

УДК 62.83.52

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА**В. М. Чермалых, А. В. Чермалых, И. Я. Майданский**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
просп. Победы, 37, г. Киев, 03057, Украина. E-mail: ivanmaidanskyi@gmail.com

На основе анализа режимов работы электроприводов главных механизмов роторного экскаватора в технологическом цикле рассмотрены возможные типы систем управления положением рабочего органа экскаватора. С помощью структурных моделей получены графики изменения контролируемых переменных. По результатам моделирования даны рекомендации относительно применения систем управления перемещением роторного колеса в пространстве в зависимости от технологии работы механизмов поворота, подъема и хода.

Ключевые слова: экскаватор, электропривод, управление положением, моделирование.**СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОЛОЖЕННЯМ РОБОЧОГО ОРГАНУ РОТОРНОГО ЕКСКАВАТОРА****В. М. Чермалих, О. В. Чермалих, І. Я. Майданський**

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03057, Україна. E-mail: ivanmaidanskyi@gmail.com

На основі аналізу режимів роботи електроприводів головних механізмів роторного экскаватора в технологічному циклі розглянуто можливі типи систем керування положенням робочого органу экскаватора. За допомогою структурних моделей отримано графіки зміни контрольованих перемінних. За результатами моделювання надано рекомендації щодо застосування систем управління переміщенням роторного колеса в просторі залежно від технології роботи механізмів повороту, підйому й ходу.

Ключові слова: экскаватор, электропривод, управління положенням, моделювання.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Карьерные роторные экскаваторы нашли широкое применение в горнодобывающей промышленности, а также в строительстве. К главным механизмам роторного экскаватора относятся механизмы вращения роторного колеса, подъема и поворота роторной стрелы, перемещения (хода) машины, конвейерной линии. Непосредственно процесс выемки материала обеспечивается совместной работой механизмов вращения ротора и поворота стрелы. Механизмы подъема и хода реализуют требуемые установочные операции рабочего органа, а ленточные конвейеры транспортируют породу от места разгрузки ковшей ротора до погрузочного устройства экскаватора. Исходя из различного функционального назначения основных механизмов в технологическом процессе экскавации, решение вопроса точной отработки заданных перемещений ротора касается только электроприводов поворота, подъема и хода. При этом каждый из рассматриваемых механизмов решает свою конкретную задачу [1].

Целью работы является исследование различных типов систем управления перемещением рабочего органа роторного экскаватора с помощью структурных моделей и выдача рекомендаций по их применению для конкретных механизмов роторного экскаватора.

Необходимость применения систем управления положением для электроприводов механизмов поворота, подъема и хода обусловлена особенностями работы каждого из них в рабочем процессе [2].

Электропривод механизма поворота роторной стрелы работает в угловых координатах горизонтальной плоскости и обеспечивает формирование расчетных углов боковых уступов, как внешнего, так и внутреннего. Этим обеспечивается устойчивое продвижение фронта забоя при работе роторного экскаватора.

Электропривод механизма подъема роторной стрелы работает в угловых координатах вертикальной плоскости и решает технологическую задачу по реализации требуемого количества слоев в снимаемом блоке по высоте яруса.

Электропривод механизма хода машины работает в линейных координатах перпендикулярно фронту забоя и выполняет фактически две функции: задает необходимую толщину снимаемой стружки и формирует расчетный угол откоса забоя, чем исключается просыпание породы по фронту забоя.

Тем самым, работа электроприводов механизмов поворота, подъема и хода в режиме отработки заданных перемещений позволяет решить основную технологическую задачу – реализовать в процессе экскавации требуемую высокую точность выполнения паспорта забоя [3]. Этим обеспечивается заданная производительность роторного экскаватора в целом.

Кроме того, при исследовании режимов работы указанных электроприводов роторного экскаватора представляет интерес учет различных перемещений по величине. Так, привод поворота стрелы обрабатывает большие угловые перемещения (до 130 °), привод подъема – средние (около 35 °), а привод хода – малые линейные (порядка 0,5 м) [4].

Таким образом, характерны все три возможных варианта, связанных с проблемой управления положением рабочего органа механизмов [5].

Следует отметить, что в большинстве случаев задача отработки заданных перемещений рабочего органа роторных экскаваторов до последнего времени решалась с помощью специальных средств автоматизации, которые, во-первых, изготавливались малыми сериями, а во-вторых, не всегда обеспечивали требуемую точность.

В этой связи тему исследований, связанных с выбором и использованием систем управления электроприводом для решения задачи управления положением роторного колеса в пространстве для механизмов поворота, подъема и хода роторных экскаваторов, следует считать актуальной.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В работе использованы данные, основанные на технологическом расчете режимов работы электроприводов главных механизмов роторного экскаватора

ЭРП–5250 производства ПО «НКМЗ» (Украина), который принят за базовую модель.

В качестве системы экскаваторного электропривода рассмотрен частотно-регулируемый электропривод по схеме ПЧ–АД, что соответствует современной тенденции внедрения на мировом и отечественном рынках таких систем на экскаваторах различных типов, как одноковшовых, так и роторных.

На рис. 1 представлена структурная модель силового канала линеаризованной системы ПЧ–АД [6] и ее изображение в виде подсистемы UZ_AM .

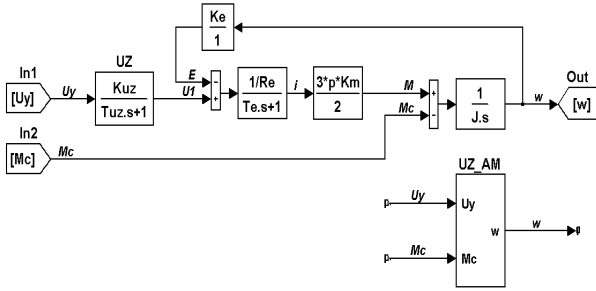


Рисунок 1 – Структурная модель силового канала электропривода по системе ПЧ–АД

На входе $In1$ формируется сигнал управления преобразователем частоты UZ , на вход $In2$ подается нагрузочный момент статического сопротивления, а с выхода Out снимается сигнал фактической угловой скорости.

В модели силового канала учтены следующие параметры: эквивалентное активное сопротивление обмоток двигателя R_e , эквивалентная электромагнитная постоянная времени T_e , коэффициент связи по моменту K_m , число пар полюсов двигателя p , коэффициент передачи по ЭДС двигателя K_e , полный момент инерции системы J , коэффициент передачи преобразователя частоты K_{uz} , постоянная времени преобразователя T_{uz} .

Механизм поворота роторной стрелы. Исходные технологические данные: работы ведутся правым забоем с внешним углом поворота 35° относительно оси экскаватора и внутренним углом поворота 80° (таким образом, суммарный угол поворота стрелы составляет 115°); минимальная угловая скорость двигателя поворота на оси машины перпендикулярно забую $\omega_0 = 29,5$ рад/с; время поворота $t = 160$ с.

Поскольку механизм поворота является основным в рабочем цикле роторного экскаватора, то кроме отработки требуемых граничных углов полезно было бы контролировать траекторию перемещения рабочего органа в течение всего цикла поворота. Поэтому, с учетом необходимости отработки больших угловых перемещений, подходящей следует считать следящую систему управления (рис. 2) на базе классической двухконтурной системы подчиненного регулирования положения (ПИ-регулятор AS , датчик US) и скорости (ПИД-регулятор AR , датчик UR).

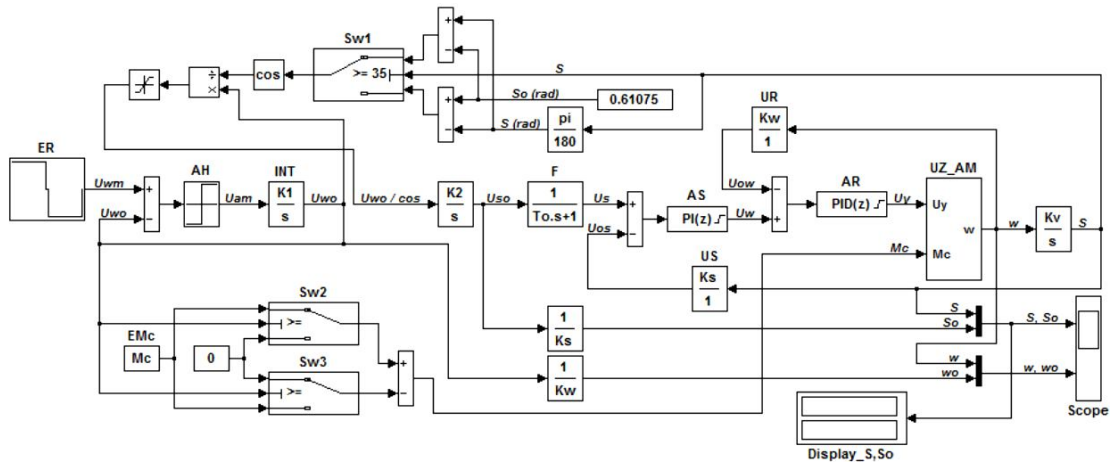


Рисунок 2 – Структурная модель двухконтурной следящей системы управления положением

В этом случае на входе блоком ER задается только величина скорости, а требуемые диаграммы скорости и перемещения формируются соответствующими интеграторами с коэффициентами передачи $K1$ и $K2$.

Технологической особенностью работы электропривода механизма поворота является наличие косинусного регулятора в канале формирования требуемой скоростной диаграммы. Основные элементы: ключ $Sw1$, блок вычисления косинуса и блок деления с ограничителем выходного сигнала. Этот регулятор предназначен для компенсации серповидности снимаемой стружки с целью обеспечения одинаковой загрузки ковшей при любых углах поворота. Принцип работы состоит в том, что оператор-машинист задает на входе сигнал минимальной скорости поворота при нулевом угле, который соответствует оси движения экскаватора. При изменении угла поворота

влево и вправо от оси за счет деления сигнала задания скорости на косинус угла поворота возрастает скорость поворота стрелы и увеличивается заполнение ковшей. Такой алгоритм выполняется при углах поворота до $\pm 60^\circ$. При этом скорость поворота удваивается и при больших углах остается неизменной. Ключи $Sw2$ и $Sw3$ формируют пассивный характер нагрузки механизма поворота, обеспечивая изменение знака момента сопротивления при реверсе.

На рис. 3 приведены диаграммы отработки траекторий фактического s и заданного s_0 угловых перемещений вправо и влево, которые практически совпадают. Скоростная диаграмма изменения угловой скорости двигателя ω относительно заданной минимальной ω_0 наглядно демонстрирует работу косинусного регулятора.

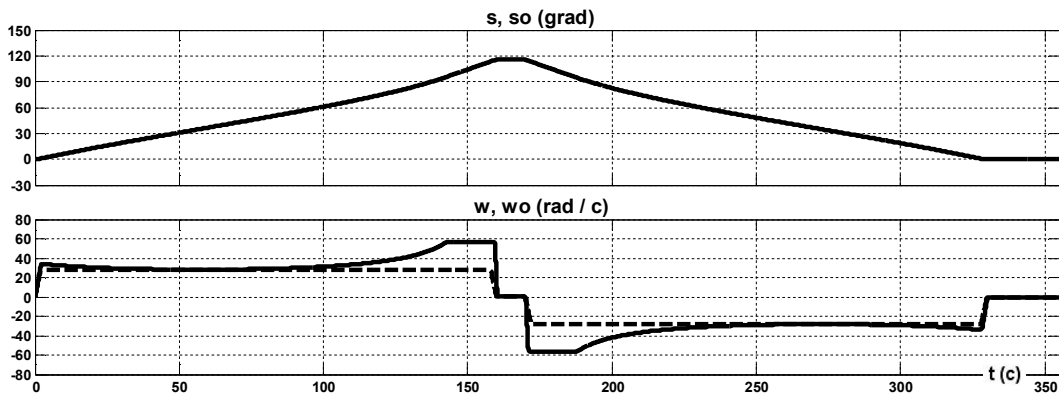


Рисунок 3 – Диаграммы угловых перемещений и скоростей двухконтурной следящей системы управления электроприводом поворота

Скоростная диаграмма изменения угловой скорости двигателя ω относительно заданной минимальной ω_0 наглядно демонстрирует работу косинусного регулятора.

Механизм подъема роторной стрелы. Исходные технологические данные: высота забоя $H = 35$ м, количество снимаемых слоев или ярусов $n = 7$, высота каждого яруса соответственно $h_i = 5$ м.

Технология работы механизма подъема следующая. Вначале происходит подъем с максимальной угловой скоростью двигателя $\omega_{\max} = 33$ рад/с на всю высоту забоя и роторное колесо устанавливается на уровень самого верхнего яруса. После отработки этого яруса происходит опускание стрелы на один ярус ниже с минимальной скоростью $\omega_{\min} = 11$ рад/с и т.д.

Время подъема на всю высоту забоя $t_0 = 660$ с, а время опускания стрелы при переходе на один ярус ниже $t_1 = 350$ с.

Для привода подъема характерна определенная зависимость между заданной скоростью и величиной перемещения роторной стрелы, т.е. переход от одного слоя к другому происходит с малой скоростью, а подъем на всю высоту яруса в отработываемом блоке осуществляется с большей скоростью. Таким образом, для данного механизма характерны средние перемещения, и можно рекомендовать следящий электропривод с комбинированной системой подчиненного регулирования на базе задающей модели второго порядка (рис. 4).

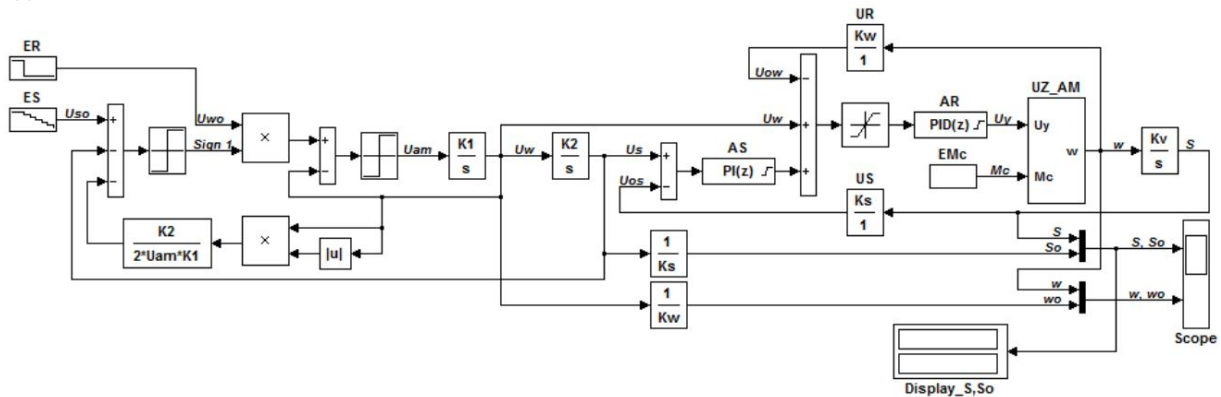


Рисунок 4 – Структурная модель комбинированной следящей системы управления

По структуре система управления выполнена двухконтурной с подчиненным регулированием скорости и положения. Контур скорости содержит цифровой ПИД-регулятор AR и отрицательную обратную связь (датчик скорости UR). Контур положения имеет цифровой ПИ-регулятор AS , а также свою отрицательную обратную связь (датчик положения US). Особенностью рассматриваемой структуры является наличие двух управляющих сигналов по положению и по скорости, которые одновременно подаются на вход внутреннего контура регулирования скорости.

Формирование требуемых диаграмм изменения скорости и положения обеспечивает задающая мо-

дель второго порядка, основными элементами которой являются два интегратора с коэффициентами передачи $K1$ и $K2$. Действия оператора-машиниста роторного экскаватора имитируют блоки задания скорости ER и требуемого перемещения ES , а величину активной нагрузки механизма подъема задает блок EMc . Диаграммы фактических и заданных линейных перемещений за полный цикл работы механизма подъема, а также фактической и заданной скоростей представлены на рис. 5. Полученные графики изменения, как перемещений, так и скоростей, показывают очень высокую точность отработки задания обеих координат на всех участках работы привода подъема.

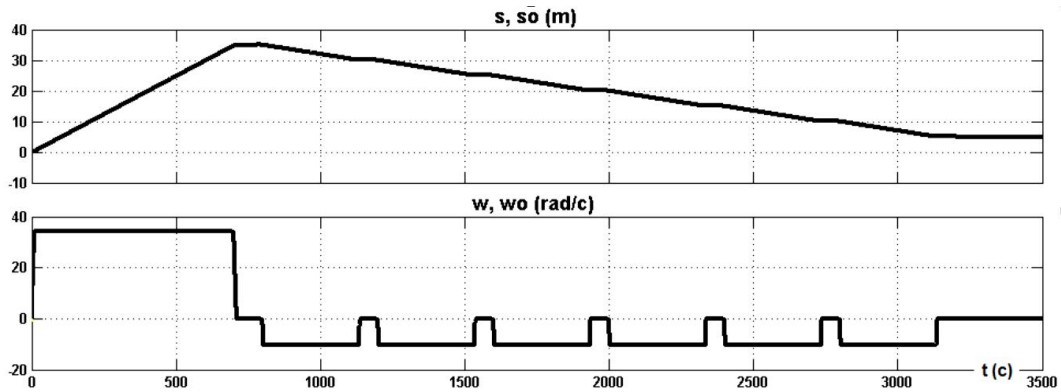


Рисунок 5 – Диаграммы перемещений и скоростей комбинированной следящей системы управления электроприводом подъема

Механизм хода экскаватора. Исходные технологические данные: длина лъж $L = 8,5$ м; толщина стружки $l = 0,6$ м; количество снимаемых вертикальных стружек в каждом ярусе $n_i = 12$.

Технология работы механизма хода следующая. Вначале происходит последовательная подача машины вперед с минимальной угловой скоростью двигателя $\omega_{\min} = 11$ рад/с на требуемую толщину стружки, пока не будет отработан один ярус. После отработки каждого яруса происходит отъезд экскаватора назад на всю длину лъж с максимальной скоростью $\omega_{\max} = 47,5$ рад/с.

Время наезда экскаватора на толщину каждой стружки $t_i = 18$ с, а время передвижения машины на всю длину лъж $t_0 = 60$ с.

Механизм хода выполняет дозированную подачу на необходимую толщину стружки (малые линейные перемещения), и важным является точность отработки заданного перемещения по величине, а не траектория движения экскаватора. Для этого варианта наиболее подходит система позиционного управления без контроля траектории, модель которой представлена на рис. 6.

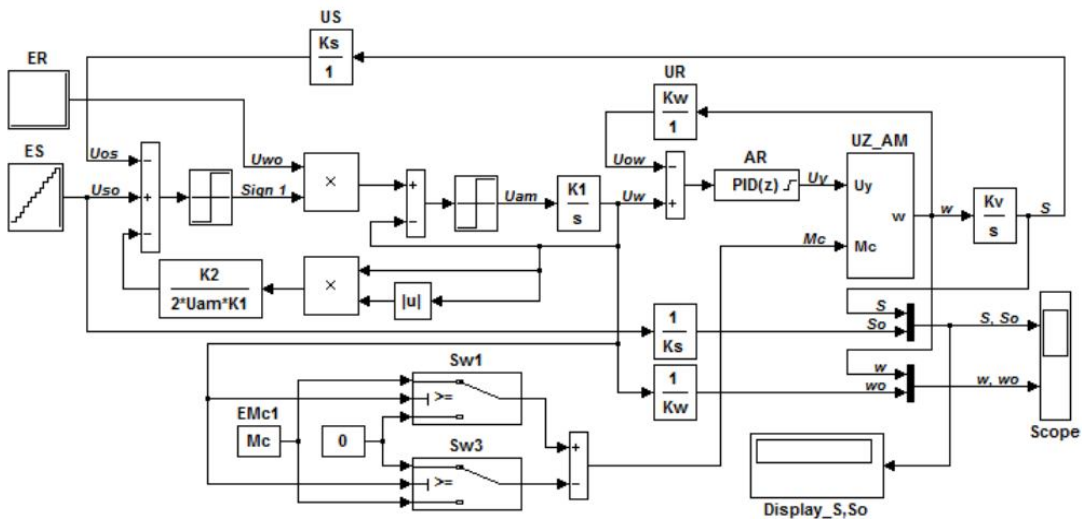


Рисунок 6 – Структурная модель одноконтурной по скорости системы позиционного управления

В рассматриваемой системе позиционного управления электроприводом хода отсутствует контур регулирования положения. Таким образом, траектория движения не формируется и не контролируется, а обрабатывается заданная блоком ES непосредственно требуемая величина перемещения либо на толщину стружки, либо на всю длину лъж.

Диаграммы, приведенные на рис. 7, иллюстрируют технологический цикл работы механизма хода. Система обеспечивает как высокую точность позиционирования, так и выполнение требуемых скоростных диаграмм.

ВЫВОДЫ. 1. Анализ режимов работы главных механизмов роторного экскаватора в технологическом цикле показал целесообразность применения систем управления положением рабочего органа роторного экскаватора для механизмов поворота, подъема и хода.

2. Результаты моделирования предложенных структур систем управления перемещением для электроприводов механизмов поворота, подъема и хода, с учетом специфики их работы в процессе экскавации, подтвердили возможность обеспечения требуемой высокой точности отработки заданных перемещений и скоростных диаграмм.

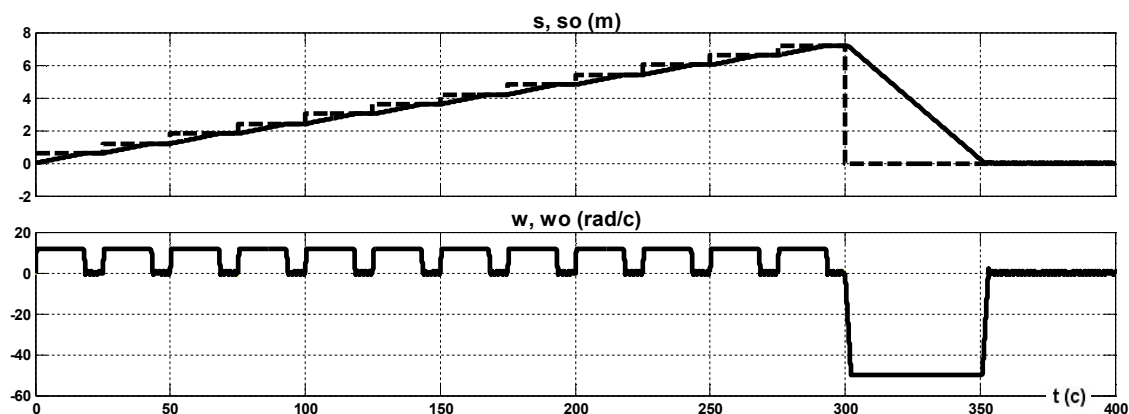


Рисунок 7 – Диаграммы линейных перемещений и скорости системы позиционного управления механизмом хода без контроля траектории движения

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников Ю.Т., Горнов А.О., Остриров В.Н. и др. Системы электропривода и электрооборудование роторных экскаваторов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 312 с.
2. Бухгольц В.П., Снагин В.Т. Автоматическое управление роторными экскаваторами. – М.: Недра, 1986. – 143 с.
3. Левин П.А. Опыт автоматизации рабочих процессов роторных экскаваторов: обзор / НИИЭИуголь. – М.: 1986. – 28 с.

4. Щадов М.И., Владимиров В.М. Справочник механика открытых горных работ. Экскавационно-транспортные машины непрерывного действия. – М.: Недра, 1989. – 487 с.
5. Онищенко Г.Б. Электрический привод : учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
6. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

POSITION CONTROL SYSTEM OF THE WORKING ORGAN OF THE ROTOR EXCAVATOR

V. Chermalykh, A. Chermalykh, I. Maidanskyi

National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»
 prosp. Pobedy, 37, Kiev, 03057, Ukraine. E-mail: ivanmaidanskyi@gmail.com

Based on the analysis modes of operation electric drive of the major mechanisms of rotor excavator in the technological cycle the possible types of systems controlling the position of the working organ the excavator. Using structural models obtained graphs of the controlled variables. According to the results of modeling are gives recommendations on the application motion control systems bucket wheel in space depending on the technology of mechanisms rotation, raising and stroke.

Key words: excavator, electric drive, position control, modeling.

REFERENCES

1. Kalashnikov J.T., Gornov A.O., Ostririv V.N. and oth. *Electric drive system and electric equipment rotor excavators*. – M.: Energia, 1988. – 312 p. [in Russian]
2. Buchholz V.P., Snagin V.T. *Automatic control of rotor excavators*. – M.: Nedra, 1986. – 143 p. [in Russian]
3. Levin P.A. *Experience in automation Workflow rotor excavators: review* / НИИЭИуголь. – М.: 1986. – 28 p. [in Russian]
4. Shchadov M.I., Vladimirov V.M. *Reference mechanics of open cast mining. Excavation-transportnye machine of continuous action*. – M.: Nedra, 1989. – 487 p. [in Russian]

5. Onishchenko G.B. *Electric drive: textbook for students in higher education*. – M.: publishing center «Academy», 2008. – 304 p. [in Russian]
6. German-Galkin S.G. *Matlab & Simulink. Design of mechatronic systems on a PC*. – SPb.: KORONA-Vek, 2008. – 368 p. [in Russian]

Стаття надійшла 21.06.2012.

Рекомендовано до друку
 д.т.н., проф. Толочко О.І.