость проникновению бурового инструмента. На процесс бурения также оказывают влияние плотность; вязкость; твёрдость; абразивность и истираемость горных пород.

Основным показателем производительности буровых агрегатов является механическая скорость бурения — скорость проходки породы непосредственно буровым инструментом [2-3]. Данный показатель зависит от свойств горных пород; типа бурового инструмента и режимов бурения. Исследования процесса бурения взрывных скважин проводятся в целях оценки эффективности работы буровых агрегатов в условиях высокогорья.

Буровые работы на карьере рудника Джеруй выполняются агрегатами финской фирмы Sandvik Leopard DI650, шведской фирмы Epiroc FlexiRoc D65, а также буровым агрегатом китайского производства Zega D480A.

В период хронометражных наблюдений на карьере применялись буровые агрегаты Leopard DI650 и Zega D480A. Общий вид буровых агрегатов приведён на рисунках 1 и 2, их технические характеристики — в таблице 1.



Рисунок 1 – Общий вид бурового агрегата Leopard DI650



Рисунок 2 – Общий вид бурового агрегата Zega D480A

Таблица 1 – Техническая характеристика буровых агрегатов Leopard DI650 и Zega D480A

Параметр	Leopard DI650	Zega D480A
1. Диаметр скважины, мм	171	171
2. Диаметр буровой штанги; труб, мм	148	151
3. Тип погружного пневмоударника	RH460	GL360
4. Тип вращателя	HTRH6	DTH GL360
5. Мощность двигателя, кВт	403	410
6. Подача воздуха, м ³ /мин	28;3	30
рабочее давление до, бар	30	25
7. Обороты вращателя, об/мин	0-100	0-80
8. Макс. крутящий момент, Нм	5800	5600
9. Тип податчика	цепная	тросовая
10. Масса, кг	25100	25000

Как видно из таблицы 1, технические характеристики буровых агрегатов Leopard DI650 и Zega D480A во многом близки. Агрегаты оснащены погружными пневмоударниками: RH460 Sandvik и GL 360

Zega (DTH) соответственно. Технические характеристики пневмоударников RH460 Sandvik и GL 360 Zega приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика погружных пневмоударников RH460 Sandvik и GL 360 Zega

Параметр	RH 460-Sandvik	GL 360 Zega
1. Диаметр коронки, мм	171	171
2. Тип хвостовика	QL60	QL60
3. Ударная мощность, кВт	6,6-21	19,6
4. Рабочее давление воздуха, бар	10-25	24
5. Расход воздуха, м ³ /мин	28,3	25
6. Диаметр штанги; труб, мм	148	151
7. Длина пневмоударника, мм	1300	1250
8. Масса пневмоударника, кг	112	141,9

Приведённые в таблице 2 данные показывают, что основные показатели пневмоударников практически совпадают по ударной мощности и расходу воздуха.

Изучению процессов разрушения горных пород при бурении взрывных скважин посвящено множество исследований, однако до настоящего времени они не привели к единому представлению о механизмах разрушения горной породы при ударном и ударно-вращательном бурении, а также о качественном и количественном влиянии отдельных факторов на характер протекающих процессов. Это связано с тем, что разрушение горных пород определяется совокупностью природных, технических и технологических факторов, таких как тип используемого инструмента, энергия удара, частота ударов и т. д. [4 – 6].

При буровзрывном способе бурения взрывных скважин буровые агрегаты относятся к машинам цикличного действия. Цикл работ включает бурение и вспомогательные операции: опускание, наращивание и подъём бурового става (так как длина буровых штанг обычно меньше глубины скважины), его разборку, замену инструмента, переезд на новую скважину, центровку и установку на опору. Длительность

вспомогательных операций определяется с помощью хронометражных наблюдений. Можно считать, что суммарное время выполнения всех основных и вспомогательных операций, приходящееся на 1 м пробуренной скважины, является постоянным для данной модели бурового агрегата и определённых условий буримости пород [7–9].

В настоящее время наиболее эффективным способом бурения взрывных скважин в массиве горных пород является ударно-вращательное бурение с погружным пневмоударником, обеспечивающее минимальную энергоёмкость процесса. В последние годы на горнодобывающих предприятиях как в Кыргызской Республике, так и за её пределами (в России и других странах), активно развивается ударно-вращательное бурение с погружными пневмоударниками высокого давления (от 2,0 до 3,5 МПа) [10–16].

Отмечается также устойчивый рост числа исследований, направленных на повышение энергоэффективности и производительности буровзрывных работ. Особое внимание уделяется поиску решений для определения физико-механических свойств горных пород (прочности, трещиноватости и абразивности) в условиях эксплуатации буровой техники на реальных производственных объектах [17–23].

Методы исследования. В период хронометражных наблюдений буровые работы велись на блоке 3528-013-w (H = 3528 м). На данном участке крепость породы составляла от 8 до 12 по шкале проф. М.М. Протодьяконова. Для обоснования условий проведения буровых работ был выполнен анализ горно-геологических характеристик массива горных пород на участке хронометражных исследований.

Бурение осуществлялось при следующих параметрах:

- рабочее давление воздуха погружного пневмоударника — 1,7–1,9 МПа;
- скорость вращения штанги — 85–96 об/мин;
- подача бурового механизма осуществлялся при давлении 9,0 МПа.

Глубина скважин составляла 8,5 м. Использовались 2 буровые штанги длиной по 6 м. Бурение выполнялось буровой коронкой диаметром 171 мм.

Результаты и обсуждения. На графике рисунка 3 представлена механическая скорость бурения от глубины скважин; для двух буровых агрегатов Leopard DI650 и Zega D480A. Для определения механической скорости фиксировалось время чистого бурения.

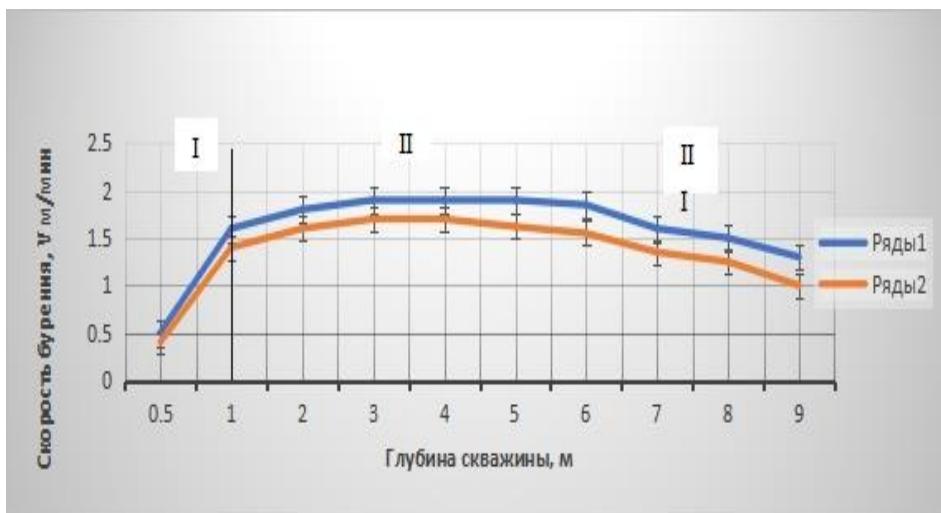


Рисунок 3 – Скорость бурения от глубины скважин
ряд 1 – Leopard DI650; ряд 2 – Zega D480A

На рисунке 3 выделяются несколько участков, соответствующих различным режимам бурения. На участке I при глубине скважины до 1,0 м режим забуривания начинается при минимальном усилии подачи. С увеличением глубины скважины увеличивается скорость бурения от 0,5 до 1,6 м/мин (для Leopard DI650) и от 0,4 до 1,4 м/мин (для Zega D480A).

Далее, на участке II, механическая скорость, достигая максимального значения, практически остается постоянной, последующее увеличение усилия подачи не приводит к росту механической скорости, механическая скорость на этом участке составляет 1,7 – 1,8 м/мин (для Leopard DI650) и 1,5 – 1,6 м/мин (для Zega D480A).

На участке III наблюдается снижение механической скорости из-за падения давления пневмосистемы на забое вследствие падения мощности погружного пневмоударника, а также бурения при

наличии шлама на забое. Механическая скорость на этом участке снижается от 1,8 м/мин при глубине бурения 6,0 м до 1,35 м/мин на глубине скважины 9,0 м (для Leopard DI650) и от 1,52 м/мин при глубине бурения 6,0 м до 1,0 м/мин на глубине скважины 9,0 м (для Zega D480A).

Если сравнивать механическую скорость буровых, то можно отметить небольшое, в 1,14...1,2 раза, превышение у бурового агрегата Leopard DI650 над Zega D480A.

С целью определения технической скорости бурения, которая включает в себя операции по разъединению и наращиванию бурового става, продувку скважины и передвижку буровой установки, проведены хронометражные наблюдения при бурении 10 скважин на глубину 8,5 м. На основании этих данных определена техническая скорость бурения буровых агрегатов. Полученные данные хронометражных наблюдений за процессом бурения на десяти взрывных скважинах приведены в таблицах 3 и 4.

Как следует из таблиц 3 и 4, техническая скорость буровых агрегатов составила:

- буровой агрегат Leopard DI650 – 0,63 м/мин или 38,2 м/ч,
- буровой агрегат Zega D480A – 0,60 м/мин или 36,05 м/ч.

Таблица 3 – Результаты хронометражных наблюдений за буровым агрегатом фирмы Leopard DI650

№ скважины	Глубина скважины; м	Время бурения; мин	Скорость бурения; м/час	Средняя скорость бурения; м/час
1	8,5	7,3	69,86	38,22
2		14	36,43	
3		22,4	22,77	
4		17,5	29,23	
5		10,4	49,28	
6		14,3	35,59	
7		12,4	41,12	
8		14,5	35,17	
9		15,2	33,55	
10		17,5	29,14	

Таблица 4 – Результаты хронометражных наблюдений за буровым агрегатом Zega D480A

№ скважины	Глубина скважины; м	Время бурения; мин	Скорость бурения; м/час	Средняя скорость бурения; м/час
1	8,5	8,4	59,29	35,9
2		24,4	20,9	
3		12,1	42,1	
4		14,2	36,0	
5		12,2	42,0	
6		15,3	33,3	
7		15,0	34,0	
8		16,5	30,9	
9		17,2	29,7	
10		16,5	30,9	

Результаты показывают, что техническая скорость буровых агрегатов Leopard DI650 и Zega D480A сопоставима, превышение составляет не более 6 %. Важным фактором, определяющим эффективность процесса бурения, является сменная производительность бурового агрегата. Сменная производительность включает в себя технологическое бурение, подготовительно-заключительные операции (перегон и установка бурового агрегата) и регламентированные перерывы (техническое обслуживание).

Для определения эксплуатационной производительности обработаны данные бортового журнала учета времени работы буровых установок Sandvik Leopard DI650 и Zega D480A.

В таблице 5 и на рисунке 4 представлены данные производительности за шесть месяцев работы буровых агрегатов.

Сменная производительность бурового агрегата Leopard DI650 составила 240,78 м/смену, а бурового агрегата Zega D480A — 240,18 м/смену.

Выводы.

Результаты хронометражных наблюдений показывают, что затраты времени на технологические операции бурения взрывных

скважин составляет 66%, а вспомогательные операции занимают до 34% от общего времени бурения.

Таблица 5 – Производительность буровых агрегатов Sandvik Leopard DI650 и Zega D480A по месяцам

№ п/п	Буровой агрегат	Месяцы, п.м.						Суммар- ная, п.м.
		1	2	3	4	5	6	
1	Leopard DI650	14420	14440	14445	14450	14466	14460	86681
2	Zega D480A	14395	14410	14410	14416	14420	14415	86466



Рисунок 4 – Производительность буровых агрегатов Leopard DI650 и Zega D480A по месяцам:
1 – Leopard DI650; 2 – Zega D480A

Данный показатель находится ниже среднего уровня эффективности буровых агрегатов. Для её повышения необходим более тщательный анализ, который позволит выявить существенные и значимые потери. Это, в свою очередь, позволит повысить эффективность использования буровых агрегатов в будущем.

Таким образом, в результате хронометражных наблюдений за буровыми агрегатами Leopard DI650 и Zega D480A и обработка бортового журнала буровых работ позволил получить показателей механической и технической скорости бурения взрывных скважин и эксплуатационную производительность.

Литература

1. Освоение месторождение Джеруй. ОАО «Восток-геодобыча». – 27 апреля 2015 г. <https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya>
2. Яковлев А.В., Шимкив Е.С., Переход Т.М. Исследование процесса бурения технологических скважин на карьерах АО «ЕВРАЗ КГОК» станками пневмоударного бурения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022, (5). – С. 121–130.
3. Опарин В.Н., Тимонин В.В., Карпов В.Н. Количественная оценка эффективности процесса разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении скважин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. –2016. –№ 6 – С. 60–74.
4. Симкин Б. А., Кутузов Б. Н., Буткин В. Д. Справочник по бурению на карьерах. — М.: Недра, 1990. — 224 с.
5. Репин А.А., Смоляницкий Б.Н., Алексеев С.Е., Попелюх А.И. Тимонин В.В., Карпов В.Н. Погружные пневмоударники высокого давления для открытых горных работ. // ФТПРПИ СО РАН, 2014. – № 5.
6. Карпов В.Н., Конурин А.И., Орлов Д.В. Опыт и перспективы применения способов исследования процессов механического разрушения горных пород // Техника и технология горного дела. – №2 (25). – С. 41–78. – DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-41-78, EDN: FKRTBM.
7. Dmitriev V. T., Timukhin S. A., Simisinov D. I., Karyakin A. L. Analysis of energy parameters of mine hoists // Gornyi Zhurnal. – 2017. – № 8. – Р. 70–72. DOI: 10.17580/gzh.2017.08.13.
8. Lou L., Chen M., Qin W., Wu W. и Rui H. Исследование синхронизационных и ударных характеристик механизма регулировки воздуха для погружных пневмоударников кластерного типа при частичных нагрузках, Shock and Vibration (2022) 2022, 17, 9794391, <https://doi.org/10.1155/2022/9794391> .
9. Жуков И.А., Смоляницкий Б.Н., Тимонин В.В. Повышение эффективности работы погружного пневмоударника путем оптимизации форм соударяющихся частей. – Журнал горных наук

- (2018) 54. – № 2. – 212–217, <https://doi.org/> 10.1134 / S1062739118023569 , 2-s2.0-85060754508.
10. Бо К., Сан С., Ху И., Ван М. Оптимизация конструкции и анализ производительности пневматического погружного пневмоударника с самоходной круглой коронкой. Удар и вибрация. (2021) 2021, 13, <https://doi.org/10.1155/2021/6653390>
 11. Бовин К. А., Гилев А. В., Шигин А. О., Плотников И. С. Анализ эксплуатации техники бурения взрывных скважин на карьерах Красноярского края и Республики Хакасии // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. – 2017. – Т. 40. – № 3. – С. 99–106.
 12. Котяшев А. А. Закономерности изменения условий и показателей эксплуатации буровзрывного комплекса на открытых горных разработках // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2018. – № 8. – С. 34–40.
 13. Васильев М. В. Влияние возрастающей глубины карьеров на эффективность горного производства // Горный журнал. – 1983. – № 2. – С. 29–33.
 14. Тангаев И. А. Буримость и взрываемость горных пород. – М.: Недра, 1978. – 184 с.
 15. Лель Ю.И., Зотов И.Г., Мартынов Н.В., Стенин Ю.В. Результаты опытно-промышленных испытаний импортных буровых станков в условиях ПАО «Ураласбест»// X Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». – Екатеринбург, 2021. – С.69–76.
 16. Fox B. Blasthole Drilling in Open Pit Mining. Atlas Copco, Stockholm, Sweden. 2011.
 17. Ишайский В. А., Васильев А. С. Ключевые особенности и проблемы при обработке, анализе и интерпретации данных по процессу бурения взрывных скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 3. – С. 16–33.

18. Кульчицкий В. В., Насери Я. С., Токарь М. С., Березовский Я. В., Демин М. Д., Шаркунов П. А., Коженов Е. С. Автоматическое распознавание операций бурения скважины // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2021. № 1 (337). – С. 18–21.
19. Сухов Р. И., Реготунов А. С., Геращенко Д. А. Развитие метода получения информации о состоянии массива горных пород в процессе бурения технологических скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 837. – С. 446–454.
20. Садовец В. Ю., Пашков Д. А. Исследование влияния формы режущей кромки ножевого исполнительного органа геохода на энергоемкость разрушения породы забоя // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – Т. 13. № 4(50). – С. 619 – 628.
21. Ишайский В. А., Мартынушкин Е. А., Васильев А. С., Смирнов С. А. Отбор данных по процессу бурения взрывных скважин при формировании баз алгоритмов машинного обучения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 4. – С. 116 –133.