ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ

УДК 622.242.27 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-5-17

Оценка эффективности и перспектив применения импортных буровых станков с дизельным приводом в условиях ПАО «Ураласбест»

Лель Ю. И.[1]*, Зотов И. Г.[2], Мартынов Н. В.[1], Стенин Ю. В.[1], Ганиев Р. С.[1]
[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
[2] Горнодобывающая компания «Ураласбест», г. Асбест Свердловской обл., Россия
e-mail: lel49@mail.ru

Реферат

Цель работы *– опытно-промышленные испытания и технико-экономическая оценка эффективности применения импортных буровых станков с дизельным приводом в условиях ПАО «Ураласбест».*

Актуальность исследований. *Характерной тенденцией развития буровых работ на карьерах Российской Федерации является замена отечественных буровых станков на импортные, в основном с дизельным приводом, имеющие ряд технических и технологических преимуществ. В связи с этим весьма актуальной является оценка эффективности и перспектив применения импортных станков в условиях ПАО «Ураласбест», крупнейшего предприятия по производству хризотил-асбеста.*

Методика проведения исследований. *При решении поставленной задачи проведен анализ опыта работы импортных буровых станков с дизельным приводом на отечественных карьерах и результатов опытно-промышленной эксплуатации станков Sandvik D50KS в условиях ПАО «Ураласбест». Экспериментально установлены механическая и техническая скорости бурения, энергоемкость и сменная производительность станков. Проведена технико-экономическая оценка эффективности применения станков Sandvik D50KS в условиях ПАО «Ураласбест» по критерию себестоимости бурения и физическому критерию «удельное действие». С использованием программного комплекса фирмы Sandvik «Production Estimate» установлена область эффективной работы станков Sandvik D50KS в зависимости от диаметра скважины и крепости пород.*

Результаты. *В результате проведенных исследований установлено, что работа импортных станков Sandvik D50KS в условиях ПАО «Ураласбест» характеризуется высокими эксплуатационными показателями по сравнению с отечественными станками СБШ. Средняя механическая скорость бурения в породах 15 категории буримости составила 34,8 м/ч, что в 3 раза выше показателей СБШ, техническая скорость бурения составила 20–22 м/ч, что в 2,0–2,5 раза выше показателей СБШ. При высокой технологической эффективности себестоимость бурения импортными станками определяется в основном двумя факторами: соотношением между стоимостью дизельного топлива и электроэнергии и курсом иностранной валюты (доллара). В настоящее время она превышает себестоимость бурения отечественными станками. В то же время по комплексному физическому критерию удельное действие станка Sandvik на 41 % эффективнее станков СБШ. Это свидетельствует о перспективности станков Sandvik при эксплуатации в условиях ПАО «Ураласбест».*

Область применения результатов. *Полученные результаты рекомендуется использовать в практике проектирования и эксплуатации буровой техники в горнотехнических условиях, аналогичных условиям ПАО «Ураласбест».*

Ключевые слова: *буровой станок; категория пород по буримости; скорость бурения; производительность; удельная энергоемкость; удельное действие; себестоимость буровых работ.*

Введение. Характерной особенностью развития буровых работ на карьерах России является замена отечественных буровых станков на импортные, в основном с дизельным приводом. Так, за последнее десятилетие на карьеры России поступило 330 буровых станков фирм Atlas Copco и Sandvik и 268 станков отечественных производителей (Рудмаш, Бузулукский завод, ИЗ-КАРТЕКС). В настоящее время в общем парке доля импортных станков составляет более 50 % [1, 2] .

Основными преимуществами импортных станков являются высокая механическая скорость бурения, обеспечивающая рост их производительности по сравнению с отечественными аналогами в 2,0–2,5 раза, а также мобильность и сокращение численности операционного персонала [3–9]. В то же время удельная стоимость бурения в расчете как на 1 пог. м, так и на 1 м^3 взорванной горной массы отечественными станками с электроприводом ниже, чем импортными, что характерно для большинства карьеров [10–14].

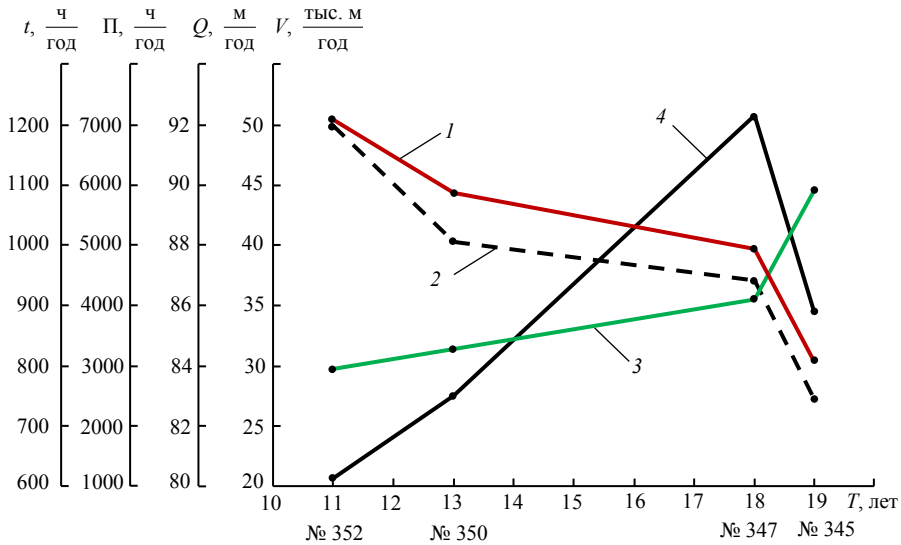

Рис. 1. Динамика показателей работы станков СБШ-250МН в зависимости от срока службы:
V – объем бурения (*1*); *Q* – производительность (*2*); П – простои по всем причинам (*3*); *t* – простои по неисправности механической и электрической части (*4*)
Fig. 1. Dynamics of performance indicators of SBSh-250MN rotary drill rigs, depending on the service life:
V is the volume of drilling (*1*); *Q* is the productivity (*2*); П is the downtime for all reasons (*3*); *t* is the downtime due to mechanical and electrical failure (*4*)

На карьерах ПАО «Ураласбест» буровые работы ведутся шарошечными станками СБШ-250МНА в ультраосновных породах, представленных серпентинитами (21–27 % от общего объема бурения) и перидотитами (55–58 % от общего объема). Остальной объем обуриваемых пород представлен габбро, диоритами, дунитами, гранитами и талько-карбонатными породами. Обуриваемые породы относятся к 15-й и 16-й категориям буримости по *Единой классификации пород по буримости* Центрального бюро нормирования труда. Доля пород, отнесенных к 17-й категории, в целом незначительна и по отдельным станкам изменяется от 5,6 до 12,4 % [15]. Скважины в большинстве вертикальные, доля наклонного бурения составляет 12–24 %. Парк бурового оборудования на сегодняшний день физически и морально изношен, поэтому стоит вопрос о приобретении новых отечественных станков СБШ или станков импортного производства. На рис. 1 представлена динамика эксплуатационных показателей станков СБШ-250МНА на карьерах

ПАО «Ураласбест» с увеличением срока их службы. Объем бурения и среднесменная производительность станков имеют четко выраженную тенденцию к снижению. Также четко выражена связь роста суммарной продолжительности простоев станков с увеличением срока их службы.

В 2019 г. руководством ПАО «Ураласбест» было принято решение о приобретении двух станков фирмы Sandvik TAMROCK для проведения опытно-промышленных испытаний, оценки их эффективности и области применения. Sandvik D50KS представляет собой станок вращательного бурения шарошечными долотами с компрессором низкого давления. Благодаря усовершенствованной и надежной гидравлической системе Sandvik D50KS позволяет реализовать максимальную мощность при бурении скважин диаметром от 152 до 229 мм (табл. 1).

Таблица 1. Техническая характеристика бурового станка Sandvik 50KS
Table 1. Specification of Sandvik 50KS drill rig

Диаметр скважины, мм	152–229
Длина буровой штанги, м	9; 14
Максимальная глубина скважины, м	45
Максимальное усилие подачи (давление на забой), кН	222
Нагрузка на долото, кН	267
Скорость подачи на забой, м/мин	0–38
Скорость спуска (подъема) буровой штанги, м/мин	0–49
Частота вращения долота, $с^{-1}$	3,13
Подача компрессора, $м^3$/мин	26–45
Крутящий момент, кН · м	9,8
Мощность двигателя, кВт:	
установленная	320,8
вращателя	143,3
Масса станка, т	43,6
Габариты в рабочем положении, мм:	
длина	9450 (14 200)
ширина	4420
высота	14 300 (5820)

Опыт эксплуатации дизельных станков Sandvik D50KS на отечественных карьерах свидетельствует о следующих их преимуществах по сравнению со станками СБШ [1–6]:

– высокая скорость бурения и производительность;

– меньшая масса, возможность широкого регулирования характеристик, удобство в управлении;

– насосная станция (гидропривод) задействует все приводы и агрегаты станка, механизирует основные и вспомогательные операции, что позволяет осуществлять обслуживание станка одним оператором;

– высокий (до 0,9) коэффициент готовности;

– снижение затрат времени на вспомогательные операции (наращивание става, замену долота, горизонтирование);

– мобильность (скорость передвижения);

– автономность (независимость работы от источников электроэнергии).

Методика проведения исследований. Результаты. С целью оценки технических возможностей станка Sandvik D50KS на предприятии были проведены целосменные хронометражные наблюдения при обуривании блока № 208 гор. –28 м, сложенного перидотитами 15-й категории буримости и V категории взрываемости. Бурение осуществлялось долотом ТК-2 ГОРМАШ диаметром 229 мм. Во время

наблюдений фиксировалась механическая скорость бурения на расстоянии, равном длине штанги. Скорость изменялась в диапазоне 0,3–0,8 м/мин, средняя скорость при бурении первой штангой составила 0,6 м/мин, второй – 0,56 м/мин, в целом по всем наблюдениям чистая скорость бурения составила 0,58 м/мин (34,8 м/ч). Техническая скорость (с учетом вспомогательных операций) составила 22 м/ч. При коэффициенте использования времени смены в диапазоне 0,70–0,75 производительность станка на породах 15-й категории буримости составила 180–190 м/смену.

В табл. 2 приведены данные о работе станков СБШ и Sandvik D50KS на бурении технологических скважин по итогам шести месяцев 2020 г. Лучшие показатели среди шарошечных станков у станка СБШ № 352, имеющего самый низкий срок службы. Производительность станка СБШ № 352 составила 86,7 м/смену, использование календарного времени 66,3 %.

Таблица 2. Сравнительные показатели работы станков СБШ-250МНА и Sandvik D50KS за 6 мес. 2020 г. на бурении технологических скважин

Table 2. Comparative performance indicators of SBSh-250MNA and Sandvik D50KS drill rigs over a period of 6 months in 2020 when drilling production wells

Показатель	Всего	Инвентарные номера станка СБШ				Средние показатели по станкам	
		352	350	347	345	СБШ	Sandvik
Срок службы станков, лет	–	11	13	18	19	15,3	1
Набурено, м/в %	105 640 / 100	21 379 / 20,9	18 105 / 17,1	12 527 / 11,9	18 053 / 17,1	70 044 / 66,3	35 596 / 33,7
В том числе: наклонное бурение, м/в %	24 834 / 23,5	3790 / 17,7	5924 / 32,7	2602 / 20,8	4007 / 22,2	16 323 / 23,3	8511 / 23,9
Набурено по категориям пород, м/в %:							
15 категория	44 562 / 42,2	8230 / 38,5	9308 / 51,4	3662 / 29,2	10 077 / 55,8	31 277 / 44,7	13 285 / 37,3
16 категория	40 811 / 38,6	10 061 / 47,1	5890 / 32,5	5539 / 44,2	4193 / 23,2	25 683 / 36,7	15 128 / 42,5
17 категория	20 287 / 19,2	3088 / 14,4	2907 / 16,1	3326 / 26,6	3783 / 21,0	13 104 / 18,7	7183 / 20,2
Календарное время, ч	21 840	4368	4368	4368	4368	17 472	4368
Отработано, всего, ч	13 463	2949	2641	1898	2660	10 148	3315
В том числе, ч:							
на чистке скважин	522	53	171	116	182	522	–
на бурении	12 941	2896	2470	1782	2478	9626	3315
Использование календарного времени, %	59,3	66,3	56,5	40,8	56,7	55,1	75,9
Сменная производительность, м/смену	94,2	86,7	82,3	67,1	80,6	82,8	128,4

Станком D50KS выполнено 33,7 % (35,6 тыс. пог. м) общего объема технологического бурения, среднесменная производительность составила 128,4 м/смену, что на 55 % выше среднесменной производительности СБШ, на 37,7 % выше показатель использования календарного времени. Если сравнивать среднечасовую производительность станков, определяемую как отношение объема бурения к календарному времени с учетом его использования, то часовая производительность СБШ находится в диапазоне 7 м/ч (№ 347)–7,33 м/ч (№ 352), а часовая производительность станка D50KS составляет 10,8 м/ч, что выше на 48 %. Следует также отме-

тить, что техническая скорость бурения станком D50KS (с учетом вспомогательного времени) по хронометражным замерам составляет 22 м/ч, что в 2,0–2,5 раза превышает техническую скорость бурения станками СБШ. Разница в соотношениях средней часовой производительности (1,5) и технической скорости (2,0–2,5) станков СБШ и D50KS объясняется недостаточным опытом эксплуатации дизельных станков и свидетельствует о значительных резервах станков D50KS.

Для расчета механической скорости бурения импортными станками с дизельным приводом использована эмпирическая зависимость, установленная по данным горных предприятий США [16]. Механическая скорость определяется величиной усилия, приходящегося на единицу диаметра долота, частотой вращения долота и прочностными свойствами пород (пределом прочности на сжатие):

$$v_{м} = 5,4 \cdot 10^{-5} \left(k_{пр} - 28 \lg\sigma_{сж} \right) P_{у} n_{р},$$

где $v_{м}$ – механическая скорость бурения, м/ч; $k_{пр}$ – коэффициент, учитывающий прочность пород на сжатие (табл. 3); $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород на сжатие, МПа; $P_{у}$ – величина осевого усилия, приходящегося на единицу диаметра долота, кг/мм; $n_{р}$ – частота вращения долота, мин$^{-1}$.

Таблица 3. Значения коэффициента $k_{пр}$ в зависимости от предела прочности на сжатие
Table 3. Values of the coefficient $k_{пр}$ depending on the compressive strength

Показатель	$\sigma_{сж}$, МПа						
	Более 207	150–207	103–150	69–103	34–69	7–34	Менее 7
$k_{пр}$	100	120	150	267	295	355	450

Расчетные значения механической скорости бурения станками Sandvik D50KS в условиях комбината ПАО «Ураласбест» приведены на рис. 2. Кроме того, на рисунке представлены экспериментальные значения механической скорости бурения, полученные в результате хронометражных наблюдений. Установлена высокая сходимость расчетных и экспериментальных данных.

С использованием компьютерной программы Production Estimate фирмы Sandvik установлена область эффективной работы станков в зависимости от диаметра скважины и крепости пород (табл. 4). Согласно расчетам, бурение долотом 229 мм технически эффективно в породах с коэффициентом крепости до 14, что соответствует среднему значению крепости основного объема пород ПАО «Ураласбест».

Оценка эффективности станков. Калькуляция себестоимости бурения станками СБШ-250МНА и Sandvik D50KS на карьерах ПАО «Ураласбест» за 2019 г. и 6 мес. 2020 г. представлена в табл. 5. Из приведенных данных видно, что основным фактором высокой себестоимости бурения импортными дизельными станками являются затраты на дизельное топливо, которые более чем в 4,5 раза превышают затраты на электроэнергию для станков СБШ.

На рис. 3 представлена динамика стоимости дизельного топлива и электроэнергии на комбинате ПАО «Ураласбест» с 2005 по 2019 г. Стоимость дизтоплива за указанный период увеличилась в 3,3 раза, а стоимость электроэнергии – в 2,5 раза.

Наиболее благоприятным периодом для приобретения и внедрения дизельной техники были 2009–2010 гг., когда соотношение между стоимостью дизтоплива и электроэнергии (μ, кВт · ч/кг) составляло 7,8–8,2. К настоящему времени это соотношение на комбинате ПАО «Ураласбест» увеличилось до 16 кВт · ч/кг. Таким образом, эффективность внедрения дизельных станков в значительной степени будет

определяться указанным соотношением. При дальнейшем освоении и накоплении опыта эксплуатации себестоимость бурения станками Sandvik может быть ниже, чем себестоимость бурения СБШ. При высокой технологической эффективности указанных станков себестоимость бурения определяется в основном двумя факторами: соотношением между стоимостью дизельного топлива и электроэнергии; курсом доллара.

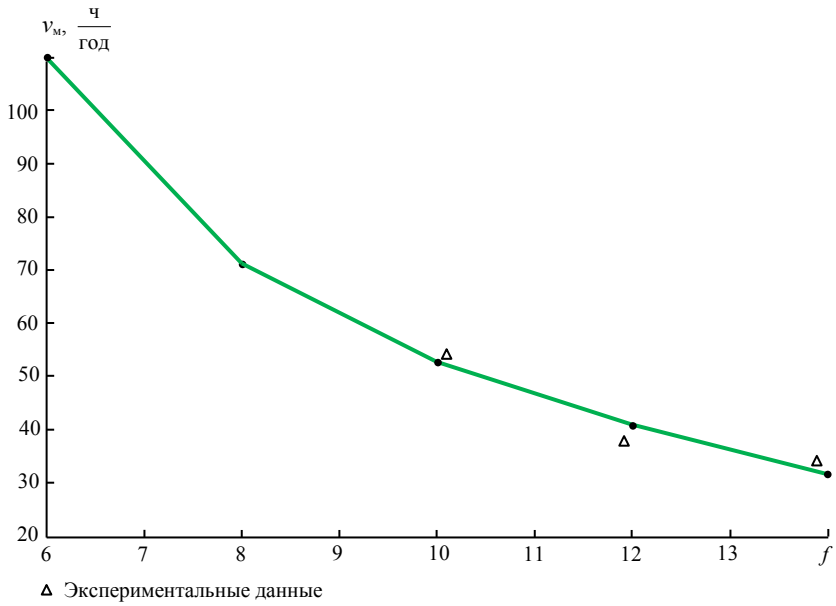

Рис. 2. Расчетная зависимость механической скорости бурения станков Sandvik D50KS $v_м$ от крепости горных пород f в условиях ПАО «Ураласбест»
Fig. 2. Calculated dependence between Sandvik D50KS rate of penetration $v_м$ on the strength of rocks f at PJSC Uralasbest

Станки приобретались при курсе доллара 63,39 р. на 28.06.2018 г., к 27.12.2020 г. курс вырос до 75,7 р., т. е. в 1,2 раза. В то же время соотношение между стоимостью дизтоплива и электроэнергии в 2018 г. составляло 17,6 кВт · ч/кг, а к 2020 г. оно снизилось до 16 кВт · ч/кг, т. е. в 1,1 раза, что положительно сказалось на экономических показателях бурения станками Sandvik.

В последние годы в отечественной и зарубежной практике получает широкое распространение методика оценки и оптимизации параметров технологических процессов на основании физического принципа наименьшего действия. Принцип наименьшего действия относится к интегральным вариационным принципам механики, согласно которым из всех возможных движений механической системы истинным является то, для которого некоторая физическая величина, называемая действием, имеет за время перемещения системы эктремум, обычно минимум. Наиболее распространенной формой представления принципа наименьшего действия является форма Гамильтона. В указанной форме принцип наименьшего действия утверждает, что из всех возможных траекторий перемещения истинной будет та, для которой действие, равное интегралу от разности между кинетической и потенциальной энергией, соответствующих этим траекториям, имеет минимальное значение. Принцип Гамильтона в интегральной форме широко используется не только в механике, но и в других областях техники и промышленных технологий [17, 18]. С определенными допущениями этот принцип можно распространить на

буровые работы в карьерах. В этом случае действие – это физическая величина, представляющая собой произведение количества энергии, расходуемой на бурение горных пород, и времени бурения.

Введенное понятие *удельное действие* (D) представляет собой произведение затрат энергии на разрушение 1 м^3 пород при бурении и времени бурения этого объема. Удельное действие является комплексным физическим показателем, связывающим энергоемкость и производительность буровых станков.

Таблица 4. Значения механических и технических скоростей бурения станками Sandvik D50KS в зависимости от диаметра долота и крепости пород

Table 4. Values of the rate of penetration and productive drilling rate of Sandvik D50KS drill rigs depending on bit diameter and rock hardness

Коэффициент крепости f	Скорость бурения (м/ч) при диаметре долота (мм)						
	152	159	171	200	216	229	251
6	106*/68,5	106,4/68,7	107,2/69,1	108,9/69,9	109,7/70,3	110,4/70,7	111,4/67,8
8			69,9/48,9	71,0/49,6	71,6/49,9	72,0/50,1	72,6/48,8
10			51,9/37,9	52,7/38,4	53,1/38,7	53,4/38,9	53,9/39,2
12			40,2/30,2	40,8/30,6	41,2/30,8	41,4/31	41,8/31,3
14			32,2/24,7	32,7/25	32,9/25,2	33,1/25,3	33,4/25,5
16			26,8/20,8	27,2/21,1	27,4/21,3	27,6/21,4	27,8/21,6
18			22,3/17,6	22,7/17,8	22,9/17,9	23/18	23,2/18,2
20			19,1/15,2	19,4/15,4	19,6/15,5	19,7/15,6	19,9/15,7
21			17,9/14,2	18,2/14,4	18,3/14,5	18,4/14,6	18,6/14,7
22			16,8/13,4	17,0/13,6	17,1/13,7	17,2/13,7	17,4/13,9
Диаметр штанг, мм	140	140	140	140	152	178	178

– область эффективной работы; – область, где скважины не проходят по соотношению производительности компрессора, диаметра штанги и долота; – область, где расчетное усилие на долото превышает возможности станка; * в числителе – механическая скорость; в знаменателе – техническая скорость.

Можно записать

$$D = \omega_{у.т} t,$$

где D – удельное действие, кг · ч/м^3; $\omega_{у.т}$ – удельный расход условного топлива на разрушение 1 м^3 пород при бурении, кг/м^3; t – время разрушения (бурения) 1 м^3 пород, ч.

В отечественной практике в качестве условного топлива используется так называемый угольный эквивалент – 7000 ккал (29,3 мДж) – теплота, которая выделяется при сгорании 1 т высококачественного угля.

В соответствии с этим

$$\omega_{у.т} = \omega_т k_т; \qquad \omega_{у.т} = \omega_э k_э,$$

где $\omega_т$ – удельный расход дизельного топлива на бурение, кг/м^3; $k_т$ – коэффициент, учитывающий разницу удельной теплоты сгорания дизельного и условного топлива, $k_т$ = 1,437; $\omega_э$ – удельный расход электроэнергии на бурение, кВт · ч/м^3; $k_э$ – показатель, учитывающий затраты условного топлива на получение 1 кВт · ч электроэнергии, г/кВт · ч ($k_э$ = 397 г/кВт · ч).

Таблица 5. Калькуляция себестоимости бурения (р./пог. м) станками СБШ-250МНА и Sandvik D50KS за 2019 г. и 6 мес. 2020 г.

Table 5. Calculation of the cost of drilling (rub per running meter) with SBSh-250MNA and Sandvik D50KS drill rigs for 2019 and 6 months in 2020

Статья затрат	2019 г.		2020 г.	
	СБШ	Sandvik	СБШ	Sandvik
Топливо (энергия на технологические цели)	54,26	205,20	58,00	228,99
Основная зарплата производственных рабочих	79,38	40,50	71,25	25,17
Отчисления на социальные нужды	26,54	13,24	24,60	8,29
Резерв на оплату отпусков	11,00	2,44	12,18	3,57
Страховые взносы на резерв	3,80	0,82	4,28	1,14
Общепроизводственные расходы	419,38	408,24	356,54	333,45
Общехозяйственные расходы	74,75	39,09	65,25	22,47
Производственная себестоимость:				
в р./пог. м	669,10	709,53	592,09	623,08
в %	100,00	106,00	100,00	105,20

В табл. 6 приведено сравнение станков СБШ-250МНА-32 и дизельных станков Sandvik D50KS по указанному критерию на комбинате ПАО «Ураласбест». Бурение производилось долотами ТК-2 ГОРМАШ диаметром 250,8 и 229 мм. В качестве исходных данных использованы результаты приборных замеров расхода дизельного топлива и технической скорости бурения станками Sandvik D50KS № 354 в ноябре 2020 г. на породах 16-й категории буримости. Скорость бурения составила 22,0 м/ч, расход дизельного топлива – 6,0 л/пог. м (5,06 кг/пог. м). По станкам СБШ использованы статистические данные многолетних наблюдений при бурении в аналогичных породах по категории буримости. Установлено, что удельная энергоемкость бурения 1 пог. м в единицах условного топлива у отечественных и импортных станков находится на одном уровне (7,16–7,27 кг у.т./пог. м). Вместе с тем по результирующему показателю *удельное действие* дизельные станки Sandvik на 41 % эффективнее станков СБШ вследствие более высокой скорости бурения. Причиной этому являются конструктивные преимущества станков Sandvik, заключающиеся в большем коэффициенте полезного использования энергии на разрушение горных пород при бурении, что требует дополнительных исследований.

Из приведенных расчетов видно, что экономическая оценка может не совпадать с оценкой по физическому критерию *удельное действие*. Однако это свидетельствует в первую очередь о несовершенстве ценообразования на энергоресурсы (электроэнергию и дизельное топливо). Современные исследования утверждают, что экономическая оценка должна стремиться к совпадению с оценкой по *удельному*

действию, так как оценка по удельному действию является физической и наиболее объективной.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о перспективности станков Sandvik при эксплуатации в условиях ПАО «Ураласбест».

Выводы. Работа импортных дизельных станков на комбинате ПАО «Ураласбест» характеризуется высокими эксплуатационными показателями по сравнению с отечественными станками СБШ. Так, в породах 15-й категории буримости средняя механическая скорость бурения составила 34,8 м/ч, что в 3 раза выше показателей СБШ. Техническая скорость бурения составила 20–22 м/ч, что в 2,0–2,5 раза выше показателей СБШ. Сменная производительность составила 128,4 м/смену, что в 1,5–1,9 раза превышает соответствующий показатель СБШ.

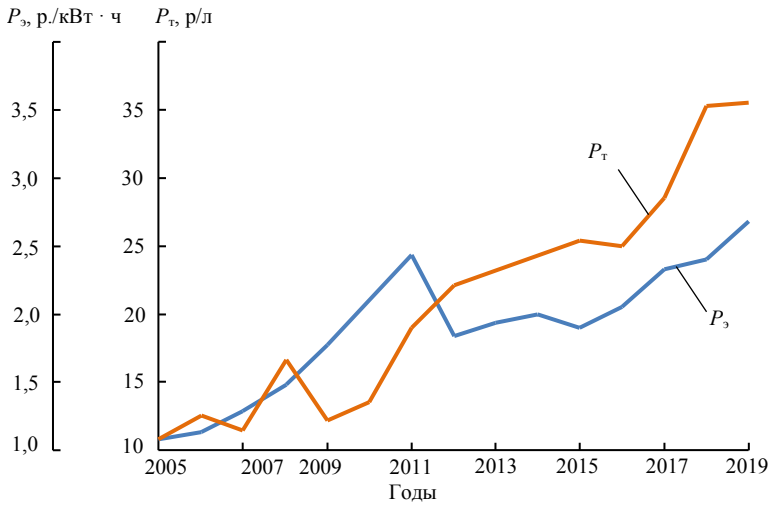

Рис. 3. Динамика стоимости дизельного топлива $P_т$ и электроэнергии $P_э$ на комбинате ПАО «Ураласбест»
Fig. 3. Dynamics of the cost of diesel $P_т$ and electric power $P_э$ at PJSC Uralasbest

С использованием компьютерной программы Production Estimate фирмы Sandvik установлена область эффективной работы станков D50KS в зависимости от диаметра долота и крепости пород. Установлено, что бурение долотом 229 мм технически эффективно в породах с коэффициентом крепости до 14, что соответствует среднему значению крепости основного объема пород ПАО «Ураласбест».

Удельный расход дизельного топлива станками D50KS в породах 16-й категории буримости составил 6,1 л/пог. м (5,06 кг/пог. м), что согласуется с данными, полученными на других горных предприятиях. Установлено, что в единицах условного топлива у отечественных и импортных станков удельный расход энергии на бурение находится на одном уровне (7,16–7,27 кг у.т./пог. м).

По результатам работы за 6 мес. 2020 г. себестоимость бурения 1 пог. м станками D50KS составила 623,08 р., что на 5,2 % выше себестоимости бурения станками СБШ (592,09 р.). Это обусловлено большой долей энергетических затрат в себестоимости бурения. При дальнейшем освоении и накоплении опыта эксплуатации дизельных станков себестоимость бурения станками Sandvik может быть ниже, чем себестоимость бурения СБШ.

По комплексному физическому критерию *удельное действие* станка Sandvik на 41 % эффективнее станков СБШ. Это свидетельствует о перспективности станков Sandvik при эксплуатации в условиях ПАО «Ураласбест».

Необходимо продолжить научные исследования эксплуатации дизельных станков Sandvik в условиях ПАО «Ураласбест» в направлении оценки их надежности, влияния мобильности и автономности на производительность и использование рабочего времени, организации работы и технического обслуживания, конкретизации эффективной области применения и других аспектах.

Таблица 6. Показатели эффективности станков шарошечного бурения на карьерах ПАО «Ураласбест»
Table 6. Indicators of roller drill rigs efficiency in PJSC Uralasbest open pits

Показатель	Модель станка	
	СБШ-МНА-32	Sandvik D50KS
Категория пород по буримости	16	16
Диаметр долота $d_д$, мм	250,8	229,0
Диаметр скважин $d_с$, мм	263,3	240,4
Скорость бурения v:		
линейная, пог. м/ч	8,7	22,0
объемная, м^3/ч	1,89	3,98
Время разрушения (бурения) 1 м^3 породы t, ч	0,53	0,25
Удельный расход электроэнергии $\omega_э$:		
кВт · ч/пог. м	18,3	–
кВт · ч/ м^3	83,3	–
Удельный расход дизтоплива $\omega_т$:		
кг/пог. м	–	5,06
кг/м^3	–	27,96
Удельный расход условного топлива, $\omega_{у.т}$:		
(кг/пог. м)/в %	7,16/100	7,27/101,5
(кг/м^3)/в %	33,3/100	40,18/120,6
Удельное действие $D = \omega_{у.т}t$, (кг · ч/м^3)/в %	17,6/100	10,04/58,9

Область применения результатов. Результаты рекомендуется использовать в практике проектирования и эксплуатации буровой техники на карьерах Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лель Ю. И., Захаров А. В. Эффективность эксплуатации новых моделей буровых станков на карьерах Урала // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 8. С. 199–206.
2. Анистратов К. Ю., Донченко Т. В., Опанасенко Т. В., Строгий И. Б. Анализ рынка буровых станков для открытых горных работ горнодобывающих предприятий России // Горная промышленность. 2018. № 2(138). С. 84–89.
3. Выбор и рациональная эксплуатации буровых инструментов и станков на карьерах: монография / под ред. В. Д. Буткина, А. В. Гилева. Красноярск: СФУ, 2010. 236 с.
4. Мальгин О. Н., Рубцов С. К., Шеметов П. А., Шлыков А. Г. Совершенствование технологических процессов буровзрывных работ на открытых горных работах. Ташкент: ФАН, 2003. 199 с.
5. Ржевский В. В. Открытые горные работы: производственные процессы. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 512 с.
6. Гилев А. В., Чесноков В. Т., Белозеров И. Р. Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях: монография. Красноярск: СФУ, 2013. 372 с.
7. Катанов Б. А. Современное состояние и перспективы развития бурового оборудования карьеров в условиях Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 12. С. 25–27.
8. Шигин А. О., Шигина А. А., Юовин К. А. Повышение производительности станков шарошечного бурения при своевременном регулировании режимных параметров // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 8. С. 65–72.
9. Синев С. В. Механизмы, методы и способы разрушения горных пород в шарошечном бурении // ГИАБ. 2016. № 1. С. 149–159.

10. Ходжибергенов Д. Т., Шеров К. Т., Окимбаева А. Е., Уралов В. К. Исследование конструкции буровых шарошечных долот // Наука и техника Казахстана. 2019. № 2. С. 77–86.
11. Боярских Г. А., Симисинов Д. И. Ретроспективный анализ исследований и предпосылки обеспечения надежности бурового инструмента // Известия вузов. Горный журнал. 2009. № 7. С. 58–65.
12. Shehu S. A., Jethro M. A., Ogbodo O. A., Hashim M. H. M. Correlation of blasting coefficient with drilling rate of rocks // Materials Today: Proceedings. 2019. Vol. 17. P. 543–552.
13. Zong-Xian Zhang. Rock fracture and blasting. Theory and applications. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. 528 p.
14. Yingxin Yang, Yan Yang, Haitao Ren, Qingliang Qi, Xinwei Chen. Research on the working mechanism of the PDC drill bit in compound drilling // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2020. Vol. 185. 106647. DOI: 10.1016/j.petrol.2019.106647
15. Котяшев А. А., Корнилков М. В., Русских А. П. Изучение и оценка структурных изменений при взрывном разрушение скальных массивов в динамике развития асбестовых карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 6. С. 17–23.
16. Hustrulid W., Kuchta M., Martin R. Open pit mine planning & design. Volume 1 – fundamentals. Taylor & Francis Group, 2013. P. 88–95.
17. Планк М. Единство физической картины мира. М.: Наука, 1966. 288 с.
18. Веретенников В. Г., Синицын В. А. Метод переменного действия. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 272 с.

Поступила в редакцию 1 июля 2021 года

Сведения об авторах:

Лель Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: lel49@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-0590-4482
Зотов Илья Григорьевич – заместитель директора предприятия «Промтехвзрыв» ПАО «Ураласбест». E-mail: eng3@ptv.uralasbest.ru; https://orcid.org/0000-0001-7214-7202
Мартынов Николай Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: nikolay.martynov@m.ursmu.ru; https://orcid.org/0000-0001-7744-0432
Стенин Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: belas7540@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-8591-886X
Ганиев Руслан Салаватович – старший преподаватель кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: sunmail2003@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-1674-6432

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-5-17

Estimating the efficiency and prospects of applying imported diesel-powered drill rigs at PJSC Uralasbest

Iurii I. Lel[1], Ilia G. Zotov[2], Nikolai V. Martynov[1], Iurii V. Stenin[1], Ruslan S. Ganiev[1]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia
[2] PJSC Uralasbest, Asbest, Sverdlovsk region, Russia

Abstract
Research objective *is to carry out experimental and industrial trials as well as engineering and economic evaluation of applying the imported diesel-powered drill rigs at PJSC Uralasbest.*
Research relevance. *In the Russian Federation, there has been a common tendency towards substituting imported drill rigs mainly diesel-powered, for the national ones, due to several technical and processing advantages of the former. It is therefore highly relevant to estimate the efficiency and prospects of applying imported drill rigs at PJSC Uralasbest, which is a major chrysotile asbestos manufacturer.*
Methods of research. *In the performance of the task, the diesel-powered drill rigs operating experience in Russian open pits and the results of experimental and industrial trials of Sandvik D50KS rigs at PJSC Uralasbest were analyzed. Rate of penetration and productive drilling rate, as well as drill rig energy intensity and output per shift, were determined by experiment. Engineering and economic evaluation of Sandvik D50KS rig application efficiency at PJSC Uralasbest was carried out by the criterion of drilling cost and physical criterion of "specific action". With the Production Estimate software package by Sandvik, the scope of Sandvik D50KS effective operation was determined depending on the wellbore diameter and rock strength.*
Results. *It was found that compared to Russian rotary drill rigs SBSh, Sandvik D50KS drill rigs operation at PJSC Uralasbest is of higher performance. The average rate of penetration in the rock with drillability*

index no. 15 made up 34.8 m/h, which is 3 times as big as the indicators of the SBSh. Productive drilling rate made up 20–22 m/h, which is 2.0–2.5 times as big as that of the SBSh. When the technological efficiency is high, the cost of drilling with the imported rigs is chiefly determined by two factors: the ratio between the cost of diesel and electric power and foreign exchange rate (dollar). It currently exceeds the cost of drilling with Russian drill rigs. However, by the integrated physical criterion, the specific action of the Sandvik drill rig is 41% more efficient as compared to SBSh. This indicates good perspectives of Sandvik drill rigs operation at PJSC Uralasbest.

Scope of results. *The results obtained may be applied in drilling equipment design and operation in mining and engineering conditions close to PJSC Uralasbest.*

Keywords: *drill rig; drilling category of rock; drilling speed; productivity; energy intensity; specific action; drilling cost.*

REFERENCES

1. Lel Iu. I., Zakharov A. V. The efficiency of new models of drill rigs in Ural open pits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2011; 8: 199–206. (In Russ.)

2. Anistratov K. Iu., Donchenko T. V., Opanasenko T. V., Strogii I. B. Analysis of the market of drill rigs for surface mining operations of the Russian mineral producers. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry*. 2018; 2(138): 84–89. (In Russ.)

3. Butkin V. D., Gilev A. V. (Eds.) *Selection and rational operation of drill tools and rigs in the open pits: monograph*. Krasnoyarsk: SFU Publishing; 2010. (In Russ.)

4. Malgin O. N., Rubtsov S. K., Shemetov P. A., Shlykov A. G. *Developing the technological processes of drilling and blasting in the course of opencast mining*. Tashkent: FAN Publishing; 2003. (In Russ.)

5. Rzhevskii V. V. *Surface mining: industrial processes*. Moscow: LIBROKOM Publishing; 2010. (In Russ.)

6. Gilev A. V., Chesnokov V. T., Belozerov I. R. *Improving the efficiency of drilling equipment operation in mining enterprises: monograph*. Krasnoyarsk: SFU Publishing; 2013. (In Russ.)

7. Katanov B. A. Current state and prospects of open pit drilling equipment in Kuzbass. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2006; 12: 25–27. (In Russ.)

8. Shigin A. O., Shigina A. A., Iuovin K. A. Improving roller bit drilling rig performance by timely regulation of operating parameters. *Vestnik IrGTU = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2015; 8: 65–72. (In Russ.)

9. Sinev S. V. Mechanisms, methods and ways of destruction of rocks in rolerbit drilling. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 1: 149–159. (In Russ.)

10. Khodzhibergenov D. T., Sherov K. T., Okimbaeva A. E., Uralov V. K. Study of the construction of drilling ball borts. *Nauka i tekhnika Kazakhstana = Science and Technology of Kazakhstan*. 2019; 2: 77–86. (In Russ.)

11. Boiarskikh G. A., Simisinov D. I. Boring tool research and reliability control prerequisites: a retrospective analysis. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2009; 7: 58–65. (In Russ.)

12. Shehu S. A., Jethro M. A., Ogbodo O. A., Hashim M. H. M. Correlation of blasting coefficient with drilling rate of rocks. *Materials Today: Proceedings*. 2019; 17: 543–552.

13. Zong-Xian Zhang. *Rock fracture and blasting. Theory and applications*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. 528 p.

14. Yingxin Yang, Yan Yang, Haitao Ren, Qingliang Qi, Xinwei Chen. Research on the working mechanism of the PDC drill bit in compound drilling. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2020; 185: 106647. Available from: doi: 10.1016/j.petrol.2019.106647

15. Kotiashev A. A., Kornilkov M. V., Russkikh A. P. Study and evaluation of structural changes in blasting disintegration of rock massif in the development dynamics of asbestos stone-pits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2017; 6: 17–23. (In Russ.)

16. Hustrulid W., Kuchta M., Martin R. *Open pit mine planning and design. Volume 1 – fundamentals*. Taylor and Francis Group; 2013. P. 88–95.

17. Planck M. *The unity of the physical universe*. Moscow: Nauka Publishing; 1966. (In Russ.)

18. Veretennikov V. G., Sinitsyn V. A. *The method of alternating action*. Moscow: FIZMATLIT Publishing; 2005. (In Russ.)

Received 1 July 2021

Information about authors:

Iurii I. Lel – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: lel49@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-0590-4482

Ilia G. Zotov – Deputy Director, PJSC Uralasbest Promtekhvzryv. E-mail: eng3@ptv.uralasbest.ru; https://orcid.org/0000-0001-7214-7202

Nikolai V. Martynov – PhD (Engineering), senior researcher, associate professor of the Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: nikolay.martynov@m.ursmu.ru; https://orcid.org/0000-0001-7744-0432
Iurii V. Stenin – PhD (Engineering), Associate Professor, associate professor of the Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: belas7540@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-8591-886X
Ruslan S. Ganiev – senior lecturer, Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: sunmail2003@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-1674-6432

Для цитирования: Лель Ю. И., Зотов И. Г., Мартынов Н. В., Стенин Ю. В., Ганиев Р. С. Оценка эффективности и перспектив применения импортных буровых станков с дизельным приводом в условиях ПАО «Ураласбест» // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 5. С. 5–17. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-5-17
For citation: Lel Iu. I., Zotov I. G., Martynov N. V., Stenin Iu. V., Ganiev R. S. Estimating the efficiency and prospects of applying imported diesel-powered drill rigs at PJSC Uralasbest. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 5: 5–17 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-5-17