

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ БУРОВЫХ СТАНКОВ К УСЛОВИЯМ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТЕБИНБУЛАК**

Кахаров Сергей Каримович
Доцент, кандидат технических наук,
Заведующий кафедры «Горное дело»
Филиала национального исследовательского технологического университета
«МИСИС» в г. Алмалык, Республика Узбекистан,
E-mail: misterksk79@mail.ru

Элмуродова Хулкар
Инженер ПТО, Геологоразведочной экспедиции АО «НГМК»,
г.Навоий, Республика Узбекистан,
E-mail: hulkarelmurodova1994@gmail.com

Аннотация

В статье проводится сравнительный анализ современных буровых станков нового поколения, таких как : SmartROC D50 (Epiroc), Pantera™ DP1110i (Sandvik) и FlexiROC D60 (Atlas Copco), с применяемыми на карьерах Республики Узбекистана устаревшими моделями буровой техники. При сравнении особое внимание уделялось оценке производительности, энергоэффективности, и эксплуатационной надёжности исследуемого оборудования. Обоснована целесообразность внедрения современных буровых станков с учётом снижения себестоимости буровзрывных работ и повышения эффективности освоения рудных залежей. Представленные материалы могут служить основой для принятия технических решений при модернизации парка бурового оборудования в условиях горнодобывающих предприятий Республики.

Ключевые слова: Тебинбулак, буровые станки, SmartROC D50, Pantera™ DP1110i, FlexiROC D60, СБШ-250МНА-32, производительность, энергоэффективность, буровзрывные работы, горнодобыча, техническое оснащение, модернизация, Kaishan КТ-9С, сравнение оборудования, инновационные технологии.

Introduction

Введение

Развитие горнодобывающей промышленности напрямую связано с эффективностью буровзрывных работ, от которых в свою очередь зависит производительность вскрышных и добычных операций. Особенно актуален этот вопрос при освоении крупномасштабных месторождений, таких как Тебинбулак — одного из перспективных источников железорудного сырья.

В условиях растущих требований к снижению себестоимости добычи, увеличению скорости проходки скважин и обеспечению экологической и промышленной безопасности, особое значение приобретает выбор современных, технологически

продвинутых буровых станков. На большинстве предприятий Республики до сих пор используется устаревшее или изношенное буровое оборудование, в том числе китайского производства (например, Kaishan КТ-9С), не отвечающее современным требованиям по энергоэффективности и эксплуатационной надёжности.

Целью настоящего исследования является сравнительный анализ современных буровых станков нового поколения — SmartROC D50, Pantera™ DP1110i, FlexiROC D60 и СБШ-250МНА 32 — с традиционно применяемыми станками, используемыми на месторождении Тебинбулак. Работа направлена на обоснование целесообразности внедрения высокотехнологичных решений в буровом деле с точки зрения повышения производительности, снижения затрат и обеспечения устойчивого развития горнодобывающего сектора Узбекистана.

В современных моделях наблюдается устойчивая тенденция гидрофикации основных приводов, что обеспечивает станку меньшую массу, возможность широкого регулирования характеристик, удобство в управлении и сравнительно несложное обслуживание, тогда как электрические приводы постоянного тока, применяющиеся на всех российских станках, достаточно тяжелы и громоздки, требуют сложных и дорогих в эксплуатации систем управления [1,3].

Основные различия и преимущества буровых станков “SmartROC D50”, “Pantera™ DP1110i”, “FlexiROC D60” и СБШ 250 МНА-32.

Современные буровые машины нового поколения, относятся к новейшей технике последнего поколения, оснащённой передовыми технологиями и предназначенной для достижения высокой производительности и надёжности.

Технические характеристики буровой установки SmartROC D50

Буровые станки серии Epiroc SmartROC (рис.1) обеспечивают стабильную и высокоэффективную работу даже в самых сложных условиях. В технологии пневмоударного бурения эффективность компрессора — один из ключевых факторов. Двигатель и компрессор SmartROC управляются интеллектуальной системой, которая подаёт воздух и мощность на ударный механизм ровно в необходимом объёме и только тогда, когда это требуется.

Интеллектуальная система управления двигателем и компрессором повышает эффективность, сокращает расход воздуха и топлива, продлевает срок службы и снижает эксплуатационные расходы. Гидравлическая система использует на 300 литров меньше масла, количество шлангов и насосов сокращено, что облегчает техническое обслуживание и делает машину экологичнее [4].

SmartROC D50 оснащён автоматизированными системами, включая систему навигации HNS (Hole Navigation System), обеспечивающую точное направление бурения с помощью GPS. Система BenchmarkREMOTE позволяет дистанционно управлять несколькими машинами одновременно, что существенно повышает производительность и безопасность.

Технические характеристики бурового станка Pantera™ DP1110i

Pantera™ DP1110i (рис.2) — самоходный дизельный буровой станок с гидроприводом от компании Sandvik Mining and Rock Technology. Он предназначен для

высокоэффективного бурения на карьерах, открытых разработках и на строительных площадках. Благодаря высокочастотному ударному механизму и мощному крутящему моменту машина обеспечивает отличные результаты при бурении любых пород. Это делает её идеальным выбором для повышения производительности на карьере.



Рисунок 1- Буровая машина SmartROC D50

Таблица 1 Технические характеристики SmartROC D50

Показатель	Значение
Буримость по шкале Протодяконова, f	6–18
Глубина бурения, м	45
Диаметр скважины, мм	90–130
Длина бурильной штанги, м	3,66 или 4,27
Ширина, мм	2500
Высота, мм	3300
Длина, мм	11800
Масса, т	23–25
Скорость перемещения, м/с	0,8–1,5
Крутящий момент, кН·м	2,353
Отклонение скважины по вертикали, градусы	0–30
Скорость подъёма/опускания снаряда, м/с	0,2–0,5
Частота вращения буровой головки, сек ⁻¹	0,5–2,5
Усилие подачи, кН	40
Тип двигателя	CAT C11, турбодизель
Мощность, кВт	340



Рисунок 2 - Буровая машина Pantera™ DP1110i.

Системы DrillNav™ и TIMi (Tools for Intelligent Mining Interface) позволяют точно контролировать процесс бурения в реальном времени, снижают влияние человеческого фактора и обеспечивают экономию ресурсов.

Обслуживание упрощено благодаря удобному расположению сервисных точек, укороченным кабелям и шлангам, а также модульной конструкции.

Двигатели соответствуют экологическим стандартам Tier 3 и Tier 4 Final. Сниженное потребление топлива и выбросов делает машину экологически безопасной и экономичной в эксплуатации [5].

Таблица 2 Технические характеристики Pantera™ DP1110i

Показатель	Значение
Буримость по шкале Протоdjяконова, f	6–20
Глубина бурения, м	До 33
Диаметр скважины, мм	89–140
Длина бурильной штанги, м	4,27
Ширина, мм	2500
Высота, мм	3200
Длина, мм	11500
Масса, т	22,9
Скорость перемещения, м/с	2,5
Крутящий момент, кН·м	6
Угол отклонения скважины, град	-2/+30
Скорость подъема/опускания снаряда, м/с	0,5–0,8
Частота вращения буровой головки, сек ⁻¹	2
Усилие подачи, кН	30
Тип двигателя	Caterpillar C9.3B
Мощность, кВт	250

Технические характеристики бурового станка FlexiROC D60

Atlas Copco — ведущая мировая технологическая компания, основанная в Швеции в 1873 году. FlexiROC D60 — это высокопроизводительная буровая машина с высокой универсальностью, предназначенная для работы на карьерах.

Работает с высоким воздушным давлением, что упрощает очистку скважин и подготовку к взрывным работам. Отлично сочетается с ДТН-молотками и компрессором, обеспечивая максимальную эффективность.

FlexiROC D60 (рис.3) оснащена современной системой автоматического управления RCS (Rig Control System), которая позволяет оператору в реальном времени отслеживать параметры бурения, проводить диагностику и обеспечивать точность бурения [6].



Рисунок 3 - Буровая машина FlexiROC D60

Система RCS также предоставляет:

- Автоматическое центрирование скважин
- Контроль глубины и угла бурения
- Повышение безопасности
- Сбор и анализ данных с последующей визуализацией

Система может интегрироваться с другими технологиями Epiroc, такими как HNS и BenchREMOTE.

Таблица 3 Технические характеристики FlexiROC D60

Показатель	Значение
Буримость по шкале Протодяконова, f	6–18
Глубина бурения, м	До 31,5
Диаметр скважины, мм	110–178
Глубина проходки за 1 цикл, м	7,5
Усилие подачи, кН	40
Скорость перемещения, км/ч	2,5–3,5
Крутящий момент, кН·м	6,6
Отклонение скважины по вертикали, град	90–45
Скорость подъёма/опускания снаряда, м/с	0,2–0,5
Частота вращения буровой головки, сек ⁻¹	2,5
Тип двигателя	CAT C15, турбонаддув
Мощность, кВт	354

Технические характеристики бурового станка СБШ-250 МНА 32

Станок СБШ-250 МНА 32 (рис.4) предназначена для бурения скважин диаметром 190–320 мм и глубиной до 35 м в породах с твёрдостью $f = 6–20$. Машина широко используется на открытых горных работах и характеризуется высокой производительностью (150–200 м/смена), возможностью автоматизации и удобством эксплуатации [7].



Рисунок 4 - Буровой станок СБШ-250 МНА 32

Машина оснащена двумя частотными преобразователями фирмы Schneider Electric для управления асинхронными двигателями. Имеется система подавления пыли, герметичная и утеплённая кабина, регулируемое кресло и удобная панель управления.

Таблица 4 Технические характеристики СБШ-250 МНА 32

Показатель	Значение
Буримость по шкале Протодяконова, f	6–20
Глубина бурения, м	32
Диаметр скважины, мм	244,5–270
Глубина за цикл, м	12–16
Усилие подачи, кН	300
Скорость перемещения, км/ч	0,73 (до 1,2 в модификации)
Крутящий момент, кН·м	4,2
Угол отклонения скважины, град	0–5
Скорость подъёма/опускания, м/с	0,4–0,5
Частота вращения, сек ⁻¹	2–2,5
Тип двигателя	Асинхронный (индукционный)
Мощность, кВт	400 кВт, 6000 В, 50–60 Гц

Сравнение моделей SmartROC D50, Pantera™ DP1110i и FlexiROC D60

Модели SmartROC D50 (Epiroc), Pantera™ DP1110i (Sandvik) и FlexiROC D60 (Atlas Copco) являются представителями нового поколения буровых машин, оснащённых современными технологиями для достижения высокой производительности.

Они выгодно отличаются от устаревших китайских и российских буровых станков, широко используемых на карьерах Узбекистана, таких как Kaishan КТ-9С. Современные буровые станки обеспечивают высокий КПД, повышая производительность буровых работ, минимизируют эксплуатационные расходы и повышают точность бурения, что делает их более выгодным выбором при долгосрочной эксплуатации.

Следует отметить, что вышеперечисленные буровые станки кардинально отличаются от машин устаревших типов. Известно, что на рудниках нашей Республики основную долю бурового оборудования составляют машины китайского и российского производства, большая часть которых была выпущена много лет назад. В частности, на месторождении Тебинбулоқ используется буровая техника китайской компании *Kaishan Group Co., Ltd*, такая как **Kaishan КТ-9С**, которая значительно уступает по своим характеристикам вышеупомянутым инновационным буровым станкам.

Коэффициент полезного действия и показатели производительности буровых машин являются важными техническими характеристиками, на которые обращает внимание заказчик. Именно от этих показателей зависит, какую часть от общей стоимости буровых работ клиенту придётся затратить.

На рисунке 5 показан графический анализ технических данных сравниваемых моделей бурового оборудования.

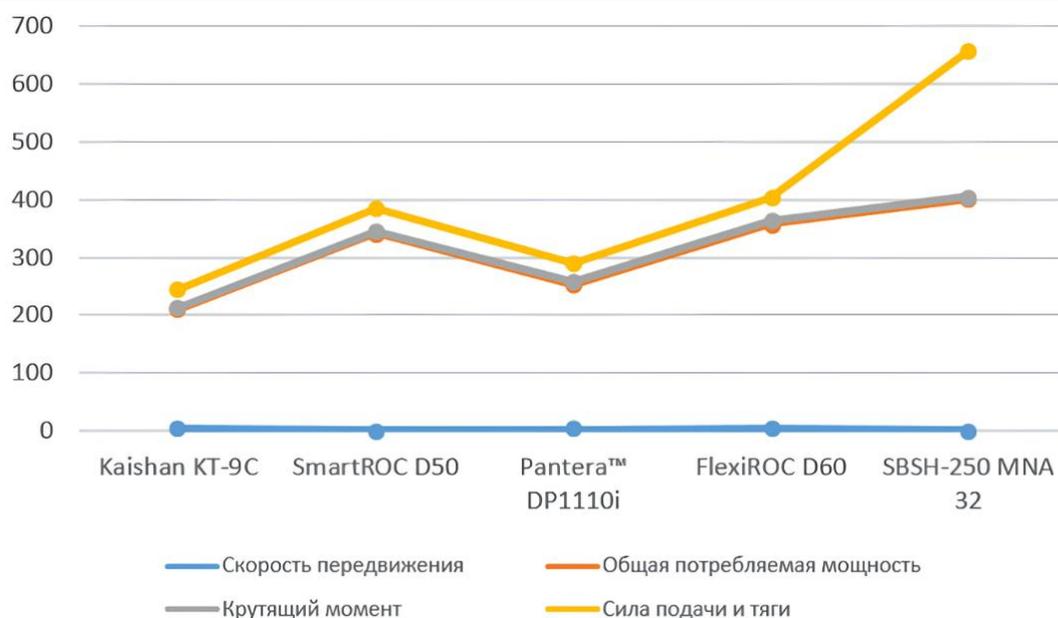


Рисунок 5 – График сравнительного анализа технических характеристик буровых станков.

Анализ графика буровых машин по четырём основным показателям:

1. Скорость передвижения:

- ✓ Этот показатель остаётся примерно одинаковым для всех машин.

Это указывает на то, что мобильность машин в рабочих условиях сравнима, и не является решающим отличием.

2. Общая потребляемая мощность:

- ✓ Наименьшая у Pantera™ DP1110i.
- ✓ Максимальная у SBSH-250 MNA 32 (превышает 600 условных единиц).

Это говорит о высоком энергопотреблении у SBSH-250 и энергетической эффективности у Pantera™.

3. Крутящий момент:

- ✓ Показатели схожи с тенденцией потребляемой мощности.

Наиболее сбалансированные значения у SmartROC D50 и FlexiROC D60 — указывают на стабильную производительность.

4. Сила подачи и тяги:

- ✓ Максимальная у СБШ-250МНА-32 — около 650 единиц, что значительно превышает другие модели.

Это может свидетельствовать о её предназначении для более глубокого бурения и тяжёлых условий эксплуатации, хотя и с большими затратами энергии.

Использование современных станков, нового поколения в условиях месторождений нашей страны и внедрение инновационных систем управления оказывает широкомасштабное влияние не только на снижение производственных затрат, но и на повышение качества выполняемых работ. Как было указано ранее, производственные показатели эффективности таких машин, как SmartROC D50, Pantera™ DP1110i,

FlexiROC D60 и СБШ-250 МНА 32, значительно различаются в зависимости от их технических характеристик, хотя некоторые параметры у них примерно одинаковы.

Например, потребление мощности и установленная мощность двигателя Kaishan KT-9C немного отличается от машин, выпускаемых компаниями Epiroc, Sandvik, Atlas Copco и «Рудгормаш», таких как SmartROC D50, Pantera™ DP1110i, FlexiROC D60 и СБШ-250 МНА 32. Однако, к сожалению, по остальным техническим показателям модель Kaishan KT-9C, которая эксплуатируется уже много лет, не может считаться приоритетной.

Под эффективностью бурового оборудования понимается его способность выполнять большой объём буровых работ за короткий промежуток времени при высоком качестве.

При оценке эффективности учитываются следующие факторы[8,9,10]:

- Производительность (скорость работы);
- Уровень энергопотребления;
- Потери (поломки, простои);
- Частота технического обслуживания;
- Расходы на ремонт и эксплуатацию.

Как уже упоминалось, основным фактором, влияющим на эффективность работы буровой машины, является скорость бурения. Помимо этого, одним из главных факторов также является общее время, затраченное на передвижение станка, спуск и подъём бурового инструмента, а также другие вспомогательные операции.

Для определения сменной производительности бурового станка используются следующие расчёты:

Формула расчёта сменной производительности:

$$A_B^{CM} = \frac{T_{CM} - (T_{ПЗ} + T_r)}{\vartheta_b^{-1} + T_B}$$

где:

A_B^{CM} — продолжительность смены, часов;

T_{CM} — время на запуск и завершение работы в течение смены, часов;

$T_{ПЗ}$ — время, затраченное на технические перерывы, часов;

T_B — время, затраченное на вспомогательные операции, часов;

ϑ_b^{-1} — техническая скорость бурения, м/час.

Формула технической скорости бурения:

$$\vartheta_b = \frac{3,5 \cdot P_0 \cdot n_B}{P_b \cdot d_D^2}$$

где:

P_0 — оптимальная осевая нагрузка, кН;

n_B — оптимальная частота вращения бурового инструмента, мин⁻¹;

P_b — показатель буримости горной породы;

d_D — диаметр долота, см.

Принятые постоянные значения:

Диаметр долота: $d_D = 125$ мм

Показатель буримости горной породы: $P_6 = 13$

Продолжительность смены: $T_{см} = 12$ часов

Расстояние между скважинами: 2,5 м

Вспомогательные операции включают: спуск/подъём бурильного инструмента, наращивание или разбор бурильной колонны, очистку скважины от шлама, замену долота, перемещение станка на новое место и т.д.

Расчёт производительности Kaishan КТ-9С**1. Расчёт технической скорости бурения:**

$$\vartheta_b = \frac{3,5 \cdot P_0 \cdot n_B}{P_6 \cdot d_D^2} = \frac{3,5 \cdot 32 \text{ kN} \cdot 120 (\text{min}^{-1})}{13 \cdot 12,5^2} = 6,62 \text{ m/s}$$

Значения:

$P_0 = 32$ кН, $n_B = 120$ мин⁻¹, $P_6 = 13$, $d_D = 12,5$ см.

Итак, **техническая скорость бурения Kaishan КТ-9С равна 6,62 м/ч.**

2. Расчёт времени вспомогательных операций:

$$T_B = t_{п/с} + t_{п} + t_{пм} + n$$

$t_{п/с}$ — время на подъём/спуск инструмента

$t_{п}$ — время перемещения от одной скважины к другой

$t_{пм}$ — время на позиционирование буровой мачты

n — прочие дополнительные работы (в расчётах принимаем $n = 0$)

Скорость спуска/подъёма:

$$t_{п/с} = \frac{h}{\vartheta_{п/с}}$$

Для KAISHAN КТ-9С при максимальном значении $\vartheta_{п/с}$:

$$\vartheta_{п/с} = \frac{0,3 + 0,6}{2} = 0,45 \text{ м/с}$$

Следовательно,

$$t_{п/с} = \frac{1}{0,45} = 0,45 \text{ сек (для 1 метра)}$$

$$t_{п} = \frac{l}{\vartheta_{п}}$$

Для KAISHAN КТ-9С, максимальная скорость перемещения:

$$t_{п} = \frac{2,5}{1,11} = 2,25 \text{ сек}$$

$$t_{пм} = t_{п/с} \cdot 70\%$$

$$t_{пм} = 0,45 \cdot 70\% = 0,315 \text{ сек}$$

Максимальные значения для KAISHAN KT-9C составляют:

Скорость перемещения:

$t_{п/с} = 0,45$ сек (на подъём/опускание бурильного состава для скважины глубиной 12 м)

$t_{п} = 2,25$ сек (на перемещение от одной скважины ко второй)

$t_{пм} = 0,315$ сек (на установку буровой мачты над скважиной)
(Указанные значения определены по техническому руководству бурового станка как максимальные.)

$$T_B = t_{п/с} + t_{п} + t_{пм} + n = 0,45 + 2,25 + 0,315 = 3,015$$

T_B - время, затраченное на вспомогательные процессы между 1-й и 2-й скважинами.

$T_{см}$ - 12 часов — продолжительность смены

$(T_{пз} + T_B) = 0,5$ часа (одинаково для всех образцов)

$T_B = 3,015$ сек = 0,00083 часа

$\vartheta_b = 6,62$ м\час-техническая скорость бурения

$$A_B^{см} = \frac{T_{см} - (T_{пз} + T_r)}{\vartheta_b^{-1} + T_B} = \frac{12 - 0,5}{\frac{1}{6,62} + 0,00083} = 75,7 \text{ м/смена}$$

Вывод:

Буровая машина **Kaishan KT-9C** способна пробурить **75,7 погонных метров** скважин за одну 12-часовую смену при максимальной производительности.

Сменная производительность **SmartROC D50**

$$\vartheta_b = \frac{3,5 \cdot P_0 \cdot n_B}{\Pi_6 \cdot d_D^2} = \frac{3,5 \cdot 40 \text{ kN} \cdot 120 (\text{min}^{-1})}{13 \cdot 12,5^2} = 10,33 \text{ м/с}$$

$$A_B^{см} = \frac{T_{см} - (T_{пз} + T_r)}{\vartheta_b^{-1} + T_B} = \frac{12 - 0,5}{\frac{1}{10,33} + 0,00182} = 116,6 \text{ м/смен}$$

Сменная производительность **Pantera™ DP1110i**

$$\vartheta_b = \frac{3,5 \cdot P_0 \cdot n_B}{\Pi_6 \cdot d_D^2} = \frac{3,5 \cdot 30 \text{ kN} \cdot 120 (\text{min}^{-1})}{13 \cdot 12,5^2} = 6,2 \text{ м/с}$$

$$A_B^{см} = \frac{T_{см} - (T_{пз} + T_r)}{\vartheta_b^{-1} + T_B} = \frac{12 - 0,5}{\frac{1}{6,2} + 0,00131} = 70,7 \text{ м/смена}$$

Сменная производительность **FlexiROC D60**

$$\vartheta_b = \frac{3,5 \cdot P_0 \cdot n_B}{\Pi_6 \cdot d_D^2} = \frac{3,5 \cdot 35 \text{ kN} \cdot 120 (\text{min}^{-1})}{13 \cdot 12,5^2} = 9,04 \text{ м/с}$$

$$A_B^{см} = \frac{T_{см} - (T_{пз} + T_r)}{\vartheta_b^{-1} + T_B} = \frac{12 - 0,5}{\frac{1}{9,04} + 0,000881} = 103,1 \text{ м/смена}$$

Сменная производительность **СБШ - 250МНА 32**

$$\vartheta_b = \frac{3,5 \cdot P_0 \cdot n_B}{\Pi_6 \cdot d_D^2} = \frac{3,5 \cdot 300 \text{ kN} \cdot 120 (\text{min}^{-1})}{13 \cdot 12,5^2} = 77,53 \text{ м/с}$$

$$A_B^{CM} = \frac{T_{CM} - (T_{пз} + T_r)}{\vartheta_b^{-1} + T_B} = \frac{12 - 0,5}{\frac{1}{77,53} + 0,001601} = 793,1 \text{ м/смена}$$

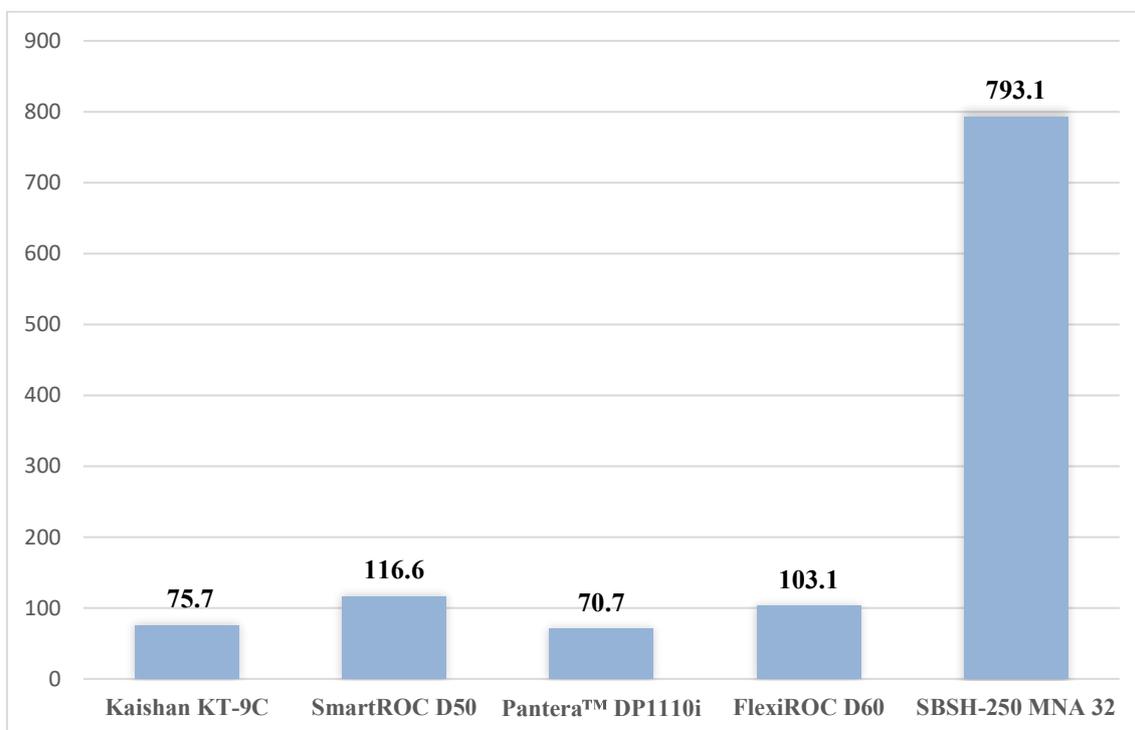


Рисунок 6 Производительность буровых станков

На рис. 6 представлен график сменной производительности рассмотренных буровых станков, подходящих к условиям месторождения ТЕБИНБУЛАК. Из графика видно, что наиболее производительным станком является станок СБШ-250МНА-32. Его показатели по производительности в разы больше конкурентов.

Выводы и рекомендации:

Предложенные современные буровые станки имеют значительные преимущества по сравнению с устаревшими аналогами и отвечают всем техническим и технологическим требованиям рудника ТЕБИНБУЛАК. Каждая модель имеет определенное преимущество перед остальными:

1. SmartROC D50 и FlexiROC D60 показывают оптимальный баланс между мощностью и тягой, при умеренном энергопотреблении — подходят для экономичной и стабильной работы.
2. Pantera™ DP1110i выделяется низким энергопотреблением, что делает её хорошим выбором для энергосберегающих проектов.
3. СБШ-250МНА-32 — самый мощный (из рассмотренных) буровой станок с максимальной производительностью, но и самый энергозатратный станок. Подходит для интенсивных буровых операций, где производительность важнее экономичности.

-
4. Kaishan KT-9C отстаёт по большинству параметров, что подчёркивает её техническую устарелость по сравнению с новыми моделями.

Список источников

1. Подэрни Р.Ю. Станки вращательного бурения взрывных скважин на открытых работах за рубежом. Горное оборудование и электромеханика № 12, 2006, с. 20–24.
2. Катанов Б.А. Современное состояние и перспективы развития бурового оборудования карьеров в условиях Кузбасса. Горное оборудование и электромеханика. № 12, 2006, с. 25–27.
3. Катанов Б.А., Воронов Ю.Е. О новом типаже буровых станков для открытых горных работ //Уголь, № 7, 1998, с. 24–26.
4. Epiroc. SmartROC D50 Surface drill rig – Technical Specifications. – <https://www.epiroc.com>
5. Sandvik. Pantera™ DP1100i – Intelligent surface top hammer drill rig. – <https://www.rocktechnology.sandvik>
6. Atlas Copco. FlexiROC D60 – Surface drill rig specification. –<https://www.atlascopco.com>
7. Плотников В. Г. Буровые машины и оборудование. – Москва: Недра, 2018. – 344 с.
8. Kaishan Group Co., Ltd. KAISHAN KT-9C – Drill Rig Specifications. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaishanglobal.com> – Дата обращения: 05.08.2025.
9. Миронов А. И., Базаров С. Э. Техника и технология буровзрывных работ в горной промышленности. – Новосибирск: Наука, 2021. – 288 с.
10. Танайно А.С., Липин А.А. Состояние и перспективы ударновращательного бурения взрывных скважин на карьерах. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. № 2, 2004, с. 82–86.