

ВЛИЯНИЕ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ВРЕМЯ РАБОЧЕГО ЦИКЛА КАРЬЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Бессонов А.Е.^{1,2}, Шибанов Д.А.¹, Михайлов А.В.¹

¹*Санкт-Петербургский горный университет;*

²*ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», Санкт-Петербург*

Ключевые слова: карьерный электрический экскаватор, эргатическая система, продолжительность цикла, критерии оценки, эффективность работы, квалификация оператора.

Аннотация. В данной статье приведены основные положения, характеризующие влияние эргатической системы на продолжительность времени рабочего цикла карьерного электрического экскаватора. Также в статье анализируется возможность использования математической модели продолжительности цикла для оценки основных показателей экскаватора, позволяющая не только выбрать существующий экскаватор, выполняя роль критерия оценки оборудования, но также и способствует более рациональному подходу к проектированию самой машины под необходимые условия эксплуатации. Дано описание проведенного эксперимента на тренажере экскаватора ЭКГ 18Р, и получены вольтамперные характеристики основных приводов экскаватора. Полученные результаты позволяют утверждать о степени влияния эргатической системы на производительность машины и необходимости создания критерия оценки квалификации оператора, влияющего непосредственно на продолжительность цикла работы машины. В заключении указана необходимость разработки математической модели продолжительности времени рабочего цикла с учетом влияния эргатической системы.

THE INFLUENCE OF THE ERGATIC SYSTEM ON THE WORKING CYCLE TIME OF A QUARRY ELECTRIC EXCAVATOR

Bessonov A.E.^{1,2}, Shibanov D.A.¹, Mikhailov A.V.¹

¹*Saint-Petersburg Mining University;*

²*ООО «IZ-KARTEX named after P.G. Korobkov», Saint-Petersburg*

Keywords: quarry electric excavator, ergatic system, cycle duration, evaluation criteria, work efficiency, operator qualification.

Abstract. This article presents the main provisions characterizing the influence of the ergatic system on the duration of the working cycle of a quarry electric excavator. The article also analyzes the possibility of using a mathematical model of the cycle duration to evaluate the main indicators of the excavator, which allows not only to choose an existing excavator, acting as a criterion for evaluating equipment, but also contributes to a more rational approach to designing the machine itself for the necessary operating conditions. The description of the experiment carried out on the simulator of the EKG 18R excavator is given, and the voltage characteristics of the main drives of the excavator are obtained. The results obtained allow us to assert the degree of influence of the ergatic system on the performance of the machine and the need to create a criterion for evaluating the qualifications of the operator, which directly affects the duration of the machine's operation cycle. In conclusion, the necessity of developing a mathematical model of the duration of the working cycle time, taking into account the influence of the ergatic system, is indicated.

Введение. В современном мире карьерные электрические экскаваторы (ЭКГ) применяются в наиболее суровых условиях эксплуатации, благодаря своей долговечности и ремонтпригодности. На сегодняшний день основные конструктивные особенности данного вида оборудования давно устоялись, вследствие чего новых технических решений для увеличения производительности оборудования не предлагается. На основе чего можно сделать вывод о том, что данный вид оборудования развивается интенсивным методом, т.е. увеличением объема экскавируемой массы за один цикл работы, что приводит к увеличению габаритов машины и энергоемкости процесса. Режимы работы исполнительных механизмов весьма напряженные.

Не менее важным аспектом является анализ эргатической системы, относящейся к классу сложных динамических систем непрерывного взаимодействия. При условии устоявшихся технологий одним из основных факторов влекущим за собой отказы машины является оператор

и его взаимодействие с системой управления. Помимо отказов, действия операторов также напрямую влияют и на производительность машины. Основными показателями эффективности работы экскаватора являются: производительность, зависящая от ряда факторов, и минимальное время рабочего цикла. Даже при условном представлении времени одного цикла работы машины производителем, оно может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от квалификации оператора и его опыта. Функционирование сложных технических комплексов характеризуется их новыми системными свойствами: многообразием, нестабильностью, нелинейностью межсистемных взаимодействий, физикой процессов функционирования систем, экстремальными горно-геологическими условиями внешней среды [1, 2].

Исходя из этого, существует необходимость в проведении исследований, основанных на анализе производительности и энергоемкости современных карьерных электрических экскаваторов, за основу которых можно взять время цикла при экскавации горной массы, при этом учитывая факторы развития данного вида оборудования как эргатической системы.

Методология и материалы исследования. Среднее время цикла работы экскаватора и минимальное время цикла на сегодняшний день воспринимается только как придаток к оценке производительности. Однако, данные показатели связаны с гораздо более объемлющими показателями, определяющими рентабельность той или иной машины на рынке [3, 4], такими как:

– энерговооруженность, рассматриваемая как отношение установленной мощности N_y к массе G экскаватора (Вт/т):

$$W_N = \frac{N_y}{G}, \quad (1)$$

– энергоемкость экскаватора за один цикл его работы, как отношение выполненной работы за один цикл к вместимости ковша (Нм/м³):

$$W_A = \frac{N_y t_q}{E}, \quad (2)$$

– удельная материалоемкость, как отношение энергоемкости процесса экскавации к энерговооруженности машины (т/(м³/с)):

$$W_M = \frac{W_A}{W_N} = \frac{G t_q}{E}. \quad (3)$$

Анализ приведенных выражений показывает, что время рабочего цикла экскаватора может быть показательным для оценки эффективности работы экскаватора. Профессором В.И. Баловневым проведены исследования в данном направлении по отношению к строительной технике и строительным экскаваторам, в частности. В данных исследованиях предложено использовать среднее время цикла при выборе той или иной модели, необходимой исходя из конкретных условий эксплуатации [5]. В качестве строительных экскаваторов обычно используются относительно небольшие гидравлические модели, однако общая концепция использования времени цикла как критерия общей оценки оборудования оправдана для любого типа машин.

В.И. Баловневым предложен метод анализа четвертой координаты (продолжительности цикла), который заключается в математической модели, определяемой на основании отношений математических моделей работы сил сопротивления при выполнении операции, в нашем случае экскавации, к математической модели мощности. В соответствии с чем, продолжительность цикла разбивается на отдельные операции, для упрощения самой модели [6]. Таким образом, в продолжительность цикла входит время, затрачиваемое на операции: зачерпывания, подъема ковша с горной массой, поворота платформы, выгрузки массы в кузов самосвала, поворота верхнего строения обратно в забой и опускания ковша.

Из данных исследований было получено, что минимальное время цикла и максимальная производительность увеличивается с ростом объема ковша, скорости зачерпывания, мощности и уменьшается с увеличением прочности разрабатываемой горной массы, радиуса инерции и угла поворота экскаватора. Также были выведены зависимости для определения

энергонасыщенности, минимально возможного времени цикла и соответственно оценки максимальной производительности выемочной машины. Данная методика позволяет не только выбрать существующий экскаватор, выполняя роль критерия оценки оборудования, но также и способствует более рациональному подходу к проектированию самой машины под конкретные условия эксплуатации.

Данный подход способен обеспечить реализацию современных норм качества и требований к эксплуатационным характеристикам ЭКГ. Однако, необходима полная адаптация данных теоретических изысканий, а именно математической модели, с учетом массогабаритных характеристик, конструкторских особенностей, условий эксплуатации ЭКГ, для использования ее в горной промышленности.

Исследование проводится на основе существующих моделей экскаваторов производства компании «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова». Это позволяет сравнить параметры выпускаемых моделей и выявить рентабельность использования той или иной модели относительно различных условий эксплуатации, используя уже при этом новый подход к оценке данного типа оборудования. На основе метода анализа четвертой координаты можно будет также оценить показатели, представляемые производителем о производительности машины, а именно ее времени цикла.

Квалификация оператора выступает в качестве дополнительного критерия в реальных условиях эксплуатации и выведенный во введении к данной статье влияющий непосредственно на продолжительность цикла работы любой машины. Средняя продолжительность цикла может являться также критерием оценки не только эксплуатационных характеристик самой машины, но и навыков оператора по управлению тем или иным оборудованием [7].

Для оценки степени влияния квалификации оператора на продолжительность рабочего цикла ЭКГ был произведен эксперимент на тренажере, имитирующем процесс экскавации на машине ЭКГ-18Р (рис. 1). В процессе переподготовки оператора, работавшего до этого только на машинах с объемом ковша 10 м³, на тренажере экскаватора проходило отслеживание средней продолжительности цикла работы, минимального времени цикла, а также количества ошибок при выполнении контрольного задания.



Рис. 1. Тренажерный комплекс для ЭКГ-18Р

Общее количество времени для переквалификации на тренажере не превышало 36 часов, при этом параллельно проводились контрольные упражнения для оценки совершенствования приобретаемых навыков. На тренажере моделировался забой высотой 16 м, материалом для экскавации служил уголь, характеристики снимались за время загрузки кузова карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т. Помимо показателей продолжительности цикла работы и фиксации ошибок при прохождении упражнения (ошибки состояли в действиях, приводящих в дальнейшем к незапланированным отказам машины, примером может послужить упор

конечных выключателей рукояти в седловой подшипник экскаватора), снимались вольтамперные характеристики с основных узлов машины, а именно: напора, поворотной платформы и подъема, что позволяет также рассмотреть и показатели нагрузки на оборудование за время выемки и погрузки горной массы [8, 9].

Цель эксперимента – выявление закономерностей влияния квалификации, стажа оператора и различных условий эксплуатации на основные рабочие показатели ЭКГ [10].

Объектом исследования в данном эксперименте являются процессы изменения мгновенных вольтамперных характеристик основных приводов карьерных электрических экскаваторов, задействованных в процессе экскавации в течение цикла экскавации при различных условиях функционирования.

Исходные данные для эксперимента:

- 1) тренажерный комплекс машиниста карьерного электрического экскаватора ЭКГ-18Р/20К с имитацией информационно-диагностической системы экскаватора;
- 2) симулятор ИДС (информационно-диагностической системы) на ПК для симуляции работы экскаватора по базе данных;
- 3) машинист ЭКГ, стаж 10 лет, квалификация – 6 разряд.

При выполнении эксперимента были поставлены следующие задачи:

- 1) дать описание тренажерного комплекса;
- 2) сформировать параметры эталонного цикла экскавации;
- 3) сформировать статистическую базу данных ИДС (по нагрузкам на главных приводах) на тренажерном комплексе с машинистом высокой квалификации;
- 4) собрать данные с ИДС тренажерного комплекса по нагрузкам на главных приводах при различных горно-геологических условиях функционирования машины;
- 5) собрать данные с ИДС тренажерного комплекса по нагрузкам на главных приводах при различных условиях подготовки горной массы;
- 6) выявить наиболее информационные участки цикла экскавации;
- 7) оценить динамику процесса обучения при переподготовке оператора;
- 8) разработать алгоритм сравнительной оценки циклов экскавации и эффективности эксплуатации экскаватора, исходя из нагрузок на основных приводах, и выработать критерии оценки.

Результаты. Предварительные результаты можно увидеть на примере одного из циклов экскавации при использовании тренажера (рис. 2). На диаграммах, представленных на рисунке 2 красным выделен отдельный рассматриваемый цикл. Цикл на данных диаграммах взят с крайнего нижнего положения ковша перед началом копания (рис. 2,в), время рабочего цикла экскавации составляет 22 с. Сравнение диаграмм показало, что оператор, имеющий достаточную квалификацию, совмещает две или три операции из цикла экскавации, что непосредственно сказывается и на общем времени цикла. В этом можно убедиться, если обратиться к значениям, предоставленным производителем – 26 с на цикл.

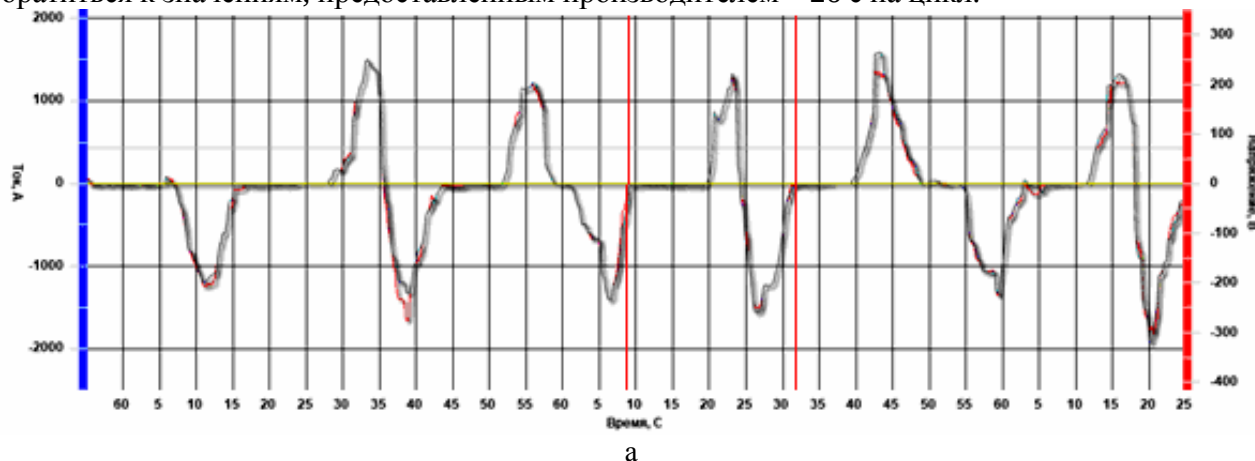


Рис. 2. Вольтамперные характеристики приводов на тренажере ЭКГ-18Р: а) поворотной платформы

Список литературы

1. Великанов В.С., Олизаренко В.В. Определение производительности одноковшового гусеничного экскаватора с учетом профессиональных навыков машиниста // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – С. 85-91.
2. Великанов В.С., Великанова С.С. Исследование связи между коэффициентом управления и квалификацией машиниста экскаватора // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГГУ», 2009. – С. 24-28.
3. Савинкин В.В., Карамгужинова А.Е. Исследование основных параметров одноковшового экскаватора // Вестник Северо-Казахстанского университета им. Манаша Козыбаева. – 2016. – №4. – С. 107-114.
4. Савинкин В.В., Кузнецова В.Н. Анализ эффективности работы одноковшового экскаватора // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – №4. – С. 26-33.
5. Баловнев В.И. Определение оптимальных параметров и выбор дорожно-строительных машин методом анализа четвертой координаты. – М.: МАДИ, 2014. – 181 с.
6. Баловнев В.И. Определение оптимальных параметров и выбор землеройных машин в зависимости от условий эксплуатации – М.: МАДИ. 2010. – 133 с.
7. Махно Д.Е., Зельцер П.Я. К методике оценки уровня квалификации машиниста экскаватора // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 12. – С. 105-107.
8. Емельянов А.А., Иванов С.Л., Шибанов Д.А. К вопросу оценки влияния квалификации машиниста на техническое состояние экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 38. – С. 442-453.
9. Костыгова Д.М., Емельянов А.А. Имитационное моделирование карьерного экскаватора ЭКГ-18Р производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС» в тренажере подготовки машинистов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №10. – С. 177-184.
10. Шибанов Д.А., Шишлянников Д.И., Иванова П.В., Иванов С.Л. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства ИЗ-КАРТЭКС // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – №9. – С. 39.

References

1. Velikanov V.S., Olizarenko V.V. Determination of the performance of a single-bucket crawler excavator taking into account the professional skills of the machinist // Extraction, processing and application of natural stone: collection of scientific tr. – Magnitogorsk: SEI HPE "MSTU". 2009. – P. 85-91.
2. Velikanov V.S., Velikanova S.S. Investigation of the relationship between the control coefficient and the qualification of the excavator driver // Technological equipment for mining and oil and gas industry: collection of scientific tr. – Yekaterinburg: SEI HPE "UMSU". 2009. – P. 24-28.
3. Savinkin V.V., Karamguzhinova A.E. Investigation of the main parameters of a single-bucket excavator // Bulletin of the North Kazakhstan University n.a. Manash Kozybayev. 2016, no. 4, pp. 107-114.
4. Savinkin V.V., Kuznetsova V.N. Analysis of the efficiency of a single-bucket excavator // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. 2014, no. 6, pp. 26-33.
5. Balovnev V.I. Determination of optimal parameters and choice of road-building machines by the method of analysis of the fourth coordinate: textbook. – M.: MADI, 2014. – 181 p.
6. Balovnev V.I. Determination of optimal parameters and selection of earthmoving machines depending on operating conditions: textbook. – M.: MADI, 2010. – 133 p.
7. Makhno D.E., Zeltser P.Ya. To the methodology of assessing the level of qualification of an excavator driver // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2011, no. 12, pp. 105-107.
8. Emelyanov A.A., Ivanov S.L., Shibanov D.A. On the issue of assessing the influence of the driver's qualification on the technical condition of the excavator // Mining information and analytical bulletin. 2017, no. 38, pp. 442-453.
9. Kostygova D.M., Emelyanov A.A. Simulation modeling of the EKG-18R quarry excavator manufactured by IZ-KARTEX LLC in the simulator for training machinists // Mining information and analytical bulletin. 2017, no.10, pp. 177-184.
10. Shibanov D.A., Shishlyannikov D.I., Ivanova P.V., Ivanov S.L. Comprehensive assessment of factors determining the operating time of EKG excavators of the new product line production of IZ-KARTEX // Mining equipment and electromechanics. 2015, no. 9, pp. 3-9.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Бессонов Александр Евгеньевич – аспирант	Bessonov Aleksandr Evgenievich – graduate student
Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения	Shibanov Daniil Aleksandrovich – candidate of technical sciences, associate professor of mechanical engineering Department
Михайлов Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения	Mikhailov Aleksandr Viktorovich – doctor of technical sciences, professor of mechanical engineering Department
be5son0v@yandex.ru	

Получена 31.05.2022