

Анализ применения безвзрывных технологий в условиях криолитозоны

Д.В. Хосоев ✉

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск,
Российская Федерация
✉ hosoev70@mail.ru

Резюме: Проведен анализ эксплуатации горной техники на угольных, алмазоносных и других горных предприятиях в условиях криолитозоны. На безвзрывной добыче используются гидромолоты, ковши активного действия на экскаваторах, рыхлители на бульдозерах, баровые машины, горные комбайны, в отдельных случаях – роторные экскаваторы. Отмечено, что гидравлические экскаваторы обладают высокими усилиями копания, могут производить селективную выемку, выполнять зачистку подошвы забоя без применения бульдозера, позволяют уменьшить, а иногда полностью отказаться от применения буровзрывных работ. В ходе испытаний РС-5500 на разрезе Нерюнгринский были установлены граничные значения угла откоса забоев в зависимости от температуры окружающей среды. При положительной температуре его значение равно 46° ; в межсезонный период – 60° ; в условиях экстремально низких температур – 72° . Опыт применения гидравлических экскаваторов фирмы LIEBHERR на карьерах строительных материалов показывает, что прочность на одноосное сжатие пород, разрабатываемых без предварительного рыхления взрывом, может достигать 120–150 МПа. Компанией Caterpillar предложена технология рыхления и экскавации прочных горных пород (вплоть до скальных) быстрозаменяемым навесным оборудованием. На основании анализа физико-механических свойств вскрышных пород и угля месторождения с учетом усилий резания рабочего органа в ИГДС СО РАН обоснована возможность применения и установлены расчетные показатели производительности комбайнов КСМ-2000Р на породах и углях Эльгинского месторождения. С учетом горно-геологических условий и свойств горных пород Эльгинского месторождения сотрудниками фирмы Wirtgen International GmbH произведен расчет технико-экономических показателей выемки угля и вскрышных пород с использованием горных комбайнов Wirtgen 4200SM с погрузкой в 130-тонные автосамосвалы.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, гидравлические экскаваторы, безвзрывная выемка, усилия копания, бульдозеры, рыхление, погрузка, вскрышные работы, карьерные комбайны, физико-химическая подготовка

Для цитирования: Хосоев Д.В. Анализ применения безвзрывных технологий в условиях криолитозоны. *Горная промышленность*. 2022;(5):131–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-131-134>

Analysis of applying blast-free technologies in conditions of cryolithic zones

D.V. Khosoev ✉

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation
✉ hosoev70@mail.ru

Abstract: Operation of mining equipment has been analyzed at coal, diamond mining and other mining enterprises in conditions of cryolithic zones. Hydraulic breakers, dynamic buckets on excavators, rippers on bulldozers, bar cutters, continuous mining machines, and in some cases, rotary mechanical shovel are used in blast-free mining. It is noted that the hydraulic shovels are characterized with high excavation forces, can be used in selective mining, can clean the foot wall without using a bulldozer, and can reduce or sometimes completely eliminate drilling and blasting operations. Boundary values of the face slope angle depending on the ambient temperatures were established during the tests of RS-5500 at the Neryunginsky open pit mine. Its value is equal to 46° in positive temperature; while during the interseasonal periods the value stands at 60° , and in conditions of extremely low temperatures this value reaches 72° . Experience of using the LIEBHERR hydraulic shovels in building stone quarries shows that the uniaxial compressive strength of the rocks developed without blast pre-conditioning can reach 20-150 MPa. The Caterpillar company proposed a technology for ripping and excavating rocks (up to hard rocks) with quickly replaceable attachment tools. Based on analyzing physical and mechanical properties of the overburden rocks and coal at the deposit with account of cutting forces of the working tool, Mining Institute of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences justified the possibility of using and established estimated performance parameters of the KCM-2000P Continuous Miner for the rocks and coals of the Elga deposit. Taking into account mining and geological conditions and rock properties of the Elga deposit, specialists of Wirtgen International GmbH calculated the technical and economic parameters of coal and overburden excavation using the Wirtgen 4200SM Surface Miners with loading into the 130-ton dump trucks.

Keywords: permafrost, hydraulic shovels, blast-free mining, excavation forces, bulldozers, ripping, loading, overburden removal, surface miners, physical and chemical conditioning

For citation: Khosoev D.V. Analysis of applying blast-free technologies in conditions of cryolithic zones. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):131–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-131-134>

Введение

Многолетняя мерзлота занимает площадь около 10 млн км², или более 60% территории России.

Южная граница распространения мерзлоты проходит с северо-запада на юго-восток от Кольского полуострова к устью р. Мезень и далее почти по Северному полярному кругу до Урала. В Западной Сибири граница имеет субширотное простираие: вдоль широтного отрезка р. Обь, к истокам р. Таз и далее до р. Енисей к устью р. Подкаменная Тунгуска, где она резко поворачивает на юг. К востоку от Енисея мерзлота распространена почти повсюду, исключая юг п-ова Камчатка, о. Сахалин и Приморье¹.

На территории Крайнего Севера и приравненных к нему районов расположена значительная часть горнодобывающих предприятий с открытым способом добычи полезных ископаемых, на которых используют горнотранспортное оборудование.

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом выемочно-погрузочные работы являющиеся одним из основных производственных процессов.

На протяжении нескольких десятилетий бульдозерно-рыхлительные агрегаты были практически единственным средством при безвзрывной разработке многолетнемерзлых пород в условиях низкой температуры воздуха. Это оборудование хорошо зарекомендовало себя на карьерах Сибири и Северо-Востока страны, и, как правило, механическое рыхление обычно в 2–3 раза дешевле взрывного.

Анализ применения безвзрывной горной техники

Основные исследования по определению параметров и производительности механического рыхления многолетнемерзлых пород выполнены институтом ВНИИ-1, г. Магадан. Получены экспериментальные данные по рыхлению пород различного состава. Установлено, что наибольшая производительность бульдозерно-рыхлительных агрегатов достигается при рыхлении мерзлой корки (до 1000 м³/ч для наиболее мощных машин). При рыхлении массива многолетнемерзлых пород их производительность снижается в 10–12 раз и более [1].

При разработке мерзлых пород наиболее эффективными оказались одноосечные рыхлители. Навесные рыхлители на мощных тракторах позволяют производить рыхление мерзлых пород. Например, сменная производительность навесного рыхлителя на тракторе ДЭТ-250 типа РМГ-2 может изменяться от 40 до 200 м³ при разработке мерзлого грунта толщиной от 60 до 100 см.

С появлением более мощных машин глубина рыхления доведена до 1,3–1,78 м.

Производительность бульдозера-рыхлителя значительно уменьшается с увеличением расстояния транспортирования.

Все рыхлители, предназначенные для разработки вечномерзлых грунтов, имеют гидравлическую систему управления и гусеничное ходовое оборудование.

Карьерные экскаваторы с ковшами активного действия (КАД) способны разрабатывать трещиноватые породы прочностью только до 60...80 МПа (коэффициент крепости $f = 6...8$) без предварительного их разупрочнения.

Для применения экскаваторов с КАД наиболее перспективны угольные месторождения Кузбасса, месторождения руд цветных и редких металлов, алмазов Якутии.

Использование экскаваторов с КАД, ударные зубья которых оснащены пневмомолотами, позволяет расширить область безвзрывной выемки плотных и полускальных пород (коэффициент крепости до 3,5–4), но траектория движения ковша при этом не обеспечивает эффективной селекции [2]. Показатели, полученные в результате испытаний экспериментальных образцов ковшей и эксплуатации головных образцов экскаваторов ЭКГ-5В с ковшом активного действия при разработке пород прочностью 50–120 МПа, свидетельствуют о перспективности применения такого оборудования.

Недавно разработана модель более крупного экскаватора ЭКГ-12В с ковшом активного действия.

В настоящее время объемы применения механических лопат снижаются в пользу все более активно развивающихся выемочно-погрузочных машин – мощных гидравлических гусеничных экскаваторов – прямых и обратных лопат.

В работе [3] обобщен опыт эксплуатации гидравлических экскаваторов на месторождениях в сложных горно-геологических и климатических условиях. На предприятиях угле- и алмазодобычи определены рациональные условия эксплуатации. Анализ полученных зависимостей показал, что современные гидравлические экскаваторы имеют значения фактических усилий копания в 2–2,5 раза больше по сравнению с механическими лопатами и более приспособлены к безвзрывной выемке крепких, в том числе полускальных пород.

В ходе испытаний РС-5500 на разрезе Нерюнгринский были установлены граничные значения угла откоса забоев в зависимости от температуры окружающей среды. При положительной температуре его значение равно 46°; в межсезонный период – 60°; в условиях экстремально низких температур – 72°.

Верхотинский ГОК в Архангельском регионе на месторождении кимберлитовых руд им. Гриба использует РС-3000 с рабочим оборудованием прямая и обратная лопата и ковшом 15 м³. Погрузка производится в 130-тонные самосвалы, вскрышные породы без взрывного рыхления в объемах составили 400–500 т м³/мес.

Опыт применения гидравлических экскаваторов фирмы LIEBHERR на карьерах строительных материалов [4] показывает, что прочность на одноосное сжатие пород, разрабатываемых без предварительного рыхления взрывом, может достигать 120–150 МПа.

Компания Caterpillar® в качестве альтернативы традиционному способу добычи полезных ископаемых предлагает технологию Rip&Load (в буквальном переводе – рыхление и погрузка), которая позволяет производить рыхление и экскавацию прочных горных пород (вплоть до скальных) без применения БВР [5].

Опыт использования технологии Rip&Load позволил выявить ряд преимуществ в сравнении с классической технологией. Согласно проведенным расчетам удельные затраты на разрушение горных пород в US\$/т при использовании технологии Rip&Load приблизительно в 3 раза ниже, чем при использовании классической технологии с использованием БВР.

При разработке мерзлых грунтов в последнее время применяются машины с рабочим органом в виде режущих цепей – баров. Бары обычно являются навесным оборудованием к тракторам или многоковшовым экскаваторам. Цепи баров приводятся в движение через редуктор от вала отбора мощности. Для снижения энергоемкости процесса

1 Многолетняя мерзлота.// images.yandex.ru (Дата обращения 26.02.2020).

разрушения грунта на цепях устанавливаются не только резцы, но и клинья.

На угольных разрезах России значительные объемы вскрышных и добычных работ выполняются роторными экскаваторами.

Роторные траншейные экскаваторы ЭР-7АМ со ступенчато-шахматной схемой расположения резцов на ковшах были испытаны [6] на объектах Дальстроя в городах Хабаровске, Благовещенске, Комсомольске-на-Амуре. Производительность экскаваторов ЭР-7АМ во время испытаний (конец февраля – начало марта) на мягких породах, промерзших на глубину до 1,8 м, составляла 120–130 м³/ч. Позднее эта расстановка зубьев на ковшах была перенесена на экскаваторы ЭТР-254-01, которые успешно работали в Тюменской области в 1982–1983 гг. на вечномерзлых породах [7].

Впервые в условиях Крайнего Севера с 1985 г. на россыпи проводилась опытно-промышленная эксплуатация роторных экскаваторов ЭРГ-350 и ЭРГ-400 [8]. Среднечасовая производительность составила 482 м³/ч. На производительность роторного экскаватора оказывало весьма существенное влияние наличие включений крупнообломочного материала. Для решения этой проблемы создана методика количественной оценки экстремальных ситуаций при непрерывной экскавации горных пород с крепкими включениями. Это позволило существенно снизить влияние крепких включений, повысить эффективность и производительность роторного экскаватора в условиях россыпи р. Б. Куранах.

Использование вскрышных комплексов с роторными экскаваторами в условиях северной зоны становится эффективным при разработке малообводнённых пород, не склонных к сильному налипанию и намерзанию. Так, на разрезе Назаровский (Канско-Ачинский бассейн) вскрышные работы ведёт SRs(k)-4000 (теоретическая производительность 6700 м³/ч). Вскрышные породы представлены аргиллитами, алевролитами и слабыми песчаниками, работа проводится в течение 9 мес в год.

В 1993 г. на карьере трубки «Юбилейная» Айхальского ГОКа был начат комплекс работ с использованием комбайнов SM 2600. Коэффициент крепости по Протоdjяконову колеблется от 3 до 7,6. В процессе экспериментов установлено, что глубина резания комбайна составляет 0,2–0,25 м, максимальная – 0,26 м. При глубине 0,27 м комбайн останавливается. Производительность изменялась от 110 до 820 м³/ч (средняя – 315 м³/ч). Стойкость резцов составляла 1000–1200 м³ горной массы на один резец [9].

В 1996 г. на кимберлитовой трубке «Удачная» в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия) была осуществлена безвзрывная экскавация алмазоносных пород роторным экскаватором К-650 (Чешская Республика) с удельным усилием копания до 2,4 МПа (235 Н/см²). Такая разработка кимберлитов в условиях Крайнего Севера на нижних горизонтах глубокого (до 400 м) карьера проводилась впервые в мировой практике [10].

В районе месторождения многолетнемерзлые породы достигают глубины 400 м, температура массива составляет от –10 до –12 °С. Крепость пород по Протоdjяконову на Западном рудном теле составляет $f = 5–7$, на Восточном рудном теле доходит до $f = 8$.

При экскавации кимберлитов крепостью 4–5 по Протоdjяконову производительность экскаватора составляла до 400 м³/ч, что близко к паспортной (450 м³/ч). На Восточном рудном теле при крепости кимберлитов до 8 производительность снижалась до 140–230 м³/ч, а удельное усилие

копания доходило до 5 МПа. В целом испытания показали, что после соответствующей модернизации режущей части экскаватор К-650 способен достаточно эффективно разрабатывать кимберлиты крепостью по Протоdjяконову до 5 с производительностью до 400 м³/ч в рыхлой массе.

На основании анализа физико-механических свойств вскрышных пород и угля месторождения с учетом усилий резания рабочего органа в ИГДС СО РАН обоснована возможность применения и установлены расчетные показатели производительности комбайнов КСМ-2000Р [11] на породах и углях Эльгинского месторождения.

По разнозернистым песчаникам, которые занимают основную долю (около 70%), в коренных породах Эльгинского месторождения, производительность машины по расчетам составит от 460 до 630 м³/ч. При условии применения ПАВ производительность КСМ-2000Р по песчаникам может возрасти от 750 м³/ч до 1100 м³/ч (80% от паспортной). Производительность КСМ-2000Р по углям Эльгинского месторождения с учетом их прочностных характеристик и усилия резания машины будет обеспечена в паспортных пределах (1400 м³/ч). Полученные результаты имеют важное значение для разработки технологических мероприятий по снижению прочности многолетнемерзлых горных пород и повышению эффективности их разработки.

С учетом горно-геологических условий и свойств горных пород Эльгинского месторождения сотрудниками фирмы *Wirtgen International GmbH* произведен расчет технико-экономических показателей выемки угля и вскрышных пород с использованием горных комбайнов Wirtgen 4200SM с погрузкой в 130-тонные автосамосвалы [12].

По проведенным расчетам средняя эксплуатационная производительность Wirtgen 4200SM при разработке сложноструктурных угольных пластов составила 1900 т/ч, что превышает производительность гидравлических экскаваторов РС-2000 в 2,1 раза и РС-1250 в 3,2 раза, при этом себестоимость добычи в 1,5 раза меньше.

По вскрышным породам средняя эксплуатационная производительность рассматриваемых комбайнов составила 229 м³/ч, что меньше эксплуатационной производительности применяемых экскаваторов РС-5500 и ЭШ 20/90 в 3,1 и 1,4 раза соответственно. При этом себестоимость разработки вскрышных пород комбайнами Wirtgen 4200SM в 2,2 раза больше, чем при циклической технологии.

В работе [13] рассмотрена перспектива использования фрезерных комбайнов для селективной добычи угля в условиях вечной мерзлоты.

На основании анализа полученных графиков зависимости производительности фрезерного комбайна Wirtgen SM от прочности разрабатываемого угля установлено, что снижение его технической производительности при разработке мерзлых пород может составить до 43,0%.

Заключение

Проведенный анализ по применению безвзрывных технологий в условиях криолитозоны говорит, что за последние 15–20 лет на горнодобывающих предприятиях России ведутся достаточно масштабные работы по созданию и внедрению новых машин.

Таким образом, выполненные исследования показывают, что в недалеком будущем на месторождениях, сложенных породами и рудами с низкой прочностью, в области многолетней мерзлоты безвзрывная технология добычи может успешно конкурировать с традиционными технологическими решениями.

Список литературы

1. Щадов В.М. *Открытая разработка сложноструктурных угольных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока*. М.: Изд-во МГГУ; 1998.
2. Яковлев В.Л. Внедрение циклично-поточной технологии на открытых разработках. *Горный вестник*. 1997;(1):22.
3. Бураков А.М., Панишев С.В., Алькова Е.Л., Хосоев Д.В. Опыт применения гидравлических экскаваторов в сложных горно-геологических и климатических условиях. *Горная промышленность*. 2022;(2):90–96. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-90-96>
4. Анистратов К.Ю. Мировые тенденции развития структуры парка карьерной техники. *Горная промышленность*. 2011;(6):22–26. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/400-mirovye-tendentsii-razvitiya-struktury-parka-karernoj-tekhniki>
5. Братчиков Н.В., Шорников В.В., Антипов Д.А. Технология безвзрывной добычи горных пород. *Цемент и его применение*. 2013;(1):2–3.
6. Домбровский Н.Г., Шемякин С.А. Повышение производительности траншейных экскаваторов при разработке мерзлых грунтов. В кн.: *Оптимальное использование машин в строительстве: межвуз. сб. науч. тр.* Хабаровск; 1974. Вып. 3. С. 33–38.
7. Альшиц М.З., Ковалев Е.П., Соколов Г.И. Траншейный роторный экскаватор ЭТР-254-01. *Строительные и дорожные машины*. 1983;(9).
8. Новопашин М.Д. К вопросу об использовании роторных экскаваторов при добыче кимберлитовых руд. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1996;(5):32–34.
9. Луцишин С.В. *Создание безвзрывной технологии разработки кимберлитов послойным фрезерованием: автореф. дис. ... канд. техн. наук*. М.; 1995. 19 с.
10. Усачев В.М., Юрин Н.Н., Ялпута Г.В. Испытание компактного роторного экскаватора К-650 на карьере тр. «Удачная» в Северной Якутии. *Горная промышленность*. 1995;(4):2–4. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/463-ispityaniya-kompaktnogo-rotornogo-eksavatora-k-650-na-karere-tr-udachnaya-v-severnoj-yakutii>
11. Хосоев Д.В., Ермаков С.А. Оценка технологий разработки Эльгинского угольного месторождения. *Уголь*. 2009;(11):9–11.
12. Ермаков С.А., Иль А.Р., Хосоев Д.В. Оценка эффективности применения комбайнов Wirtgen на Эльгинском каменноугольном месторождении. *Горная промышленность*. 2018;(6):22–24. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-6-142-77-79>
13. Якубовский М.М. Обоснование эффективности применения фрезерных комбайнов селективной выемки для разработки угольных месторождений в условиях низких температур. /М.М. Якубовский, Е.А. Михайлова, А.А. Бажуков // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2021; (10); – С. 42-57.

References

1. Shchadov V.M. *Open-pit mining of complex coal deposits in Eastern Siberia and the Far East*. Moscow: Moscow State Mining University; 1998. (In Russ.)
2. Yakovlev V.L. Implementation of the In Pit Crushing and Conveying System in surface mining. *Gornyi vestnik*. 1997;(1):22. (In Russ.)
3. Burakov A.M., Panishev S.V., Alkova E.L., Khosoev D.V. Experience of using hydraulic excavators in difficult mining, geological and climatic conditions. *Russian Mining Industry*. 2022;(2):90–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-90-96>
4. Anistratov K.Yu. World trends of the surface mining machinery fleet development. *Russian Mining Industry*. 2011;(6):22–26. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/400-mirovye-tendentsii-razvitiya-struktury-parka-karernoj-tekhniki>
5. Bratchikov N.V., Shornikov V.V., Antipov D.A. Blastless rock mining technology. Cement and its Applications. . 2013;(1):2–3. (In Russ.)
6. Dombrovsky N.G., Shemyakin S.A. Increasing productivity of trench diggers in excavation of frozen ground. In: *Optimal use of machines in construction*. Khabarovsk; 1974. Iss. 3, pp. 33–38. (In Russ.)
7. Alshits M.Z., Kovalev E.P., Sokolov G.I. ETR-254-01 trench rotary mechanical shovel. *Construction and Road Building Machinery*. 1983;(9). (In Russ.)
8. Novopashin M.D. On the use of rotary mechanical shovels in Kimberlite ore mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 1996;(5):32–34. (In Russ.)
9. Lutsishin S.V. *Creating a blast-free technology for kimberlite mining by layer-wise cutting: PhD (Engineering) dissertation abstract*. Moscow; 1995. 19 p. (In Russ.)
10. Usachev V.M., Yurin N.N., Yalputa G.V. Testing of the K-650 compact rotary mechanical shovel at the Udacha Tube open-pit in Northern Yakutia. *Russian Mining Industry*. 1995;(4):2–4. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/463-ispityaniya-kompaktnogo-rotornogo-eksavatora-k-650-na-karere-tr-udachnaya-v-severnoj-yakutii>
11. Khosoev D.V., Ermakov S.A. Estimation of technologies of development a coal deposit of Elginskoe. *Ugol'*. 2009;(11):9–11. (In Russ.)
12. Ermakov S.A., Il A.P., Khosoev D.V. Assessment of the efficiency of Wirtgen surface miners operation at Elga hard coal deposit. *Russian Mining Industry*. 2018;(6):22–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-6-142-77-79>
13. Yakubovskiy M.M. Justification of efficiency of cutter-loaders application in selective mining of coal deposits in conditions of low temperatures. / Yakubovskiy M.M., Mikhailova E.A., Bazhukov A.A. // *Mining Informational and Analytical Bulletin*. – 2021. (10). – P.42-57.

Информация об авторе

Хосоев Доржо Владимирович – ведущий инженер, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1466-8509>; e-mail: hosoev70@mail.ru

Information about the author

Dorzho V. Khosoev – Lead Engineer, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1466-8509>; e-mail: hosoev70@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.09.2022
Поступила после рецензирования: 06.10.2022
Принята к публикации: 06.10.2022

Article info

Received: 15.09.2022
Revised: 06.10.2022
Accepted: 06.10.2022