

*Крупко И. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВЫХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЧЕТЫРЕХОПОРНОМ ШАГАЮЩЕМ ДВИЖИТЕЛЕ ЭКСКАВАТОРА

Наведені результати теоретичних досліджень, отримані залежності на основі розроблених структурної і розрахункової схем, які описують процес пересування кар'єрного екскаватора з чотирьохопорним крокуючим рушієм.

Ключові слова: екскаватор, функціонально закінчений елемент, чотирьохопорний крокуючий рушій.

Приведены результаты теоретических исследований, получены зависимости на основании разработанных структурной и расчетной схем, которые описывают процесс передвижения карьерного экскаватора с четырехопорным шагающим движителем.

Ключевые слова: экскаватор, функционально законченный элемент, четырехопорный шагающий движитель.

Повышение эффективности использования экскаваторной техники, работающей на карьерах, может быть достигнуто за счет снижения времени простоя таких машин, связанных с отказами отдельных узлов и механизмов. Как показал анализ отказов одноковшовых экскаваторов типа ЭКГ-5 и ЭКГ-10Н, проводимый на ЗАО НКМЗ, до 25% отказов от общего числа приходится на гусеничные механизмы передвижения. С целью повышения надежности механизмов передвижения на ЗАО НКМЗ разработан четырехопорный шагающий движитель [1]. Отличительной особенностью от существующих шагающих механизмов является наличие в таком движителе двух пар опорных башмаков, внутренних и внешних, приводимых в движение двумя парами эксцентриков. В процессе движения в таком механизме происходит подъем и опускание тележки за счет попарно поднимаемых и опускаемых внутренних и внешних опорных башмаков, т.е. пара опорных башмаков (лыж) приводится в движение синфазно вращающимися вокруг оси эксцентриками, а вторая пара лыж, эксцентриками. При работе экскаватора в забое вес машины равномерно распределяется на все четыре опорных башмака. Учитывая конструкцию такого движителя (отсутствие значительного

количества быстро изнашиваемых деталей, например, по сравнению с гусеничным ходом, а так же сравнительно меньшую массу по сравнению с шагающими трехопорными механизмами [2], ввиду отсутствия опорной базы), можно предположить, что в процессе эксплуатации такой движитель окажется весьма эффективным.

Целью данной работы является установление закономерностей изменения силовых и кинематических параметров четырехопорного шагающего движителя в процессе перемещения.

В работе ДонНТУ [3] предложен метод исследования горных и подъемно-транспортных машин в процессе выполнения технологических операций в виде функционирования системы «машина – внешняя среда». Основными компонентами этой системы являются такие подсистемы, как внешняя среда и машина, причем каждая из подсистем имеет свою структуру, а структура состоит из элементов, связанных между собой.

Применительно к одноковшовым карьерным экскаваторам структурная схема состоит из взаимосвязанных между собой следующих основных элементов: рабочего органа – ковш (к); рукояти (Рк) со стрелой (Стр), исполнительных механизмов (Мпод, Мнап), установленных на поворотной платформе (Мпп), которая с помощью опорно-поворотного устройства (ОП), механизма поворота (Пм) и центральной цапфы (Цц), связана с нижней рамой (Мнр). Нижняя рама опирается на ходовую часть, состоящую из четырех опорных башмаков (лыж 1-4), соединенных с помощью шарниров (О1...О8).

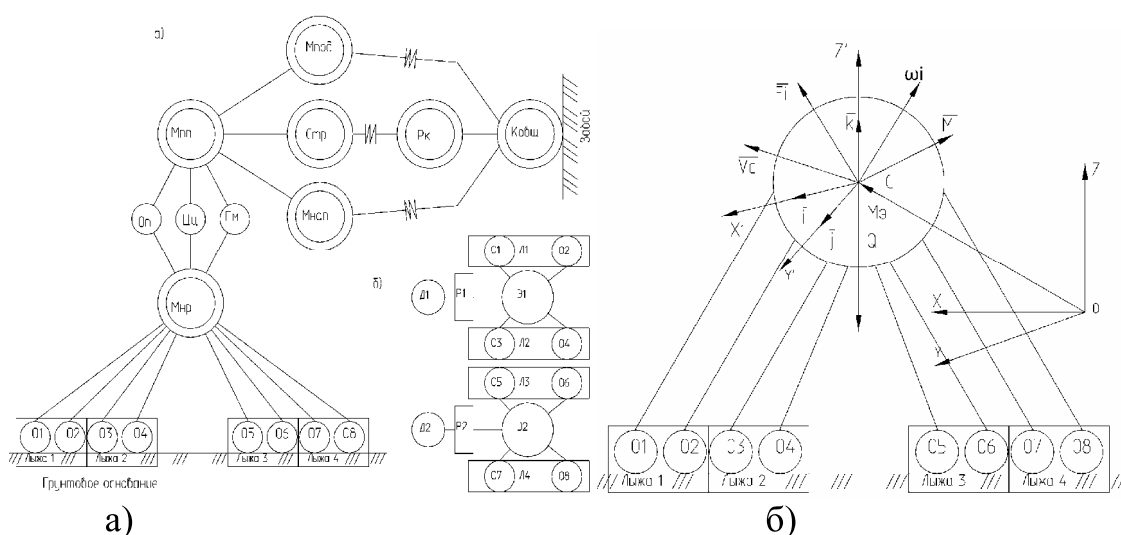


Рисунок 1 – Структурная а) и расчетная б) схемы экскаватора и механизма передвижения соответственно

На основании структурной (рисунок 1а) составлена расчетная схема четырехопорного шагающего движителя (рисунок 1б), которая

позволяет учесть конструкцию ходового оборудования, его взаимосвязи в структуре экскаватора, взаимодействие с внешней средой и формирование нагрузок в процессе перемещения экскаватора. Учитывая основные положения теории многокритериального анализа [3], разработана математическая модель процесса перемещения экскаватора как системы, состоящей из последовательно соединенных функционально-законченных элементов (ФЗЭ), при этом учитываем следующее:

- экскаватор это горная машина, представляющая собой техническую систему, включающую металлоконструкцию, исполнительные механизмы, рабочее и ходовое оборудование взаимодействующие с внешней средой;

- механизмы экскаватора рассматриваем с учетом их роли и значения для функционирования механической системы для выполнения горных работ по вскрыше, добыче и погрузке полезных ископаемых, перемещении машины в забое, устойчивому положению при выполнении технологических операций;

- внешнее воздействие на механизм передвижения представим в виде поступательно-перемещающейся массы (Мэ) с центром в точке С (рисунок 1а), шарнирно-соединенной в шарнирах (О1 – О8) с опорными башмаками (Л1 – Л4), на которые оказывает воздействие внешняя среда со стороны опорной поверхности забоя.

Математическую модель процесса передвижения экскаватора с учетом функционально законченных элементов (ФЗЭ) ходового оборудования по аналогии с горной машиной можно представить в виде вектор функции, записанной в неявном виде [3]:

$$f_i(\bar{X}, \bar{P}, \bar{Y}) = 0, \quad (1)$$

где \bar{X} - вектор входных параметров;

\bar{P} - вектор структуры и параметров машины;

\bar{Y} - вектор выходных параметров.

На расчетной схеме (рисунок 1б) показаны:

OXYZ – неподвижная система координат, жестко связанная с забоем;

SX'Y'Z' - система координат, жестко связанная с ППМ, с началом координат в центре масс, оси которой направлены по главным осям инерции;

$\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ - единичные векторы направления осей SX', CY' и CZ' в системе координат OXYZ;

$\bar{r}_C \{x_C, y_C, z_C\}$ - радиус-вектор центра масс ППМ в системе координат OXYZ;

$\bar{v}_C \{v_{CX}, v_{CY}, v_{CZ}\}$ - скорость центра масс ППМ в системе координат OXYZ;

$\bar{\omega}' \{\omega'_X, \omega'_Y, \omega'_Z\}$ - угловая скорость ППМ в системе координат CX'Y'Z';

$\bar{F} \{F_X, F_Y, F_Z\}$, $\bar{M}' \{M'_X, M'_Y, M'_Z\}$ - главный вектор и главный момент системы внешних сил, приложенных к ППМ в узлах взаимодействия; центр приведения – центр масс С, главный вектор задан в системе координат OXYZ, главный момент – в системе координат CX'Y'Z'.

Математическую модель шагающего механизма, как поступательно перемещающейся массы (ППМ), можно представить в общем виде [3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} m\ddot{\bar{r}}_C = \bar{F} + \bar{G}; \\ J_X \dot{\omega}'_X + (J_Z - J_Y) \omega'_Y \omega'_Z = M'_X; \\ J_Y \dot{\omega}'_Y + (J_X - J_Z) \omega'_Z \omega'_X = M'_Y; \\ J_Z \dot{\omega}'_Z + (J_Y - J_X) \omega'_X \omega'_Y = M'_Z; \\ \dot{\bar{i}} = \bar{i} \times \bar{\omega}'; \\ \dot{\bar{j}} = \bar{j} \times \bar{\omega}'; \\ \dot{\bar{k}} = \bar{k} \times \bar{\omega}'; \\ (C') = (\bar{i}, \bar{j}, \bar{k})^T, \end{array} \right. \quad (2)$$

где m – масса ППМ;

\bar{G} - вес пространственно перемещающейся массы, заданный в системе координат OXYZ;

J_X, J_Y, J_Z - главные моменты инерции ППМ.

(C') - матрица направляющих косинусов системы координат CX'Y'Z' относительно OXYZ, позволяющая определить положение массы (M1) относительно системы координат OXYZ.

Для вектора выходных параметров с целью оптимизации конструкции, оценки ее технического уровня основными компонентами можно считать векторы нагрузок, приложенные к узлам взаимодействия масс (\bar{F}_i), крутящих моментов (\bar{M}), угловых скоростей ($\bar{\omega}$), мощности привода (\bar{N}), скорости перемещения машины (\bar{V}_M).

С учетом зависимости (1) и обоснованных составляющих векторов $\bar{X}, \bar{P}, \bar{Y}$ математическую модель процесса перемещения экскаватора по подошве забоя и взаимодействия его с грунтом в процессе работы можно представить в следующем виде:

$$f_i(\bar{C}_i, \bar{P}_i, \bar{Y}_T, \bar{Y}_O, \bar{C}_K, \bar{C}_T, \bar{P}_K, \bar{P}_T, \bar{F}_i, \bar{Y}, \bar{M}, \bar{\omega}, \bar{N}) = 0. \quad (3)$$

Для механизмов передвижения компонентами вектора входных параметров являются параметры внешней среды, обозначим их через (\bar{C}_i, \bar{P}_i) , а управляющие воздействия на привод и трансмиссию через (\bar{Y}_T) , начальное состояние системы «экскаватор – внешняя среда» (\bar{Y}_O) . Для вектора параметров шагающего механизма экскаватора основными компонентами являются векторы структуры конструкции (\bar{C}_K) и трансмиссии (\bar{C}_T) , а так же векторы силовых параметров составных элементов конструкции и трансмиссии (\bar{P}_K, \bar{P}_T) .

В данной математической модели, представленной в виде вектор – функции, учитываются режимы работы механизма передвижения экскаватора, его взаимодействие с внешней средой, структура и параметры экскаватора и шагающего движителя, а так же влияние внешних воздействий на механизм, которые вызывают изменения положения экскаватора в пространстве и времени.

Для исследования процесса перемещения четырехопорного механизма передвижения структурную (рисунок 1а) и расчетную (рисунок 1б) схемы механизма следует рассматривать более подробно, т.е. необходимо установить взаимосвязи в структуре привода отдельных функционально-законченных элементов (ФЗЭ). Исходя из конструкции привода, рассматриваемого ходового оборудования [1], составим структурную схему одной части (половины) привода (рисунок 2).

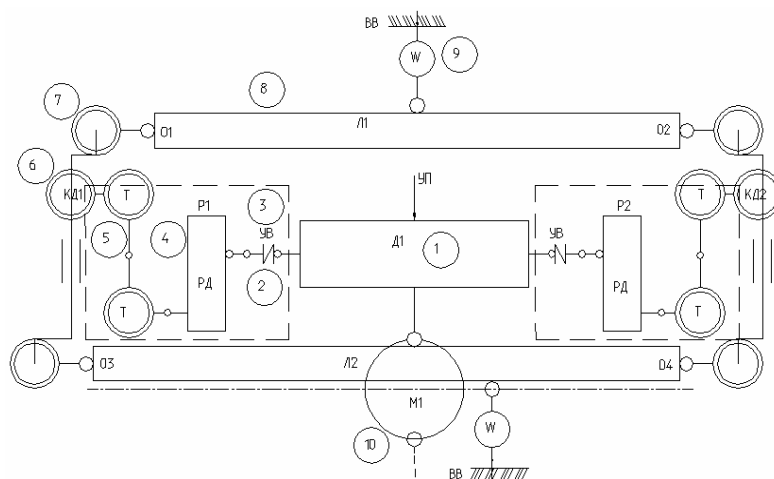


Рисунок 2 - Структурная схема привода четырехопорного шагающего движителя (половина привода относительно оси симметрии)

Представленная схема отражает конструкцию ходового оборудования экскаватора с массой (М1), структуру его трансмиссии (Р1) и (Р2) и взаимодействие опорной части (Л1, Л2) с грунтовым основанием забоя.

На рисунке 2 условно отражены связи между элементами привода в последовательности и направлении силового потока: от электродвигателя (Д1)-1 через трансмиссии (Р1, Р2), которые включают последовательное соединение функционально-законченных элементов – вала (УВ)-3 с муфтой – маховиком 2, редуктора (РД)-4, зубчатые передачи (Т)-5, эксцентрики (КД)-6,7, опорные башмаки (Л1, Л2)-8, соединенные с эксцентриком с помощью цилиндрических шарниров (О1 – О4). Опорные башмаки (лыжи) взаимодействуют с внешней средой (W). Реализация процесса перемещения механизма с массой (М1) обеспечивается управляющим воздействием на привод (УП).

Таким образом, структурная схема, представленная на рисунке 2, отражает состав элементов, входящих в ходовое оборудование, связи этих элементов между собой и с внешней средой, т.е. структуру системы «машина – движитель – внешняя среда».

Используем программное обеспечение для решения математических моделей с ФЗЭ, которое включает последовательное выполнение следующих операций:

1. Формирование базы данных (входных параметров)
2. Формирование файла *.txt
3. Формирование ММ процесса перемещения машины как ФЗЭ

ППМ

4. Моделирование ФЗЭ и их взаимодействия в структуре машины
5. Решение ММ с помощью метода Рунге-Кутты

В результате реализации вычислительного эксперимента были получены графики изменения параметров привода четырехопорного механизма шагания, которые представлены на рисунке 3.

Анализ графиков изменения параметров показывает:

- моменты на валу эксцентрика изменяются за период движения (один цикл 6,5с) по закону косинусов, причем на $\frac{1}{2}$ цикла шагания приходится режим рекуперации энергии (при опускании машины);

- мощность за один цикл движения изменяется от $P_{\max} \approx 1.4P_{\text{ном}}$ до $P_{\min} \approx 0,4P_{\text{ном}}$;

- усилия на валу эксцентрика изменяются в довольно широких пределах и при опирании на стойку (ногу) возникает $F_{\text{дин}} = k_{\text{F}} \times F_{\text{р.мах}}$ с коэффициентом динамики $k_{\text{д}} > 2$, что для работы деталей хода нежелательно;

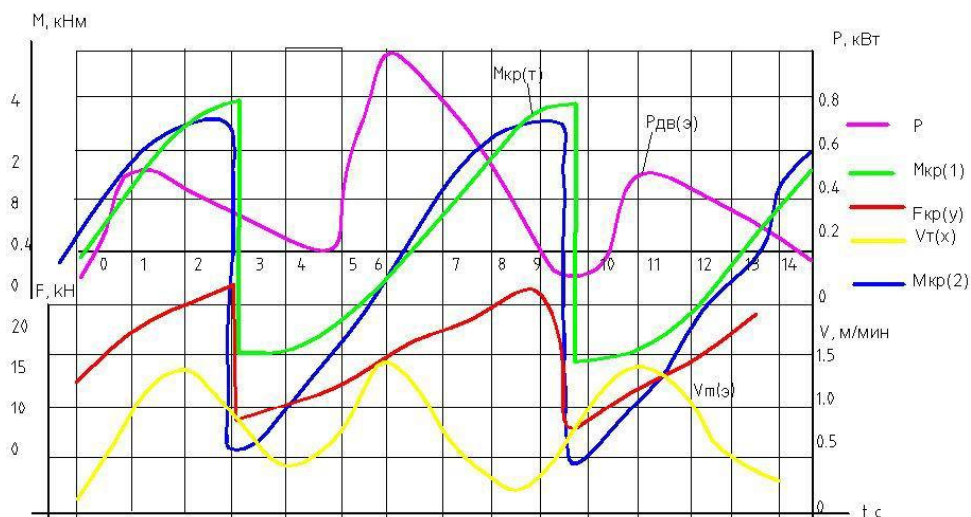


Рисунок 3 - Результаты вычислительного эксперимента механических параметров по математической модели четырехопорного шагающего механизма

- расчетное значение скорости $V_{т(x)}$ близкое к экспериментальному, а значение скорости $V_{т(y)}$ в некоторые моменты в 2 раза превышает $V_{т(x)}$.

В целом проверка показала, что ММ адекватна физической модели и расхождения составляют до 15% [4].

Таким образом, разработана математическая модель привода четырехопорного механизма шагания, особенностью которой является представление структуры механизма в виде взаимосвязанных функционально законченных элементов, взаимодействующих между собой и с внешней средой, которая позволила установить соотношения силовых и кинематических параметров привода. Направление дальнейших исследований заключается в совершенствовании структуры привода четырехопорного шагающего движителя экскаватора.

Библиографический список

1. Марченко А. І., Буренко О. Г., Калашиников О. Ю., Литвинов Л. І. Крокуючий хід важких кар'єрних екскаваторів – лопат. Патент України №46019 кл. E02F9/04, опублікований 15.05.2002 бюл. №5.
2. Подэрни Р. Ю. Горные машины и автоматизированные комплексы для открытых работ в 2 т. – М.: 2001 (Т.2 – 322с).
3. Семенченко А.К., Кравченко В.М., Шабаяв О.Є. Теоретичні основи аналізу і синтезу гірничих машин і процесу їх відновлення, як динамічних систем – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2002.-302с.-ISBN 966-7559-57-2.
4. Крупко І.В. Експериментальні дослідження чотирьохопорного ексцентрикового крокуючого механізму. Підйомно-транспортна техніка. –Днепропетровськ: 2009-№4 (32)-с.75-81.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Корнеевым С.В.