

Научная статья

УДК 621.879.48

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-65-72

Либерман Яков Львович, Лукашук Ольга Анатольевна, Маалаоуи Хамед,
Давыдова Виктория Витальевна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

* для корреспонденции: o.a.lukashuk@urfu.ru

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ РОТОРА КАРЬЕРНОГО РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА



Информация о статье

Поступила:

01 ноября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

24 ноября 2024 г.

Опубликована:

12 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

многоковшовый экскаватор,
ротор, добыча, система
управления, алгоритм, авто-
матизация.

Аннотация.

Управление современным экскаватором требует от машиниста быстрого реагирования на изменяющиеся условия, точного контроля над тремя координатами, предотвращения нештатных ситуаций и обеспечения эффективности работы. Этот процесс также требует значительной концентрации, высокой энергии и стресса, связанных с физическими усилиями. Актуальность автоматизации управления рабочим процессом экскаваторов подтверждает необходимость решения задач по повышению производительности и надежности машин, уменьшению зависимости от субъективных качеств машиниста. Предлагаемая система управления перемещениями ротора карьерного роторного экскаватора предназначена преимущественно для экскаваторов с выдвижной или телескопической стрелой и ориентирована на использование в рамках программного и ручного управления. Разработанная система управления перемещением ротора карьерного роторного экскаватора представляет собой совокупность подсистем для программирования и управления. Она обеспечивает перемещение ротора по разным циклам и траекториям, позволяя реагировать на непредвиденные ситуации, система управления имеет возможность переключения из автоматического режима в ручной.

Для цитирования: Либерман Я.Л., Лукашук О.А., Маалаоуи Х., Давыдова В.В. Система управления перемещениями ротора карьерного роторного экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 6 (176). С. 65-72. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-65-72, EDN: VOZXMI

В условиях растущих цен на энергоресурсы на мировом рынке российские угольные компании наращивают добычу бурого угля – наиболее доступного вида топлива. Согласно Долгосрочной программе совершенствования угольной промышленности России на период до 2035 года [1], последние 10 лет стали для угольной промышленности этапом стабильного развития, который совпал с восстановительным ростом экономики страны. За этот период объем добычи российского угля вырос более чем в 1,3 раза и в настоящее время превышает уровень 440 млн тонн в год, в 2,5 раза (в текущих ценах) вырос объем инвестиций в основной капитал угольных предприятий.

Однако в настоящее время на большинстве добывающих предприятий сложилась проблемная

ситуация, сущность которой заключается в том, что на большинстве этапов добычи полезных ископаемых производственные цепочки работают по старинке, так, как это происходило несколько десятилетий назад. Модернизация добывающих предприятий – вопрос не только повышения их эффективности и прибыльности, но и безопасности [2, 3]. Для достижения целей в автоматизации технологических процессов горнодобывающей промышленности применяются различные методы [4-6]. Улучшение показателей энергоэффективности, как в подземной, так и наземной работе, является одним из главных приоритетов. Также важно сокращение издержек и повышение продуктивности добычи. Оптимизация штатного состава достигается за счет механизации ранее ручных технологических

процессов. Для повышения стандартов безопасности необходимо предотвращать аварийные ситуации и регулярно проводить диагностику оборудования на всех участках производственной цепочки.

Кроме того, эффективность использования современного экскаватора в значительной степени зависит от квалификации машиниста и его личностных качеств [7]. Проведенные исследования показывают, что управление экскаватором требует от машиниста быстрой оценки изменяющихся условий работы, одновременного управления тремя координатами, предотвращения аварийных ситуаций и обеспечения высокой производительности. Этот процесс также требует значительных затрат нервной и мышечной энергии. Экскаватор, управляемый неопытным машинистом, работает менее эффективно на 30-40% по сравнению с опытным специалистом. Утомление машиниста снижает производительность на 15-20%. В сложных условиях машинист испытывает повышенное напряжение, что снижает скорость работы на 10% и в конечном итоге влияет на производительность. Некомпетентное управление может привести к дополнительным нагрузкам на оборудование, вызывая поломки и аварии.

Важно подчеркнуть необходимость разработки новых систем автоматизированного и роботизированного производства и добычи полезных ископаемых. Эти системы способны обеспечить высокую степень механизации в области горнодобычи, что позволяет их использовать без участия человека. Управление таким оборудованием может быть осуществлено удаленно или полностью автоматически в общем случае, что значительно упрощает процессы в горнодобывающей отрасли.

На открытых горных работах широкое применение получили роторные экскаваторы [8, 9], имеющие ряд преимуществ перед другими землеройными машинами. Эти машины обеспечивают непрерывное действие, способствуют поточности и автоматизации процесса производства, а также гарантируют максимальную производительность и интенсивность работ при минимальных затратах [10, 11].

Анализ существующих систем управления роторным экскаватором выявляет сложности в создании логики управления из-за необходимости обработки огромного объема информации и ограниченных возможностей для ее получения [12-15]. Невозможно полностью исключить роль человека из управления современным экскаватором, поэтому автоматизация должна сосредоточиться на улучшении системы управления в целом, включая человека, и расширении ее функциональности. Разработка интегрированных систем управления, которые объединяют достоинства автоматизированных устройств и оператора, является необходимой и позволит повысить эффективность управления экскаватором [16-18].

Для эффективного выполнения вскрышных и добычных работ роторным экскаватором требуется точная информация о параметрах обрабатываемых поверхностей, положении ротора, а также о пара-

метрах стружки. В случае ручного управления без специализированных средств контроля машинист может лишь в некоторой степени наблюдать положение ротора относительно поверхностей, но не способен обеспечить качественное формирование площадки и откоса без внешней помощи. Качественная селективная выемка также остается проблемой в таких условиях.

Эффективное использование локальных систем автоматического регулирования и управления стимулирует повышение качества выполнения горных работ. Автоматизированное программное управление при циклическом повторении технологических операций на роторных экскаваторах обеспечивает оптимальные условия. Положение ротора в пространстве относительно граничных поверхностей контролируется с помощью автоматизированных средств, что значительно облегчает труд машиниста.

Кроме того, эффективность использования современного экскаватора в значительной степени зависит от квалификации машиниста и его личностных качеств. Проведенные исследования показывают, что управление экскаватором требует от машиниста быстрой оценки изменяющихся условий работы, одновременного управления тремя координатами, предотвращения аварийных ситуаций и обеспечения высокой производительности. Этот процесс также требует значительных затрат нервной и мышечной энергии.

Разработка систем управления роторным экскаватором является важным направлением в создании комбинированных цифро-аналоговых систем с заданными устройствами. Эти системы позволяют оптимизировать работу электроприводов и автоматизировать управление экскаватором как сложной многосвязной системой. Особое внимание уделяется достижению высокой точности при выполнении заданных углов поворота и наклона стрелы, а также величины перемещения экскаватора. Такой подход способствует эффективной организации работы основных механизмов в оптимальном режиме быстрого действия. В итоге, автоматизация управления роторными экскаваторами становится более эффективной и современной задачей [19-20].

Разработанная система управления перемещениями ротора карьерного роторного экскаватора предназначена преимущественно для экскаваторов с выдвинутой или телескопической стрелой и ориентирована на использование в рамках программной и ручного управления.

Она включает в себя три основных части:

1. Подсистему включения-выключения видеокамеры и лазерного дальномера, установленных на стреле экскаватора. С их помощью машинист экскаватора имеет возможность визуально контролировать пространственные положения ротора по координатам X (вдоль стрелы), α – угол поворота стрелы, Z – перемещение ротора по вертикали. Помимо видеокамеры и дальномера в эту подсистему входят элементы отображения получаемой от них информации и представления ее машинисту.

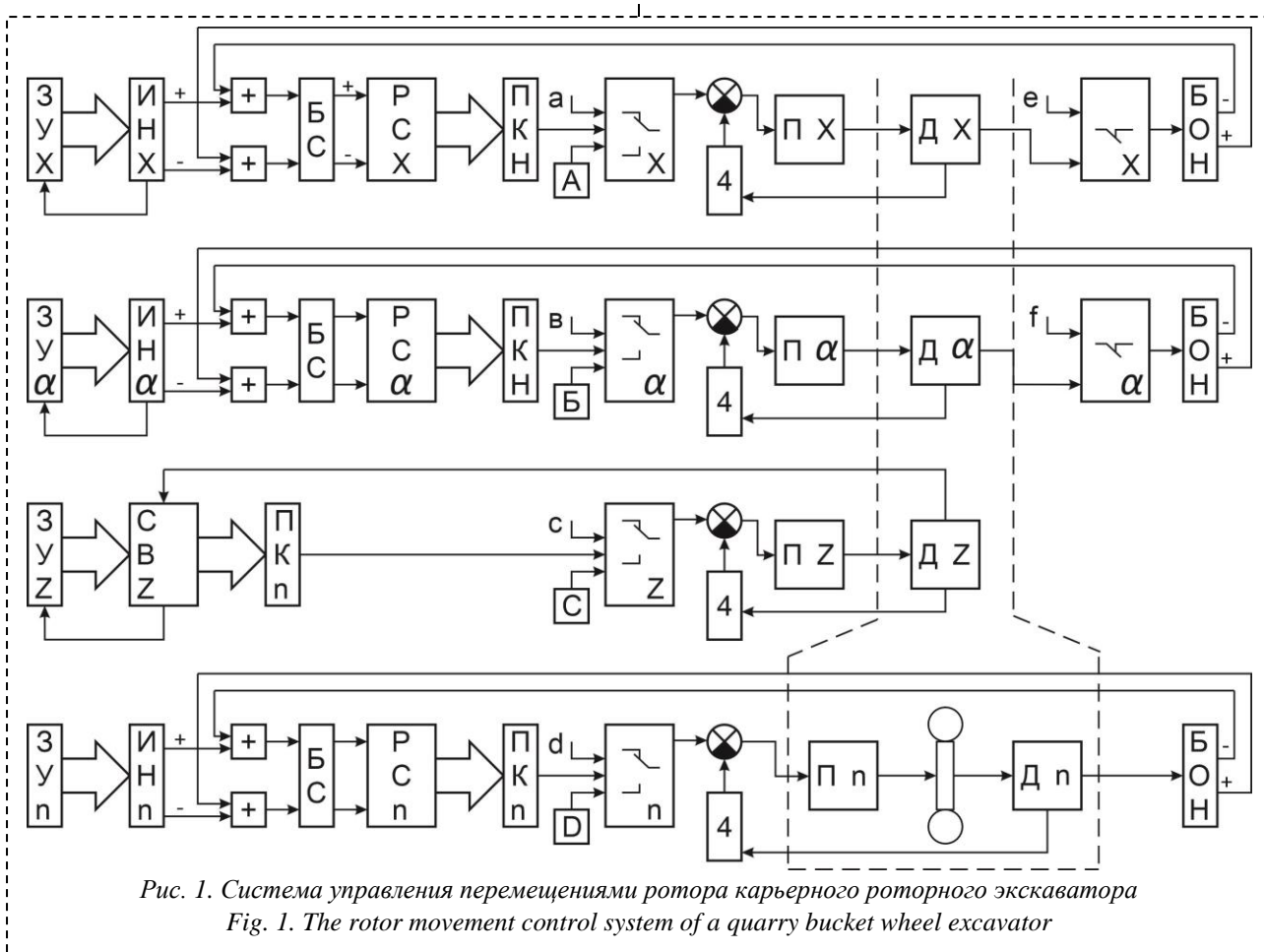


Рис. 1. Система управления перемещениями ротора карьерного роторного экскаватора
 Fig. 1. The rotor movement control system of a quarry bucket wheel excavator

2. Командоконтроллер, содержащий самоблокирующиеся кнопки «а», «б», «с», «д», «е», «ф», блоки переключения сигналов по координатам X, α , Z и сигнала задания скорости ротора n, а также блоки включения-выключения цепей обратной связи перемещений ротора по координатам X и α . С их помощью машинист имеет возможность переходить из режима работы системы по программе в режим ручного управления перемещением ротора от джойстиков А, В, С, D, представляющих собой датчики регулируемых сигналов напряжения.

3. Совокупность подсистем непосредственного управления перемещениями ротора по координатам X, α , Z и скоростью вращения ротора n.

Первая и вторая части системы достаточно просты и не нуждаются в детальном рассмотрении. Третья же часть намного сложнее и ее требуется рассмотреть подробно.

Отметим прежде всего (Рис. 1), что в основу построения подсистем, образующих третью часть, положен счетно-импульсивный принцип. Подсистемы управления перемещением ротора по координатам X, α , Z, а также управления скоростью вращения n ротора построены как импульсно-следящие, а подсистема управления перемещением ротора по координате Z – как позиционная счетно-импульсная.

Обратимся к подсистеме управления по координате X. Первым ее блоком является задающее устройство X (ЗУХ), в котором хранится информация о требуемых перемещениях X ротора. Некоторая

запрограммированная величина X вводится из ЗУХ в интерполятор ИНХ, преобразующий ее в последовательность импульсов. Количество импульсов характеризует величину X, а частота – нужную скорость перемещения ротора по этой координате. Интерполятор имеет два выхода: «+» и «-». Если перемещение ротора требуется «вперед», то импульсы выдаются ИНХ с выхода «+», а если «назад», то с выхода «-». Импульсы от интерполятора поступают на соответствующие входы реверсивного счетчика импульсов РСХ. В первом случае при приходе на него каждого импульса число (код) на его выходе возрастает, в противном случае – уменьшается. Код с выхода РСХ поступает в преобразователь «код-напряжение» ПКН и далее через переключатель X – на привод перемещения ротора по координате X (на привод линейного перемещения стрелы P_x). Привод P_x представляет собой регулируемый электропривод (например, частотно-токовый). Это типовой привод необходимой мощности, содержащий в своем составе элементы разгона-торможения, датчик нагрузки и т. п.

Выходной вал P_x кинематически связан со стрелой и заставляет ее перемещаться по координате X. Он может быть установлен непосредственно на стреле или вне ее, но соединен с датчиком импульсов D_x (относительным энкодером), установленным, как правило, на стреле. Датчик D_x преобразует перемещение стрелы по координате X в импульсы, которые через выключатель X поступают в блок определения направления БОН. При перемещении

«вперед» на его соответствующем выходе появляются импульсы D_x и передаются на вход РСХ, компенсируя импульсы, поступающие от ИНХ. В результате на выходе РСХ получается разность чисел импульсов, поступающих на его входы, и она-то, преобразованная в напряжение, приводом P_x и управляет. Для того, чтобы импульсы, поступающие на входы РСХ, не наложились во времени друг на друга, перед входами РСХ установлен блок синхронизации БС, «разводящий» эти импульсы, а для того, чтобы все же пропускать на РСХ импульсы от ИНХ и БОН, те и другие проходят на БС через логические элементы ИЛИ (на Рис. 1 они изображены квадратиками с обозначениями +). Таким образом, перемещение X , заданное ЗУХ обрабатывается приводом P_x , после чего ИНХ формирует импульс смены информации, поступающей от ЗУХ, и все повторяется. Так, «порциями» может быть отработано в программном режиме любое перемещение, задаваемое ЗУХ.

При работе системы в программном режиме РСХ выполняет функции сравнивающего устройства, а БОН – устройства обратной связи. При работе в ручном режиме эти функции реализуются машинистом. В этом случае выход ПКН кнопкой «а» отключается от P_x , а вместо ПКН подключается джойстик «А» и кнопкой «е» от D_x отключается БОН. Последний перестает выполнять функции устройства обратной связи по перемещению X , и теперь отсчет этого перемещения осуществляет машинист с помощью видеокамеры и дальномера. Он же и сравнивает фактическое положение ротора по координате X с требуемым.

Подсистемы управления α и Π устроены и работают аналогично подсистеме X , с той лишь разницей, что переключение их в ручной режим производится кнопками «b», «d», «f», а вместо сигнала напряжения от ПКН используются сигналы от джойстиков В и D. Блок БОН в подсистеме управления Π при этом не отключается, так как машинисту отсчет величины углового перемещения ротора не мешает.

Выше было указано, что подсистемы управления X , α и Π построены как импульсно-следящие, а подсистема управления перемещением по координате Z – как позиционная счетно-импульсная. Обратимся теперь к ней. Так же, как и рассмотренные, она содержит ЗУЗ (соответствующее задающее устройство), подобный P_x и P_α привод перемещения ротора P_z (стрелы) по координате Z , ПКН, датчик импульсов, соединенный с приводом P_z , но вместо реверсивного счетчика импульсов РСХ, РС α или РС Π включает в себя простой счетчик импульсов СВЗ, работающий на вычитание. Когда от ЗУЗ информация (код Z) вводится в СВЗ, то он появляется и на выходах этого счетчика. ПКН преобразует его в напряжение и заставляет работать привод P_z . Датчик импульсов D_z перемещение ротора по координате Z отсчитывает и постепенно уменьшает содержимое СВЗ. Когда последний обнулится, ПКН перестает выдавать сигнал напряжения и P_z останавливается. После этого из ЗУЗ в СВЗ поступает новое число и все повторяется.

Для переключения подсистемы в ручной режим кнопкой «с» ПКН отключается от привода, а его функции реализуются машинистом с помощью джойстика С.

Эксплуатация экскаватора обычно сопровождается большими, зачастую колебательными нагрузками. Это может привести к колебаниям скорости работы приводов P_x , P_α и др. Принципиально возможна (при очень твердых породах) даже и остановка их работы. Во избежание этого во всех описанных подсистемах применены устройства стабилизации скорости. Состоят они из компаратора и частотомера Ч. Частотомер соединен с выходом датчика импульсов (энкодера) и выдает сигнал напряжения, характеризующие скорость работы привода. Этот сигнал сравнивается с сигналом, поступающим через переключатель от соответствующего ПКН или джойстика, и при несовпадении требуемой скорости с фактической производит необходимую коррекцию.

Приведение системы в действие в программном режиме начинается после включения видеокамеры и дальномера и установки ротора экскаватора по командам машиниста в исходном положении с координатами X_0 , α_0 и Z_0 с помощью соответствующих кнопок контроллера и джойстиков. Далее управление осуществляется согласно разработанному алгоритму.

Поскольку СУ предусмотрена возможность работы в программном и ручном режимах, наряду с алгоритмом ее работы по программе был разработан и алгоритм ручного управления перемещением ротора экскаватора.

Современная добыча угля требует постоянного совершенствования и применения передовых технологий. Успешное развитие этой отрасли связано с интенсификацией открытых горных работ на уже существующих разрезах. Техническое переоснащение и использование современного высокопроизводительного оборудования становятся ключевыми факторами эффективности процессов добычи угля.

В настоящее время в карьерных роторных экскаваторах используется, как правило, ручное управление. Объясняется это тем, что цикл работы экскаватора довольно сложный, необходимо выдвинуть стрелу на определенное расстояние, установить координаты стрелы в продольном направлении, а дальше – в поперечном направлении. Кроме того, необходимо управлять последовательностью перемещений ротора по вертикали и скоростью вращения ротора. И при всем этом возможны самые разнообразные сочетания этих движений и разные структуры циклов управления перемещением ротора. Вот это все обычно осуществляется с помощью ручного управления. Это не значит, что автоматическое управление не используется в современных роторных экскаваторах. Используется, но главным образом для стабилизации управления, стабилизации работы приводов, а не для управления отсчетом величин перемещений. А это, между прочим, очень важный момент, который можно решить сегодня только с помощью систем числового программного управления. Системы числового

программного управления используются давно, и используются они для управления разными координатами, перемещениями, в положительном, в отрицательном направлении, с разной скоростью и так далее. Эти вопросы и решаются с помощью предлагаемой системы управления. Вся эта система, по сути дела, представляет собой совокупность подсистем управления перемещением ротора по разным координатам. При этом предполагается возможность управления и программирования, а структура управляющих программ нужна для обеспечения перемещения ротора по разным циклам, по разным траекториям. Существуют разные возможные варианты циклов и поэтому система программного управления это обеспечивает. Совершенно естественно, что могут возникнуть непредвиденные ситуации. И в таком случае возможен переход работы предлагаемой системы программного управления из автоматического режима в режим ручного управления. В этом случае в системе задействуются только определенные блоки, а блоки программного управления отключаются. Управление осуществляется в ручном режиме, но и в ручном режиме управление осуществляется тоже с помощью обратной связи. Обратная связь в этом случае осуществляется с помощью видеокамеры, передающей информацию на пульт управления оператора, который, глядя на полученную информацию, имеет возможность рационально выбирать циклы и управлять тем или иным законом движения ротора.

Разработанная система управления роторным экскаватором обеспечивает управление в автоматическом и ручном режимах, позволяет формировать оптимальную траекторию движения роторного колеса, предохраняет от перегрузок при максимальном наполнении ковшей материалом, увеличивает скорость переработки материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1582-р (с изменениями на 21.10.2024) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/565123539> (date of the application: 08.11.2024).
2. Анистратов К. Ю. Разработка стратегии технического перевооружения карьеров // Горная промышленность. 2012. № 4. С. 90–104.
3. Перепелицын А. И., Китляйн Е. Е., Клебанов Д. А. Комплексная система управления промышленной безопасностью и оценки рисков на горнодобывающих предприятиях // Горный журнал. № 7. 2012. С. 55–59.
4. Акутин Г. К. [и др.] Автоматизация технологических процессов на карьерах / М. : Недра, 1977. 310 с.
5. Клебанов Д. А., Макеев М. А. Роботизированные технологии добычи полезных ископаемых рождаются в недрах инновационного центра Сколково // Горная промышленность. 2012. №4. С. 132.

6. Трубецкой К. Н., Кулешов А. А., Клебанов А. Ф., Владимиров Д. Я. Современные системы управления горнотранспортными комплексами / Под редакцией акад. РАН К. Н. Трубецкого. — СПб : Наука, 2007.

7. Мухин В. Д. Исследование системы машинист-экскаватор в режиме транспортных перемещений ковша: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Свердловский горный ин-т, 1972. С. 22.

8. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. М. : Машиностроение. Горные машины. Т.IV-24. В. К. Асташов, Ю. А. Лагунова и др. Под общ. ред. В. К. Асташова. 2010. 1480 с., ил.

9. Подэрни Р. Ю., Шендеров А. И., Колесников Е. Ф., Таранов Д. И. Технологические аспекты применения роторных экскаваторов с центробежной разгрузкой // Горное оборудование и электромеханика. -006. № 10. С. 27–30.

10. Bošnjak S., Petković Z., Zrnić N., Petrić S. Mathematical modeling of dynamic processes of bucket wheel excavators, Proceedings of 5th Conf. Mathmod, Agresim Verlag. Pp. 4–10, Vienna, 2006.

11. Bošnjak S., Zrnić N., Oguamanam D. On the dynamic modeling of bucket wheel excavators. FME Transactions. 34 (2006). Pp. 221–226.

12. Гордеев-Бургвиц М. А. Системы автоматического управления взаимосвязанными электроприводами мощных экскаваторов [Электронный ресурс]: монография / М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. 2-е изд. (эл.). Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 209 с.). М. : Издательство МИСИ-МГСУ, 2017.

13. Аброськин А. С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах // Известия ТПУ. 2015. №12. С. 122–130.

14. Hemamalini V. [et al.] Automation of Bucket Wheel Excavator Using PLC. // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2015. №4. С. 14252–1430.

15. Fidencio A.X. [et al.] Application of Reinforcement Learning to a Mining System // 2021 IEEE 19th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII) (2021):000111–000118.

16. Певзнер Л. Д., Киселев Н. А. Система автоматического управления процессом черпания шагающего экскаватора-драглайна // Горные науки и технологии. 2022. Т. 7. № 1. С. 57–65. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-57-65.

17. Popescu F.D. [et al.] «Simulation of the frequency response of the ERC 1400 Bucket Wheel Excavator boom, during the excavation process». New Trends in Production Engineering 2 (2019): 153–167.

18. Chebanov M. [et al.] «Substantiation of the technological parameters of bucket-wheel excavator forward trench when mining titanium deposits» // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu (2023): n. pag. DOI: 10.33271/nvngu/2023-6/005.

19. Kritikakis G. [et al.] «Toward the Optimization of Mining Operations Using an Automatic Unmineable Inclusions Detection System for Bucket Wheel Excavator Collision Prevention: A Synthetic Study» // Sustainability. 2023.

© 2024 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Либерман Яков Львович, кандидат техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения, станки и инструменты ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Лукашук Ольга Анатольевна, кандидат техн. наук, заведующий кафедрой подъемно-транспортных машин и роботов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), o.a.lukashuk@urfu.ru

Маалаоуи Хамед, аспирант кафедры подъемно-транспортных машин и роботов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19).

Давыдова Виктория Витальевна, старший преподаватель кафедры подъемно-транспортных машин и роботов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Заявленный вклад авторов:

Либерман Яков Львович – постановка исследовательской задачи, разработка системы управления, выводы; написание текста.

Лукашук Ольга Анатольевна – научный менеджмент, постановка исследовательской задачи, сбор и анализ данных, концептуализация исследований, разработка системы управления, написание текста.

Маалаоуи Хамед – сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы, разработка системы управления.

Давыдова Виктория Витальевна – сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-65-72

Yakov L. Liberman, Olga A. Lukashuk, Hamed Maalaoui, Victoria V. Davydova

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin

* for correspondence: o.a.lukashuk@urfu.ru

THE ROTOR MOVEMENT CONTROL SYSTEM OF A QUARRY ROTARY EXCAVATOR



Article info

Received:

01 November 2024

Accepted for publication:

15 November 2024

Accepted:

24 November 2024

Published:

12 December 2024

Abstract.

Managing a modern excavator requires the driver to quickly respond to changing conditions, precise control over three coordinates, prevent emergency situations and ensure work efficiency. This process also requires significant concentration, high energy and stress associated with physical effort. The relevance of automation of excavator workflow management confirms the need to solve problems to increase productivity and reliability of machines, reduce dependence on the subjective qualities of the machinist. The proposed system for controlling the movements of the rotor of a quarry rotary excavator is designed primarily for excavators with a retractable or telescopic boom and is focused on use within the framework of software and manual control. The developed control system for the movement of the rotor of a quarry rotary excavator is a set of subsystems for programming and control. It ensures the movement of the rotor in different cycles and trajectories, allowing you to respond to unforeseen situations, the control system has the ability to switch from automatic to manual mode

Keywords: multi-bucket excavator, rotor, mining, control system, algorithm, automation

For citation: Liberman Ya.L., Lukashuk O.A., Maalaoui H., Davydova V.V. The rotor movement control system of a quarry rotary excavator. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2024; 6(176):65-72 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-65-72, EDN: VOZXMI

REFERENCES

1. Long-term program for the development of the coal industry in Russia for the period up to 2035. Approved by the Government of the Russian Federation on June 13, 2020 No. 1582-r [Electronic resource] URL: <http://docs.cntd.ru/document/565123539> (date of the application: 10.11.2024).
2. Anistratov K.Yu. Development of a strategy for technical re-equipment of quarries. *Mining industry*. 2012; 4:90–104. (In Russ.)
3. Perepelitsyn A.I., Kitlein E.E., Klebanov D.A. Integrated industrial safety management system and risk assessment at mining enterprises. *Mining Journal*. 2012; 7:55-59. (In Russ.)
4. Akutin G.K. [et al.] Automation of technological processes at quarries. M.: Nedra; 1977. 310 p. (In Russ.)
5. Klebanov D.A., Makeev M.A. Robotic technologies of mining are born in the bowels of the innovation center Skolkovo. *Mining industry*. 2012; 4:132. (In Russ.)
6. Trubetskiy K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. Modern management systems for mining and transport complexes / Under the jurisdiction of the Academy. RAS of K.N. Trubetskiy. — St. Petersburg: Nauka; 2007. (In Russ.)
7. Mukhin V.D. Investigation of the machinist-excavator system in the mode of bucket transport movements : abstract. dis. ... candidate of Technical Sciences / Sverdlov Mining Institute, 1972. p. 22. (In Russ.)
8. Mechanical engineering. Encyclopedia / Edited by the Council: K.V. Frolov (ed.) and others M.: Mechanical Engineering; The mountain is in the car. Vol. IV-24. V.K. Astashov, Yu.A. Lagunova and others. Under the general editorship of V.K. Astashov. 2010. 1480, ill. (In Russ.)
9. Poderni R.Yu., Shenderov A.I., Kolesnikov E.F., Taranov D.I. Technological aspects of the use of rotary excavators with centrifugal loading. *Mining equipment and electromechanics*. 2006; 10:27–30. (In Russ.)
10. Bošnjak, Srđan & Zrnic, Nenad & Oguamanam, Donatus. On the dynamic modeling of bucket wheel excavators. *FME Transactions*. 2006. 34. 221–226.
11. Bošnjak S., Zrnic N., Oguamanam D. On the dynamic modeling of bucket wheel excavators. *FME Transactions*. 2006; 34:221–226.
12. Gordeev-Burgwitz M.A. Automatic control systems for interconnected electric drives of powerful excavators [Electronic resource]: Monograph / M.A. Gordeev-Burgwitz; m-in the exemplary Research Institute of Theoretical and Applied Mathematics SB RAS. Federation, Moscow state builds. un-ta. 2nd ed. (e-mail). Electronic. textile fame. Moscow: MISI–MGSU Publishing House; 2017. (In Russ.)
13. Abroskin A.S. Application of modern automation systems in open-pit mining. *Izvestiya TPU*. 2015; 12:122–130. (In Russ.)
14. Hemamalini V. [et al.] Automation of Bucket Wheel Excavator Using PLC. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2015; 4:1425–1430.
15. Fidencio A.X. [et al.] Application of Reinforcement Learning to a Mining System. *2021 IEEE 19th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*. 2021. Pp. 000111-000118.
16. Pevsner L.D. [et al.] System of automatic control of the scooping process of a walking dragline excavator. *Mining sciences and technologies*. 2022; 7(1):57–65. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-57-65. (In Russ.)
17. Popescu F.D. [et al.] Simulation of the frequency response of the ERC 1400 Bucket Wheel Excavator boom, during the excavation process. *New Trends in Production Engineering*. 2019; 2:153–167.
18. Chebanov M., Pcholkin H.D., Makurin A., Lozhnikov O.V. Substantiation of the technological parameters of bucket-wheel excavator forward trench when mining titanium deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023.
19. Kritikakis G., Galetakis M., Vafidis A., Apostolopoulos G., Michalakopoulos T., Triantafyllou M., Roumpos C., Pavloudakis F., Deligiorgis B., Economou N., Andronikidis N. Toward the Optimization of Mining Operations Using an Automatic Unmineable Inclusions Detection System for Bucket Wheel Excavator Collision Prevention: A Synthetic Study. *Sustainability*. 2023.
20. Avershina D.V. Assessment of the economic efficiency of the implementation of the automated system "Intellectual quarry". *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2013; S2:111–117. (In Russ.)

© 2024 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Yakov L. Liberman, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19),

Olga A. Lukashuk, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19), o.a.lukashuk@urfu.ru

Hamed Maalaoui, graduate student, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19),

Victoria V. Davydova, senior lecturer Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, (Russia, Yekaterinburg, 620002, Str. Mira, 19),

Contribution of the authors:

Yakov L. Liberman– setting a research task, developing a management system, conclusions; writing a text.

Olga A. Lukashuk– scientific management, formulation of a research task, data collection and analysis, conceptualization of research, development of a management system, writing a text.

Hamed Maalaoui– data collection and analysis; review of relevant literature, development of a management system.

Victoria V. Davydova – data collection and analysis; review of relevant literature, writing a text.

Authors have read and approved the final manuscript.

