

Опыт применения гидравлических экскаваторов в сложных горно-геологических и климатических условиях

А.М. Бураков, С.В. Панишев, Е.Л. Алькова, Д.В. Хосоев✉

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

Резюме: В статье обобщен опыт эксплуатации гидравлических экскаваторов на угольных, алмазоносных и других горных предприятиях. Отмечено, что современные гидравлические экскаваторы обладают усилиями копания в несколько раз выше механических лопат и более приспособлены к безвзрывной выемке крепких, в том числе полускальных пород. Показано, что даже в сложных горно-геологических и климатических условиях на угольных, алмазоносных и других предприятиях применение гидравлических экскаваторов на горных предприятиях России оправдывается высокой эффективностью и коэффициентом готовности на уровне мировых показателей, не ниже достигнутых в гораздо более благоприятных условиях. Выполненные в промышленных условиях исследования позволили определить режим и регламент сервисного обслуживания приводов, рациональные условия эксплуатации. Для компенсации изменения вязкости при низких температурах воздуха созданы системы эксплуатации с подогревом рабочих жидкостей. По опыту проведенных в России и за рубежом испытаний, безвзрывная выемка гидравлическими экскаваторами осуществляется с ограниченной производительностью (до 400 м³/ч), а рабочая масса машин должна быть не менее 300 т. Основными факторами, характерными для эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов, являются: высокий годовой фонд рабочего времени, высокие усилия и динамика (до 70 кН на 1 м³ вместимости ковша) в режиме копания рабочего оборудования в забое, высокая удельная мощность и удаленность от внешних инфраструктур по ремонту гидравлических компонентов. В процессе испытаний гидравлических экскаваторов установлены граничные значения угла откоса забоев в зависимости от температуры окружающей среды. Экспериментально установлено, что при послонной выемке гидравлическим экскаватором Н-285S сверху вниз высота забоя может составить до 25 м при паспортной высоте копания 16 м. Определен средний размер куска (не более 300 мм) горной массы для ковша 19 м³, с допустимым негабаритом в забое до 2500 мм. При нормальном качестве обслуживания средневзвешенные затраты на эксплуатацию экскаваторов с электромеханическим приводом и соответствующие показатели для гидравлических экскаваторов находятся на сопоставимом уровне.

Ключевые слова: гидравлические экскаваторы, структура массива, безвзрывная выемка, усилия копания, производительность, емкость ковша, угол откоса, прочность пород, мощность двигателя, коэффициент экскавации

Для цитирования: 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>

Experience of using hydraulic excavators in difficult mining, geological and climatic conditions

A.M. Burakov, S.V. Panishev, E.L. Alkova, D.V. Khosoev✉

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

Abstract: The article summarizes the experience of using hydraulic excavators in coal, diamondiferous and other mining operations. It is noted that the excavation capacity of modern hydraulic excavators is several times higher than that of the mechanical shovels, and the hydraulic equipment is more suitable for non-explosive excavation in hard grounds, including half-rock formations. It is shown that even in difficult mining, geological and climatic conditions in coal, diamondiferous and other mines, the use of hydraulic excavators in Russian mining companies is justified by high efficiency and high availability ratio equal to the international indicators, which are not lower than those achieved in much more favorable conditions. Research performed in industrial settings made it possible to determine the hydraulic drive's service mode and regulations, as well as rational operating conditions. Operating systems were developed with heated working fluids to compensate for the changing viscosity at low atmospheric temperatures. Based on the tests performed in Russia and abroad, blast-free excavation using

hydraulic excavators is done with limited capacity (up to 400 m³/h), and the operating weight of the machines must be not less than 300 tons. The main factors, typical for operation of the open-pit hydraulic excavators include the high annual production time, high forces and dynamics (up to 70 kN per 1 m³ of the bucket capacity) in the digging mode of the unit working at the face, high specific capacity and remoteness from the outside infrastructure used for repairs of the hydraulic components. In the course of testing the hydraulic excavators, the boundary values of the face slope angle depending on the ambient temperature were established. It was experimentally proved that at top to bottom layer-by-layer excavation with the H-285S hydraulic shovel the face height can reach up to 25 m at the rated digging height of 16 m. The average lump size (not more than 300 mm) of the rock mass in a 19 m³ bucket was determined with the permissible oversize in the face up to 2,500 mm. With the normal maintenance quality, the weighted average cost of operation for electromechanical excavators and the corresponding figures for hydraulic excavators are at a comparable level.

Keywords: Shydraulic excavators, rock mass structure, blast-free excavation, digging forces, performance, bucket capacity, angle of slope, rock strength, engine power, excavation factor

For citation: 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. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-90-96>

Введение

Две трети территории Российской Федерации, на которых разрабатывается большое количество месторождений полезных ископаемых, в том числе угля, алмазов, золота, частично или полностью сложены многолетне-мерзлыми горными породами. В этих районах находится значительная часть горнодобывающих предприятий с открытым способом добычи, на которых используют различное горнотранспортное оборудование (механические и гидравлические лопаты, драглайны, многоковшовые экскаваторы). Оборудование работает в сложных горно-геологических и климатических условиях, определяющих их производительность, надежность и затраты на эксплуатацию.

Экскавация даже весьма крепких пород без предварительной взрывной подготовки становится возможной лишь благодаря высоким энергосиловым показателям гидравлических экскаваторов. При этом режиме работы тектоническая структура массива не нарушается, что позволяет увеличивать углы откоса уступа и снижать текущий коэффициент вскрыши. Кроме того, отсутствие взрывных работ при подготовке массива к экскавации позволяет производить горные работы в непосредственной близости от комплекса промышленных сооружений по переработке добываемого сырья, сокращая технологические расстояния его доставки из забоя и уменьшая площадь земель, отчуждаемых под горнодобывочные работы.

В России применение гидравлических экскаваторов началось в Якутии в начале 80-х годов прошлого века и в настоящее время активно распространяется по всему Сибирскому региону [1]. Опыт работы зарубежных предприятий подтверждает возможность широкомасштабного применения карьерных гидравлических экскаваторов в различных условиях. Они имеют высокие усилия копания, обладают большими возможностями для производства селективной выемки, могут производить зачистку подошвы забоя без использования дополнительного бульдозера, позволяют в ряде случаев сократить, а иногда полностью отказаться от взрывной подготовки пород к экскавации. Эти и другие достоинства обусловили широкое распространение гидравлических экскаваторов различных марок за рубежом и в России.

По оценке специалистов Института горного дела Сибирского отделения РАН [2] и других научно-исследова-

тельских организаций, объем горных работ в породах средней крепости с использованием безвзрывных технологий и созданных к настоящему времени для этих целей машин только при разработке угольных и рудных месторождений Урала и Сибири может составить порядка 800–900 млн м³ в год, или 35–40% общего объема извлекаемых горных пород. Более половины этого объема составляют породы угольных разрезов Кузбасса, Канско-Ачинского бассейна и Якутии.

Эксплуатация гидравлических экскаваторов

На Черниговском разрезе в Кузбассе гидравлические экскаваторы эксплуатируются на протяжении почти 20 лет. Там, в частности, была достигнута высокая степень технической готовности экскаватора РС 4000Е с ковшом вместимостью 25 м³, который на погрузке вскрыши в автотранспорт достигал производительности 700 т м³/мес.

Среднемесячная производительность экскаваторов РС-3000Е на разрезах Кузбасса при погрузке взорванных вскрышных пород в 130-тонные автосамосвалы у обратных лопат составила 514 т м³/мес, а у прямых – 565 т м³/мес. На угольном разрезе «Восточно-Бейский» компании АО «СУЭК-Кузбасс» в январе 2015 г. на двух экскаваторах достигнута производительность 752 и 844 т м³, что является безусловным мировым рекордом в этом классе машин.

На железорудном карьере в АО «Карельский окатыш» эксплуатируются два экскаватора РС-5500Е, показавших производительность (533 т м³/мес) и коэффициент готовности (0,84–0,98) не ниже достигнутых на карьерах Чили.

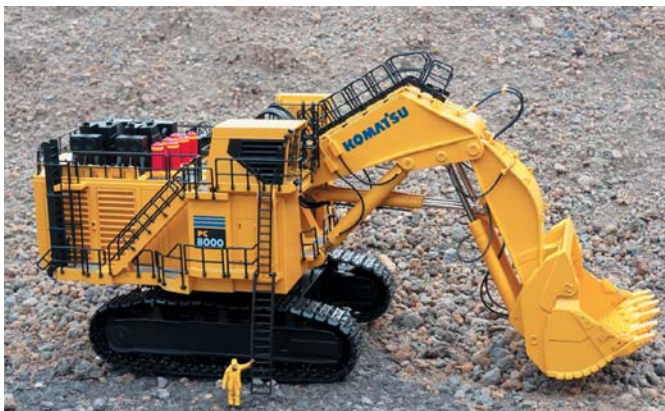
На разрезе «Красногорский» в Кузбассе был запущен в работу 12-кубовый карьерный экскаватор Komatsu PC-2000. Машина оборудована дизелем с турбонаддувом и прямым впрыском топлива. Мощность двигателя составляет 718 кВт. Экскаватор PC 2000-8 относится к классу 200-тонных машин. Ковш новой техники был усилен для работ со скальными и абразивными породами. Немного ранее аналогичную модель ввела в строй Сибирская угольная компания на разрезе «Тугнуйский».

Значительное место на рынке гидравлических экскаваторов занимает компания KOMATSU MINING GERMANY (KMG) [3]. На своем заводе в г. Дюссельдорф компания производит четыре основные модели гидравлических экскаваторов (РС-3000, РС-4000, РС-5500 и РС-8000) с рабочими массами

в диапазоне от 250 до 750 т. В Kanasawa (Япония) филиал KMG приступил к освоению выпуска моделей PC-3000 и PC-4000. С 1980 г KMG изготовила более 750 карьерных одноковшовых гидравлических экскаваторов с массой более 150 т. Компанией накоплен значительный опыт эксплуатации их на высокогорных карьерах Чили и Колумбии.

За последние 10 лет (до 2014 г.) KMG поставила более 60 мощных гидравлических экскаваторов на горные предприятия России и СНГ с ковшами вместимостью от 15 до 42 м³. Из них около 30 машин работают на угольных предприятиях, в том числе Кузбасса: 10 экскаваторов PC-5500, 2 экскаватора PC-4000 и 5 экскаваторов PC-3000. В Якутии гидравлические экскаваторы KMG работают более 14 лет. На карьерах ПАО «АК «АЛРОСА» с 1999 г. работают экскаваторы H-135S с ковшом 10 м³ и два H-285S с ковшом 19 м³.

На разрезы АО ХК (Акционерное общество Холдинговая компания) «Якутуголь» компанией поставлены восемь мощных гидравлических экскаваторов PC-8000, в том числе четыре с электроприводами главных насосов, три из которых типа PC-8000E оборудованы ковшами вместимостью до 42 м³ [3]. На вскрышных работах АО ХК «Якутуголь» с 2002 г. работают четыре экскаватора PC-5500 и три самые мощные модели PC-8000, на добычных работах экскаватор PC-3000 – обратная лопата с удлиненным рабочим оборудованием.



Выполненные исследования в промышленных условиях разреза «Нерюнгринский» позволили определить рациональные условия эксплуатации машин, режим и регламент сервисного обслуживания приводов карьерных гидравлических экскаваторов. Анализ полученных зависимостей показал, что современные гидравлические экскаваторы имеют значения фактических усилий копания в 2–2,5 раза больше по сравнению с механическими лопатами [1] и более приспособлены к безвзрывной выемке крепких, в том числе полускальных пород.

В процессе испытаний PC-5500 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°. Установлены зависимости усилия напора и отрыва от высоты копания при различных радиусах копания для условий разработки забоев в наиболее тяжелых зимних условиях при углах откоса забоя в среднем 72°. Экскаватор имеет мощность двигателей 2×900 кВт и эксплуатационную массу до 546 т, с напорным усилием на уровне грунта 1850 кН. Ширина режущей кромки ковша 4380 мм, емкость ковша 28 м³.

Следует отметить, что условия экскавации в забоях с кимберлитовыми породами (в ПАО АК «АЛРОСА») существенно отличаются от вскрышных забоев на разрезе «Нерюнгринский».

На основе 10-летней эксплуатации в АК «АЛРОСА» (ПАО) были апробированы значения параметров и определены возможности мощных гидравлических экскаваторов (H-285S) с ковшом 19 м³. Экспериментально установлено, что при послышной выемке сверху вниз высота забоя может составить до 25 м при паспортной высоте копания 16 м. Определен средний размер куска (не более 300 мм) горной массы для ковша 19 м³, с допустимым негабаритом в забое до 2500 мм.

На Удачинский ГОК экскаватор H-135S с рабочей массой 140 т был поставлен в сентябре 1999 г. При температуре окружающей среды до –36 °С не было выявлено существенных замечаний. Дальнейшее снижение в первую зиму температуры до –54 °С обусловило значительное количество отказов, связанных с работой техники в непредусмотренных температурных режимах.

Высокие производственные показатели работы дизельных экскаваторов PC-3000 были также достигнуты и на месторождении кимберлитовых руд им. Гриба – Верхотинский ГОК в Архангельском регионе, где PC-3000 с рабочим оборудованием прямая и обратная лопата и ковшом 15 м³ отгружали в 130-тонные самосвалы вскрышные породы без взрывного рыхления в объемах 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. Однако необходимо учитывать, что усилия копания для таких пород должны быть весьма высокими, поэтому производительность экскаватора по погрузке имеет второстепенное значение. Следовательно, машины для безвзрывной выемки пород по типоразмеру всегда больше, чем требуется для обеспечения заданной производительности по погрузке горной массы.

Оптимизированная специалистами фирмы Liebherr конструкция ковша для модели R-992 Litronic позволила реализовать усилие копания 360 кН/м режущей кромки (ширина 2500 мм), что на 22% больше, чем у стандартного ковша. Вместимость ковша составила 6,4 м³ (при стандартном 9,6 м³). Производительность R-992 при безвзрывной выемке известняков из массива с мощностью пропластка до 0,5 м составила более 400 т/ч, или около 180 м³/ч.

Для экскаватора R-994 той же модели разработан специальный ковш 8 м³ для выемки пород из крупноблочного массива (размер блока до 0,7 м). При общем усилии копания 1100 кН удельное усилие на режущую кромку ковша составило 350 кН/м. Экскаватор добывал известняк с прочностью на сжатие 60–100 МПа. Производительность при безвзрывной выемке породы и погрузке в автосамосвалы составила 500–650 т/ч, или 220–280 м³/ч.

В.Г. Мерзляков и др. утверждают, что при соответствующих геологических условиях (крупность блоков-отделений, крепость связей и крепость породы) применение мощных гидравлических экскаваторов для безвзрывной выемки может быть весьма целесообразным [3]. Речь идет о работе экскаватора RH-120E производства O&K со скальным ковшом 8,4 м³ при стандартном ковше 17 м³ на карьере известняка в Альмендингене (Германия), где была достигнута производительность около 840 т/ч (370 м³/ч),



и экскаватора Hitachi EX1900 со скальным ковшом 6 м³ на карьере Щуровского цементного завода.

На известняковом карьере Жигулевского КСМ – Яблоневском месторождении были проведены испытания по внедрению безвзрывной технологии с использованием двух гидравлических экскаваторов RH-90 Terex O&K «прямая лопата». Экскаваторы были оборудованы стандартными скальными ковшами вместимостью 8 м³. Планировалась отработка пласта известняков крепости 7...8, плотностью 2,3 т/м³. В настоящий момент отработка известняка проводится при взрывном «встряивании» массива с расходом взрывчатки 120 г/м³. Отработка вторым экскаватором скальной вскрыши крепостью 4...5 также проводится с предварительным взрывным встряиванием.

В описанных случаях эффективная работа экскаваторов достигалась только при наличии ослабленного слоя от ранее проведенных буровзрывных работ или при благоприятствующей системе трещиноватости. Затем машины начинают работать в режиме перегрузки и эффективность технологии резко снижается.

Испытания также показали, что внедрение безвзрывной технологии с применением экскаваторов рабочей массой менее 300 т неэффективно. Обе модели экскаваторов RH-90 и EX1900 являются слишком легкими для такого вида работ.

Эксплуатационные затраты при применении гидравлических экскаваторов динамично изменяются по годам эксплуатации. При этом даже наиболее дорогие средние ремонты не превышают двукратной величины средних затрат. Средние эксплуатационные затраты на 1 м³ горной массы с объемной массой 2,5 т/м³ составляют для гидравлического экскаватора с ковшом емкостью 15 м³ – 0,076 евро, а с ковшом вместимостью 20 м³ – 0,079 евро. При нормальном качестве обслуживания средневзвешенные затраты на эксплуатацию экскаваторов с электромеханическим приводом и соответствующие показатели для гидравлических экскаваторов находятся на сопоставимом уровне.

Проведение ТО гидравлических экскаваторов эффективнее (по принципу соотношения экономических затрат и уровня технической готовности): при отсутствии необходимости их интенсивной эксплуатации – по базовой стратегии (проведение в течение всего срока эксплуатации экскаватора только самых необходимых процедур), при наличии большого парка однотипных машин – по групповой стратегии (с назначением интервала, по истечении которого заменяются все однотипные детали и узлы), во всех

остальных случаях – по индивидуальной стратегии (подразумевает замену конкретных деталей по их наработке и используется при наличии хорошей статистической базы фактически вышедших из строя деталей, то есть «отказной» базы) [5].

Основными факторами, характерными для эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов, являются:

- высокий годовой фонд рабочего времени (7000 ч);
- высокие усилия и динамика (до 70 кН на 1 м³ вместимости ковша) в режиме копания рабочего оборудования в забое;
- высокая удельная мощность (до 3,7 кВт/т на 1 т рабочей массы);
- удаленность от внешних инфраструктур по ремонту гидравлических компонентов.

Имеется целый ряд дополнительных факторов, снижающих надежность гидропривода на карьерных экскаваторах в условиях горных предприятий [1]:

- высокий уровень загрязненности воздуха в рабочей зоне (до 1,2 г/л);
- экстремально низкие или высокие температуры окружающей среды, что предопределяет значительные изменения вязкости гидрожидкости: в процессе работы в 10–15 раз, а в процессе запуска в 250 раз;
- высокие нагрузки, возникающие при экскавации очень твердых или плохо взорванных пород, что предопределяет необходимость искусственного ограничения давления в системе для увеличения срока службы гидравлических компонентов;
- недостаточно высокий уровень технического обслуживания по причине низкой квалификации обслуживающего персонала, а также в связи с недостаточным техническим оснащением измерительными приборами и специальным инструментом.

Методика управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при применении гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, основанная на использовании элементов математического моделирования усреднения его значения, обеспечивает высокую точность результатов расчета коэффициента и повышает эффективность использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата [6].

Основные требования к параметрам гидравлических экскаваторов, обеспечивающим эффективную замену механических лопат в условиях низких температур, обоснованы в [7]. Утверждается, что «надежность функционирования гидравлических экскаваторов (с коэффициентом технической готовности до 97%) зависит от надежности и качества механических конструкций экскаватора, надежности гидравлических систем и организации технического обслуживания и плановых ремонтов машин». Особой проблемой являются ограничения по применению гидравлических экскаваторов в условиях низких температур по сравнению с механическими лопатами. В этих условиях функционирование гидравлических систем существенно усложняется.

В Южной Якутии на угольном разрезе «Нерюнгринский» для экскаваторов КМГ были созданы и применены специальные гидравлические жидкости, масла и смазки, а также системы и средства предварительного подогрева всех рабочих жидкостей, включая антифриз для дизельных двигателей. Наиболее продвинутыми являются созданные с участием Х.Р. Кельша системы эксплуатации при низ-

ких температурах для экскаваторов КМГ. Разработаны две системы подогрева рабочей жидкости – электрическим способом и за счет использования подогревой гидравлической жидкости и антифриза, подаваемых от других горных машин с гидроприводом. Значения коэффициента готовности за счет применения при отрицательных температурах системы предварительного подогрева увеличиваются на 4%.

Производительность гидравлических экскаваторов

При выборе типа выемочной машины для конкретных горнотехнических условий крайне важно исходить из того, что ее модель и параметры забоя должны соответствовать физико-техническим характеристикам разрабатываемой породы.

В работе В.И. Ческидова и др. [8] на примере горно-обогатительных комбинатов АК «АЛРОСА» (ПАО) выполнена методика расчета производительности выемочно-погрузочных машин, в том числе и гидравлических экскаваторов. Изложена основная часть методики, а именно: метод расчета технической производительности выемочно-погрузочного оборудования, зависящей от трех основных факторов – свойств породы, формы и размеров забоя, конструкции выемочной машины. Техническая производительность является основой для последующего определения всех категорий эксплуатационной производительности, учитывающей организацию горных работ.

Согласно [1; 3] производительность экскаватора (м³/ч) определяется из выражения:

$$Q_t = \frac{3600 \times E_k \times K_s}{T_c}, \tag{1}$$

где K_s – коэффициент экскавации (характеризует эффективность использования вместимости E_k ковша экскаватора):

$$K_s = \frac{K_{nk}}{K_{rk}} K_u = \frac{(1,28 - 0,72 \times d_{cr})}{(1,19 + K_{pr} \times d_{cr})} \times K_u, \tag{2}$$

где K_{nk} и K_{rk} – коэффициенты наполнения ковша и разрыхления породы в нем соответственно. При разработке взорванных пород величина этих коэффициентов зависит в основном от кусковатости пород d_{cr} и для мехлопат определяется (в диапазоне $d_{cr} = 0,1-0,6$ м) из формулы (2) [1, 19]; K_{pr} – коэффициент пропорциональности для ковшей с различной вместимостью E_k . Величина E_{pr} определяется по зависимости коэффициента разрыхления породы K_{pr} от вместимости ковша E_k : $K_{pr} = -0,0186E_k + 1,078$, полученной путем аппроксимации данных [8]; K_u – коэффициент, учитывающий повышение вместимости ковша гидравлических экскаваторов по сравнению с мехлопатовой за счет увеличения степени его наполнения и лучшей «упаковки» породы, обеспечиваемой значительным усилием внедрения ковша в забой. Величина $K_u = 1,11$ принята на основании исследований, проведенных на карьере «Мир» АК «АЛРОСА» (ПАО) у мехлопаты $K_u = 1,0$.

Минимальная техническая продолжительность рабочего цикла экскаватора (c) состоит из трех основных операций:

$$T_c = t_w + t_r + t_{pm}, \tag{3}$$

где t_w – продолжительность черпания, c ; t_r – продолжительность разгрузки ковша экскаватора, c ; t_{pm} – суммарная продолжительность поворотов при работе экскаватора в забое, c .

Коэффициент разрыхления породы (K_{pk}) в ковше обычно не превышает 1,1–1,2. Ковш заполняется породой «с шапкой» и коэффициент его наполнения (K_{nk}) достигает 1,1–1,2. Коэффициент экскавации (K_s) при этом близок к единице, а техническая производительность достигает максимума и приближается к паспортной. При выемке плотных пород (твердые глины, мел, бурые угли и др.) коэффициент K_{pk} возрастает до 1,3–1,4 и более, коэффициент наполнения ковша (K_{nk}) и коэффициент экскавации снижается соответственно до 0,6–0,7 и 0,55–0,65. В результате техническая производительность экскаваторов оказывается существенно ниже, чем в мягких породах.

По методике расчета А.С. Носенко и др. [9] техническая производительность экскаватора равна:

$$Q_m = 60qnk_n \frac{1}{k_p} k_m, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где k_n – коэффициент наполнения ковша; k_p – коэффициент разрыхления грунта; k_m – коэффициент влияния трудности разработки (для грунтов II категории); q – емкость ковша; n – число рабочих циклов за 1 ч.

Таблица 1
Ориентировочное значение коэффициентов k_n, k_p, k_r

Table 1
Approximate value of the k_n, k_p, k_r coefficients

Категория грунта	Значения коэффициентов		
	k_n	k_p	k_r
I	1,05	1,1	1,0
II	1–1,05	1,2	0,95
III	0,9	1,25	0,8
IV	0,85	1,3–1,35	0,7

Проведенный на основе методик расчета [8; 9] анализ имеющихся данных по параметрам гидравлических экскаваторов, приспособленных для выемки скальных пород (удельное усилие на режущую кромку ковша, ширина режущей кромки ковша, напорное усилие, рабочая масса, объем ковша), показал, что при емкости скальных ковшей 6–8 м³ на породах прочностью 60–100 МПа достигается производительность 280–370 м³/ч. Удельное усилие на режущей кромке ковша возрастает не в прямой зависимости от общего напорного усилия, так как с увеличением типоразмера экскаватора увеличивается и емкость ковша. Несложные расчеты убеждают, что для экскаватора РС-5500 удельное усилие на режущей кромке составляет не более 420 кН/м. Однако большая масса машины (546 т) позволяет эффективно реализовывать это усилие и достичь уровня производительности 400–500 м³/ч. Существенного повышения производительности можно добиться путем применения нетрадиционных физико-химических методов безвзрывной подготовки к экскавации массива крепких горных пород.

По опыту эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов, приводимому в [9], также указывается, что

Таблица 2
Эксплуатационные показатели ведения горных работ без предварительной подготовки буровзрывными работами

Table 2
Operational performance of mining activities without preconditioning by drilling and blasting

Месторождение	Объемный вес экскавируемых пород, т/м ³	Модель экскаватора	Вместимость ковша, м ³	Средняя производительность погрузочного оборудования, м ³ /ч	Коэффициент использования экскаватора	Грузоподъемность автотранспорта, т
NSM, Англия	2,2–2,4	RH-60	6,5	255	0,82	50
		RH-75	7,6	315	0,9	
Разрезы компании «Миллер» (Англия)	2,0–2,2	RH-75	8,1	325	0,84	50
«Акрефей» (Северный Уэльс)	1,8–2,0	RH-60	6,5	360	0,94	50
Бокситовые месторождения (Австралия)	1,2–1,4	RH-75	10,0	750	0,95	75

Источник: [8].
Source: [8].

в отдельных случаях экскавация горной массы производится без предварительного рыхления взрывом. Данные о подобного рода режимах эксплуатации представлены в табл. 2. Экскавация даже весьма крепких пород без предварительной взрывной подготовки становится возможной лишь благодаря высоким энергосиловым показателям экскаваторов типа ЭГ. При этом режиме работы тектоническая структура массива не нарушается, что позволяет увеличивать углы откоса уступа и снижать текущий коэффициент вскрыши. Кроме того, отсутствие взрывных работ при подготовке массива к экскавации позволяет производить горные работы в непосредственной близости от комплекса промышленных сооружений по переработке добываемого сырья, сокращая технологические расстояния его доставки из забоя и уменьшая площадь земель, отчуждаемых под горнодобычные работы.

Выводы

1. Десятилетия эксплуатации гидравлических экскаваторов на горных предприятиях России показали, что даже в сложных горно-геологических и климатических условиях на угольных, алмазоносных и других предприятиях достигается производительность на уровне мировых рекордов в классе машин, а коэффициент готовности не ниже достигнутого на карьерах Чили в гораздо более благоприятных условиях.

2. На предприятиях угле- и алмазодобычи определены рациональные условия эксплуатации, режим и регламент

сервисного обслуживания приводов карьерных гидравлических экскаваторов, возможности машин в реальных условиях 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.

3. Испытания, проведенные на карьерах строительных материалов в России и за рубежом, показали, что при соответствующих геологических условиях применение мощных гидравлических экскаваторов для безвзрывной выемки может быть весьма целесообразным, но с ограниченной производительностью (300–400 м³/ч). При этом рабочая масса экскаваторов должна быть достаточно большой (не менее 300 т).

4. Особой проблемой функционирования гидравлических экскаваторов в условиях низких температур являются значительные изменения вязкости гидрожидкости: в процессе работы в 10–15 раз, а в процессе запуска в 250 раз, что приводит к снижению ресурса деталей и систем. Компанией KMG созданы системы эксплуатации при низких температурах с подогревом рабочих жидкостей электрическим способом или использованием подогретой гидравлической жидкости и антифриза, подаваемых от других горных машин.

Список литературы

- Фирсов А.Л., Бобровский Д.А., Сияжков А.А. Техническое перевооружение филиала ОАО ХК «Якутуголь» разрез «Нерюнгринский». *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009;(1):361–369.
- Репин Н.Я., Репин Л.Н. *Выемочно-погрузочные работы*. 2-е изд. М.: Горная книга; 2012. 267 с.
- Мерзляков В.Г., Слесарев Б.В., Штейнцайг В.М. Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России. *Горное оборудование и электромеханика*. 2013;(5):15–20.
- Анистратов К.Ю. Безвзрывная выемка полускальных пород на карьерах стройматериалов гидравлическими экскаваторами фирмы Liebherr. *Горная промышленность*. 1998;(2):41–45.
- Грабский А.А., Сергеев В.Ю., Грабская Е.П. Обоснование выбора стратегии технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов. *Уголь*. 2021;(2):14–17. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17>

6. Логинов Е.В., Тюленева Т.А. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата. *Уголь*. 2021;(12):6–10. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10>
7. Кельш Х.Р. К вопросу обоснования параметров мощных карьерных гидравлических экскаваторов для эффективной замены механических лопат в условиях низких температур. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2008;(8):76–80.
8. Молотилов С.Г., Ческидов В.И., Норри В.К., Ботвинник А.А. Методика определения производительности выемочно-погрузочных машин на карьерах с автомобильным транспортом. Ч. II. Метод расчета технической производительности. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2009;(1):54–72.
9. Носенко А.С., Шемшюра Е.А., Алтунина М.С. *Строительные и дорожные машины: методические указания к выполнению практических работ*. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ); 2016. 64 с.
10. Штейнцвайг Р.М. *Методика определения параметров и показателей эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов*. М.: ИГД им. А.А. Скочинского; 1980. 49 с.

References

1. Firsov A.L., Bobrovskiy D.A., Sinyakov A.A. Replacement of the technical equipment at the Neryungrinskiy open-pit mine owned by a branch of the joint stock holding company Yahtugol. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2009;(1):361–369. (In Russ.)
2. Repin N.Ya., Repin L.N. *Excavation and loading operations*. 2nd. Moscow: Gornaya kniga; 2012. 267 p. (In Russ.)
3. Merzlyakov V.G., Slesarev B.V., Shteinzaig V.M. Expearance operation hydvavlick shovels komatsu mining germany on the mining of Russia. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2013;(5):15–20. (In Russ.)
4. Anistratov K.Yu. Blast-free excavation of half-rock at construction stone quarries using Liebherr hydraulic excavators. *Russian Mining Industry*. 1998;(2):41–45. (In Russ.)
5. Grabsky A.A., Sergeev V.Yu., Grabskaya E.P. Rationale for choosing a strategy for maintenance and repair of quarry excavators. *Ugol*. 2021;(2):14–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17>
6. Loginov E.V., Tyuleneva T.A. Control of quarry parameters to improve the efficiency of hydraulic backhoes. *Ugol*. 2021;(12):6–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10>
7. Kelsh Kh.R. On justification of parameters for powerful hydraulic open-pit excavators for effective replacement of mechanical shovels under low temperature conditions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2008;(8):76–80. (In Russ.)
8. Molotilov S.G., Cheskidov V.I., Norri V.K., Botvinnik A.A. Methodical principles for planning the mining and loading equipment capacity for open cast mining with the use of dumpers. part ii: engineering capacity calculation. *Journal of Mining Science*. 2009;45(1):43–58. <https://doi.org/10.1007/s10913-009-0006-9>
9. Nosenko A.S., Shemshura E.A., Altunina M.S. *Construction and road machines: methodological guidelines for practical assignments*. Novocheerkassk: Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI); 2016. 64 p. (In Russ.)
10. Shteintsai R.M. *Methodology for determining the parameters and indicators of application efficiency of open-pit hydraulic excavators*. Moscow: Institute of Mining A.A. Skochinsky; 1980. 49 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Бураков Александр Михайлович – старший научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация

Панишев Сергей Викторович – ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6908-2495>

Алькова Елена Леонидовна – научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация

Хосоев Доржо Владимирович – ведущий инженер, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: hosoev70@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.03.2022

Поступила после рецензирования: 23.03.2022

Принята к публикации: 25.03.2022

Information about the authors

Alexandr M. Burakov – Senior Research Associate, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

Sergey V. Panishev – Leading Research Associate, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6908-2495>

Elena L. Alkova – Research Associate, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

Dorzho V. Khosoev – Lead Engineer, Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: hosoev70@mail.ru

Article info

Received: 03.03.2022

Revised: 23.03.2022

Accepted: 25.03.2022