

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ НАБОРА ГОРНОЙ МАССЫ КАРЬЕРНЫМ ЭКСКАВАТОРОМ НА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Хамидов О.У., Шибанов Д.А., Колпаков В.О.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Ключевые слова: карьерный экскаватор, время цикла, машинист, величина заглубления, производительность экскаватора, эргатический фактор управления.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности набора горной массы, изменение производительности карьерных экскаваторов в условиях реальной эксплуатации, в том числе при влиянии квалификации машинистов. Проведен анализ процесса набора горной массы карьерным экскаватором в различных по сложности экскавации условиях. В рамках эксперимента проанализированы траектории движения ковша в забое, величина заглубления и высота набора горной массы и их влияние на продолжительность экскавационного цикла. Выявлены причины возникновения стопорных режимов приводов при экскавации, интенсивность их проявления при работе машинистов разного уровня квалификации. Выполнен сравнительный анализ времени экскавации в фактических условиях эксплуатации и базового времени, согласно техническим характеристикам. Оценено влияние эксплуатационных факторов на достижение целевых показателей производительности.

INFLUENCE OF FEATURES OF ROCK MASS RECRUITMENT OF AN OPEN-PIT EXCAVATOR ON ITS PRODUCTIVITY

Khamidov O.U., Shibanov D.A., Kolpakov V.O.

Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg

Keywords: quarry excavator, cycle time, operator, depth value, excavator productivity, ergative factor of management.

Abstract. The article addresses the characteristics of rock mass recruitment and the impact of operational conditions on the productivity of quarry excavators, including the influence of driver qualifications. The process of rock mass recruitment by a quarry excavator in different conditions of excavation complexity is subjected to analysis. The experiment analyses the trajectories of bucket movement in the face, the value of burial and the height of rock mass recruitment, and their influence on the duration of the excavation cycle. It also reveals the reasons for the occurrence of stop modes of drives at excavation and the intensity of their manifestation at the work of machinists of different levels of qualification. Furthermore, it performs a comparative analysis of the excavation time in actual operating conditions and the basic time according to technical specifications. Finally, it assesses the influence of operational factors on the achievement of target performance indicators.

Введение. Объем добычи полезных ископаемых открытым способом на карьерах России по состоянию на 2023 год составляет порядка 70% [1]. Основным технологическим оборудованием при разработке открытым способом являются экскаваторы циклического действия. Для карьеров большой мощности и сроком службы более 20 лет наиболее эффективными считаются карьерные электрические экскаваторы. Общая доля канатных экскаваторов с объёмом ковша от 10 м³ на карьерах России составляет более 80% [2].

В современных реалиях развития горных работ от выемочно-погрузочного оборудования требуется постоянное повышение эффективности его работы. Достичь повышения эффективности и безопасности выемочно-погрузочных работ на горнодобывающих предприятиях возможно повышением квалификации эксплуатирующего экскаваторы персонала. Высокая квалификация машинистов и практический опыт позволяют в процессе экскавации горных горной массы работать с режимными параметрами приводов машины, исключая достижение предельных нагрузок. При управлении экскаватором высокая квалификация машиниста подтверждается его способностью расположения экскаватора на рабочей площадке и способностью перемещения ковша в забое с

рациональными скоростями и усилиями, обеспечивающими достижение минимального цикла экскавации при минимизации расходования ресурса [3-5].

Индивидуальный подход к работе с машиной каждого машиниста влияет на выбор траектории движения ковша при наборе горной массы. Это, в свою очередь, приводит к работе с различными скоростными и силовыми параметрами экскаваторного привода даже при одинаковых условиях эксплуатации.

Эффективное выполнение цикла экскавации требует согласованного управления приводами подъема, напора и поворота [6-8].

Основные существенные отличия в особенностях управления машиной наблюдаются в процессе набора горной массы ковшом экскаватора [9,10]. Согласно требованиям завода-изготовителя для правильной работы экскаватора, управляя усилием напора, необходимо осуществлять набор горной массы с величиной заглубления, при которой полное заполнение ковша будет обеспечено на высоте напорного вала, при условии, что в забое не будет образования «kozyрьков». Скорость заполнения ковша горной массой пропорциональна величине заглубления ковша в развал забоя. Максимальная скорость будет определяться значениями предельных моментов приводов подъема и напора. Если скорость набора горной массы не достаточна для выдерживания времени цикла следует повысить скорость привода подъема при одновременном уменьшении величины заглубления и увеличении высоты копания на всю высоту забоя, вплоть до максимальной высоты копания, согласно технической характеристики экскаватора.

Материалы и методы исследования

Проведено моделирование выемочно-погрузочных работ с погрузкой в автотранспорт грузоподъемностью 220 т. При моделировании изменяемым параметром была квалификация машиниста экскаватора. Оценка эффективности управления машиной проводилась на основе изменения в рамках цикла экскавации значений силовых параметров приводов подъема. Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты моделирования процесса экскавации и погрузки

Наименование показателя	Машинист 1	Машинист 2
Квалификация	высокая	низкая
Время погрузки самосвала, с	87	174
Среднее время цикла, с	17,4	29
Степень заполнения ковша, %	100	87

Низкие значения времени цикла, соответственно и высокие показатели производительности машины, достигаются машинистами высокой квалификации, так как их действия по согласованию работы механизмов подъема и напора обеспечивают плавность управления движением рабочего оборудования экскаватора на рациональной траектории движения рабочего оборудования при достаточной, но не избыточной, величине внедрения ковша в развал горной массы до полного его наполнения к концу траектории копания.

По результатам моделирования подтверждено, что наибольшая эффективность эксплуатации карьерных экскаваторов достигается при управлении операторами высокой квалификации. Они рационально подходят к выбору величины заглубления ковша в развал горной массы, скорости и траектории перемещения рабочего оборудования в пространстве забоя, что позволяет сохранять высокую производительность и плавность управления рабочим оборудованием экскаватора [3].

Для подтверждения результатов моделирования проведен натурный эксперимент на двух работающих экскаваторах с объемом ковша 20 м³. Работа первого экскаватора осуществлялась в 15 метровом забое V категории по сложности экскавации, а второго – в 10 метровом забое II категории по сложности экскавации. В обоих случаях погрузка осуществлялась в самосвал грузоподъемностью 220 т. Высота напорного вала экскаватора – 10 м, габаритные размеры ковша: высота – 3,1 м, ширина – 3,7 м, глубина – 3,9 м.

Результаты. Во время набора горной массы на основе покадрового анализа хронометража проводилась фиксация изменения положения ковша в забое как по высоте, так и по величине заглубления. Изменения положения ковша в забое представлены графически на рисунках 1 и 2.

Согласно техническим характеристикам экскаватора и документации завода изготовителя (в частности, расчетам загрузки приводов) время базового цикла составляет 27 с, из них копание – 9,7 с. Для забоя V категории по сложности экскавации среднее время набора горной массы составляет 12 с, полное наполнение ковша происходит на уровне 0,62-0,70 высоты напорного вала. Следует отметить, что один из циклов был завершён на высоте напорного вала.

Для забоя II категории по сложности экскавации среднее время набора составило 9 с. Полное заполнение ковша происходит на 0,60-0,68 высоты напорного вала.

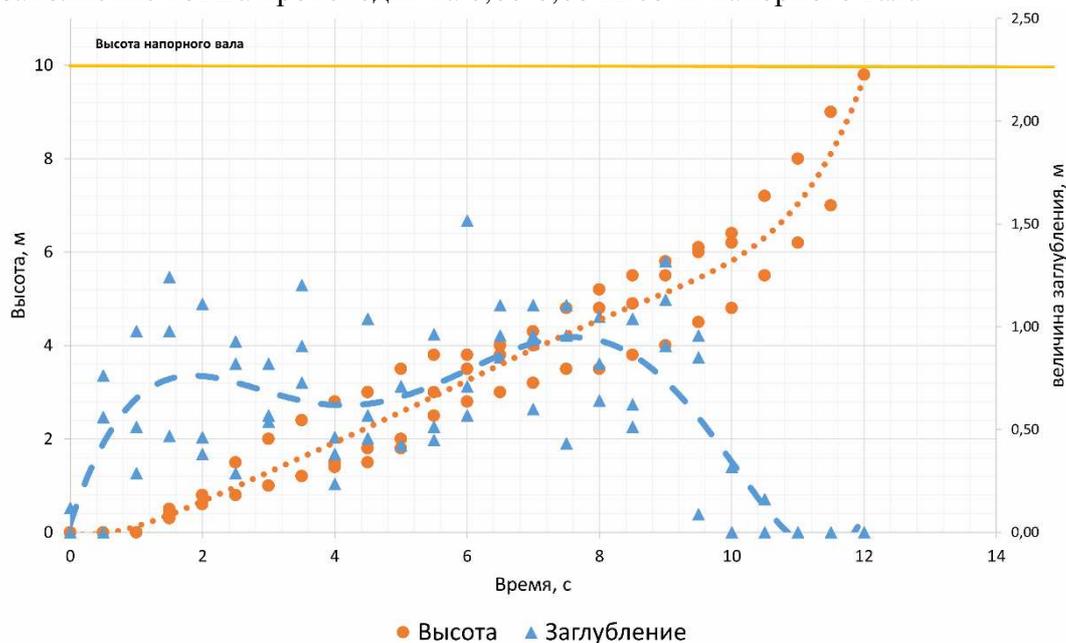


Рис. 1. Анализ траектории набора горной массы экскаватором в забое V категории по сложности экскавации

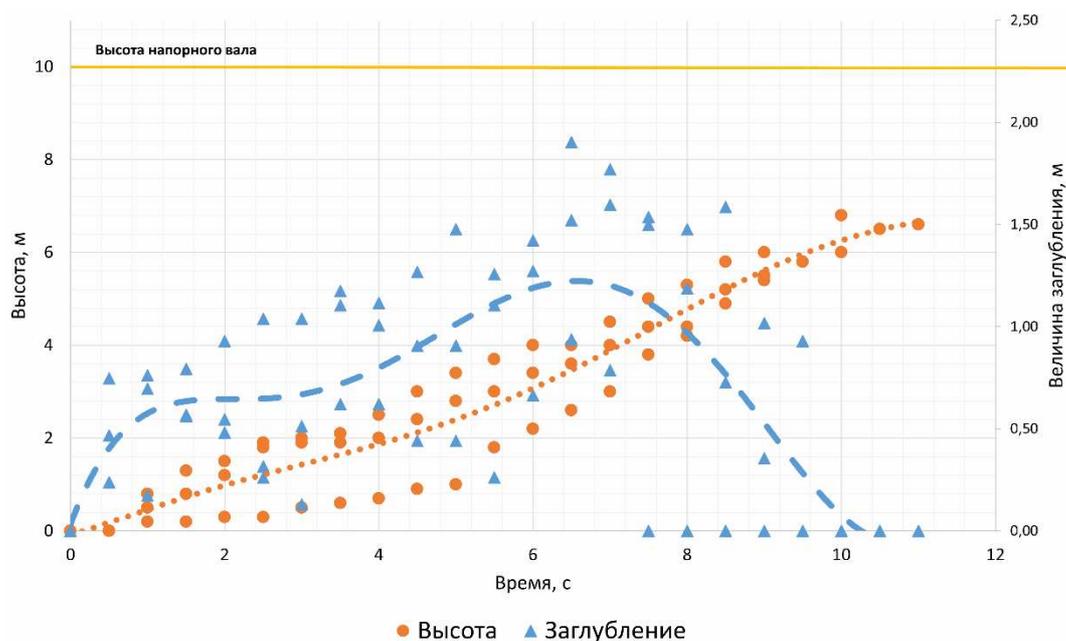


Рис. 2. Анализ траектории набора горной массы экскаватором в забое II категории по сложности экскавации

Для проведения детального анализа процесса набора горной массы данная стадия цикла экскавации была разделена на четыре ключевые фазы: зачистка подошвы уступа, плавное увеличение высоты ковша в забое, активное копание, выведение ковша из забоя.

В течение первых двух секунд вертикальная координата ковша остается неизменной. Машинист перемещает ковш экскаватора параллельно рабочей площадке – зачищает подошву уступа. На данной траектории процесс характеризуется как безнапорное копание, так как масса ковша с рукоятью создает вертикальные усилия необходимые для зачистки подошвы уступа. По мере продвижения ковша величина заглубления плавно увеличивается и к концу фазы достигает значений в 0,65 м.

Далее идет плавное увеличение высоты положения ковша в забое, при этом характер изменения величины заглубления для разных условий отличается. В случае с рыхлой вскрышей машинист продолжает дальнейшее заглубление ковша, воздействием привода напора. Величина заглубления при этом увеличивается до 1,2 м, что составляет 1/3 глубины ковша. Для скальной вскрыши этой фазе цикла характерна корректировка величины заглубления до 0,5 м (снижение глубины внедрения на 0,15 м). Следует отметить, что на данном интервале величина заглубления корректируется углом поворота рукояти при управлении приводом подъема, без напорного усилия.

Затем следует фаза активного копания длительностью до 8-9-ой с. Траектория копания в этой области обеспечивается сочетанием работы приводов подъема и напора. При выборе машинистом большой величины заглубления происходит стопорение приводов, так как нагрузка достигает предельных значений. Продолжительность стопорения приводов длится порядка 1 с. При возникновении стопа машинист непосредственно в развале забоя опускает ковш на некоторое расстояние, перемещает его на себя и после этого продолжает набор горной массы. Величина заглубления в этой области для рыхлой вскрыши варьируется от 1,1 м до 2 м, для скальной – от 0,3 м до 1,5 м. При неверно выбранной траектории копания за один цикл погрузки происходит до трёх случаев стопорных режимов. При этом у неквалифицированного машиниста этот показатель доходит до 7-10 случаев. При таком режиме работы элементы ковша, рукояти, стрелы, механизмов подъема и напора испытывают повышенные нагрузки.

При почти заполненном ковше машинист постепенно выводит ковш из забоя. Время выведения ковша в среднем составляет 2-3 с и зависит от степени заполнения ковша. Величина заглубления при этом постепенно уменьшается до нуля.

После выведения ковша из забоя машинист продолжает набор высоты до уровня напорного вала с одновременным поворотом на разгрузку. Время набора высоты ковшом вне забоя составляет до 3 с.

Зафиксировано до 2-х случаев нарушения машинистами требований эксплуатации, а именно начало поворота под разгрузку до вывода ковша из контакта с забоем, за время погрузки самосвала.

Эксперимент показал, что машинисты заполняли ковш в среднем на высоте 6-7 м, что соответствует 2/3 высоты напорного вала. Так как габаритные размеры самосвала не позволяют осуществлять погрузку на данной высоте, машинист поднимает груженный ковш вне забоя до высоты безопасной для разгрузки, что соответствует высоте напорного вала. Таким образом, стремление машинистов быстрее наполнить ковш (на высоте до напорного вала) фактически не снижает общее время цикла.

По траектории движения ковша в развале горной массы заводом-изготовителем экскаватора даются рекомендации по выбору усилий подъема и напора в разных пространственных положениях рабочего оборудования.

В начале цикла экскавации набор горной массы осуществляют с пониженным напорным усилием, так как в данной точке траектории ковш находится на подошве уступа и вектор напорного усилия перпендикулярен стреле, соответственно имеется риск поддомкрачивания стрелы и возникновения аварийных ситуаций.

Ковш экскаватора должен быть полностью заполнен по траектории движения на высоте напорного вала. Данное условие обеспечивается выбором соответствующей величины заглубления ковша в развал горной массы. Управление и регулирование величины заглубления обеспечивается усилием привода напора. Следует избегать чрезмерно большой величины заглубления, так как это требует значительных усилий приводов. При возникновении стопорных режимов ковш опускают и перемещают на себя, чтобы избежать повреждений и износа механизмов.

В случае работы в экскаваторном забое с недостаточным качеством подготовки горной массы наполнение ковша необходимо осуществлять на пониженных скоростях приводов подъема и напора, а также избегать контакта ковша с негабаритом.

По завершении набора горной массы ковша экскаватора приводом напора выводится из забоя. Поворот на разгрузку допускается только после полной потери контакта ковша с забоем.

Выводы. По результатам проведенного исследования среднее время цикла экскавации в забое со скальной вскрышей составило 41 с, что на 52% больше базового времени цикла. При эксплуатации в данном режиме и условиях можно прогнозировать снижение годовой наработки на 34%.

Несмотря на то, что время цикла экскавации для базовых условий рассчитывается для III категории пород по сложности экскавации, по результатам эксперимента среднее время цикла в забое с рыхлой вскрышей составило 35 с (на 30% больше базового) и соответственно прогнозируется снижение наработки экскаватора на 23% от базовой, что говорит о влиянии «эргатического фактора управления».

Таким образом, особенности набора горной массы, которые в большей степени характеризуются квалификацией машиниста, категорией горных пород по сложности экскавации, качеством подготовки забоя, оказывают непосредственное и существенное влияние на целевые показатели производительности. При необходимости увеличение производительности можно достичь за счет повышения квалификации машинистов, в частности улучшения навыков выбора рациональной траектории копания в заданных условиях эксплуатации, обеспечивающих снижение времени набора горной массы и цикла экскавации соответственно.

Список литературы

1. Дремин А.В., Великанов В.С. К вопросу о гранулометрическом составе взорванных скальных пород // Горная промышленность. – 2023. – № 4. – С. 73-78. – doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-73-78.
2. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С. Эффективность функционирования карьерного экскаватора, как эргатической системы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 144-158. – doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_144.
3. Великанов В.С., Дремин А.В., Лукашук О.А., Чернухин С.А., Лукашук М.Д. Цифровая трансформация горнодобывающих предприятий и теротехнология наземных транспортных средств // Горное оборудование и электромеханика. – 2024. – № 1(171). – С. 50-56. – doi.org/10.26730/1816-4528-2024-1-50-56.
4. Рыльникова М.В., Макеев М.А., Кадочников М.В., Клебанов Д.А. Большие данные для оптимизации работы погрузочной техники и автотранспорта на горных работах // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 4. – С. 343-354.
5. Бугебрин Ш., Соловьев И.В., Михайлов А.В. Анализ рисков при позиционировании экскаватора на карьере нерудных материалов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 20. – С. 183-189. – doi.org/10.26160/2658-3305-2023-20-183-189.
6. Анистратов К.Ю. Анализ эффективности применения экскаваторов УЗТМ-КАРТЭКС на карьерах // Горная промышленность. – 2019. – № 5(147). – С. 20-24.
7. Ляшенко Ю.М., Ляшенко А.Ю., Ревякина Е.А. Применение компьютерных тренажеров в образовательном процессе машинистов одноковшовых экскаваторов как инструмент повышения уровня показателей функционального статуса // Современные прикладные исследования: Материалы пятой национальной научно-практической конференции. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2021. – Т. 1. – С. 236-242.
8. Комиссаров А.П., Маслеников О.А., Набиуллин Р.Ш. Инновационные технические решения в экскаваторостроении // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 6(164). – С. 3-9. – doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-3-9.

9. Мислибаев И.Т., Махмудов А.М., Махмудов Ш.А. Теоретическое обобщение режимов функционирования и моделирование эксплуатационных показателей работы экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 102-110. – doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-102-110.
10. Агагена А., Михайлов А.В., Елисеев А.С. Влияние погодных-климатических, горно-геологических и организационно-технических факторов на ресурс карьерного экскаватора // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №17-2. – С. 294-298. – doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-294-298.

References

1. Dremine A.V., Velikanov V.S. On the granulometric composition of blasted rock // Russian Mining Industry. 2023, no. 4, pp. 73-78. doi.org/10.30686/1609-9192-2023-4-73-78.
2. Shibanov D.A., Ivanov S.L., Sheshukova E.I., Nedashkovskaya E.S. Efficiency of functioning of a quarry excavator as an ergatic system // Mining Information and Analytical Bulletin. 2023, no. 11-1, pp. 144-158. doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_144.
3. Velikanov V.S., Dremine A.V., Lukashuk O.A., Chernukhin S.A., Lukashuk M.D. Digital transformation of mining enterprises and terotechnology of surface vehicles // Mining Equipment and Electromechanics. 2024, no. 1(171), pp. 50-56. doi.org/10.26730/1816-4528-2024-1-50-56.
4. Rylnikova M.V., Makeev M.A., Kadochnikov M.V., Klebanov D.A. Big data for optimizing the operation of loading equipment and transport in mining operations // Bulletin of Tula State University. Earth Sciences. 2022, no. 4, pp. 343-354.
5. Bugebrin Sh., Soloviev I.V., Mikhailov A.V. Risk analysis in positioning an excavator at a quarry of non-metallic materials // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2023, no. 20, pp. 183-189. doi.org/10.26160/2658-3305-2023-20-183-189.
6. Anistratov K.Yu. Analysis of the effectiveness of UZTM-KARTEK excavators in quarries // Russian Mining Industry. 2019, no. 5 (147), pp. 20-24.
7. Lyashenko Yu.M., Lyashenko A.Yu., Revyakina E.A. Use of computer simulators in the educational process for one-bucket excavator operators as a tool to improve functional status indicators // Modern Applied Research: Proceedings of the Fifth National Scientific and Practical Conference. – Novocherkassk: Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 2021. – Vol. 1. – P. 236-242.
8. Komissarov A.P., Maslenikov O.A., Nabiullin R.Sh. Innovative technical solutions in excavator construction // Mining Equipment and Electromechanics. 2022, no. 6(164), pp. 3-9. doi.org/10.26730/1816-4528-2022-6-3-9.
9. Mislibayev I.T., Makhmudov A.M., Makhmudov Sh.A. Theoretical generalization of operation modes and modeling of excavator performance indicators // Mining Information and Analytical Bulletin. 2021, no. 1, pp. 102-110. doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-102-110.
10. Agagena A., Mikhailov A.V., Eliseev A.S. Influence of weather-climatic, mining-geological, and organizational-technical factors on the resource of a quarry excavator // Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production. 2022, no. 17-2, pp. 294-298. doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-294-298.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Хамидов Ойбек Улугбек угли – аспирант	Khamidov Oybek Ulugbek Ugli – postgraduate student
Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиностроения	Shibanov Daniil Aleksandrovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of mechanical engineering
Колпаков Владимир Олегович – студент khamidovoybek417@gmail.com	Kolpakov Vladimir Olegovich – student

Получена 08.10.2024