

УДК 629.311

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ МАШИН, ОСНАЩЕННЫХ ШАГАЮЩИМ ДВИЖИТЕЛЕМ**

студенты 4-го курса Горностай М.С., Евтягин Д.О.

*Научный руководитель – ст. преподаватель Басалай Г.А.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

На территории Республики Беларусь имеются значительные запасы нерудных полезных ископаемых для производства строительных материалов. В частности, добычу такого вида сырья ведут на карьерах Беларуси крупнейшие производители строительных материалов: Витебская обл. («Руба»), Могилёвская обл. (Цементные заводы в Костюковичах и Кричеве), Брестская обл. (ПО «Гранит»), Гродненская обл. (ОАО «Красносельскстройматериалы»).

Общей особенностью данных месторождений является добыча открытым способом. Общим технологическим процессом является проведение большого объёма вскрышных работ и разработкой пластов с дополнительным проведением основных технологических процессов – добычи полезного ископаемого. Основным технологическим оборудованием при разработке пород 1-4 категорий являются одноковшовые экскаваторы, фронтальные погрузчики, а также карьерный автомобильный и железнодорожный транспорт.

Среди экскаваторов основными являются драглайны, прямая, обратная лопаты с механическим и гидравлическим приводами исполнительных органов. Диапазон основного параметра (объём ковша) 1,5-11 куб. м.

Эффективность работы машин в значительной степени зависит от эксплуатационных свойств движителя. Для условий Беларуси это актуально в связи с тем, что состояние грунта существенно изменяется по несущей способности в течении года. Второй

особенностью является соблюдение норм безопасности эксплуатации этих машин на откосах.

Основным двигателем на горных машинах эксплуатационной массой 400-1500 тонн является шагающий двигатель, который по сравнению с гусеничным обеспечивает низкое удельное давление на почву при большой массе, хорошие маневренные качества на ограниченном пространстве, а также простота и надёжность конструкции с учетом длительного статического положения машины в течение эксплуатации.

Основная цель настоящей работы – моделирование движения горных машин, оснащенных различными шагающими двигателями и исследование влияние конструктивных параметров и внешних природных факторов на эксплуатационные свойства технологического оборудования, т. е. на шагающий отвалообразователь и экскаватор.

### **1. Оценка устойчивости одноковшового экскаватора во время шагания**

Используемые на предприятиях ОАО «Нерудпром» при разработке месторождений нерудных полезных ископаемых открытым (карьерным) способом одноковшовые экскаваторы (Рис.1) представлены в виде драглайнов ЭШ (Россия), НКМЗ (Украина) и МЗШ (Беларусь) с длиной стрелы до 75 м и емкостью ковша 6 м<sup>3</sup>.



**Рисунок 1 - Одноковшовый экскаватор на карьере по добыче мергеля (ОАО «Белорусский цементный завод, г. Костюковичи)**

При работе машина опирается на основание (базу), а лыжи приподняты над грунтом. Во всех моделях машин используются кривошипные или эксцентриковые (кулачковые) механизмы шагания. Они имеют один общий привод на два бортовых механизма для синхронного приведения в движение ног с лыжами.

При определенных технологических и сезонных условиях происходят нештатные процессы, в частности, повышенная деформация опорного основания породы, которые приводят к предельным кренам машин, что требует проверки запаса устойчивости на моделях и принятия мер по модернизации механизмов шагания. Одним из решений данной проблемы может послужить увеличение клиренса или высоты отрыва опорной базы от поверхности почвы. Данная мера поможет предотвратить «зарывание» опорной рамы в грунт, что чаще всего и наблюдается при перемещении шагающих экскаваторов при разработке карьеров при добыче мела и мергеля.

На реальных конструкциях шагающих отвалообразователей и экскаваторов процесс переноса базы во время шагания осуществляется плавно в течение времени ( $12 \div 20$  с), значительно превосходящем низкий период собственных колебаний конструкции этих машин. Поэтому в основном только импульсные скорости, приобретаемые элементами конструкции в моменты подъема и посадки, как показывают соответствующие расчеты и экспериментальные исследования [1-3], вызывают колебания в вертикальной продольной плоскости, следовательно, и динамические нагрузки в элементах несущих конструкций.

Необходимо иметь ввиду возможность усиления колебаний конструкции отвалообразователя при непрерывном шагании, вследствие того, что колебания от импульсов при каждом шаге (при определенной предельной скорости вращения ведомого вала механизма привода опорных лыж) не успевают полностью затухнуть ко времени действия нового.

**При передвижении** устойчивость одноковшового экскаватора снижается как из-за динамических нагрузок от действия механизма шагания, так и от неизбежного наклона машины в продольной плоскости при переносе базы. Статическая устойчивость экскаватора может быть оценена следующим образом.

Результатом этого исследования является **разработка авторами принципиально нового устройства для стабилизации экскаватора** при наклоне базы в виде подпятника, закрепленного на поворотной платформе в секторе проушин крепления стрелы.

## **2. Описание работы кривошипно-коромыслового механизма шагания горных машин**

**Кривошипно-коромысловый** механизм шагания предназначен для передвижения отвалообразователя или одноковшового экскаватора при перегонах и маневрировании.

Характеристика механизма:

1. Тип бортового механизма шагания  
- кривошипно-коромысловый, 4-звенный.
2. Количество бортовых механизмов шагания, шт 2
3. Длина шага, м 1,8
4. Высота подъема машины при шагании, м 0,44
5. Высота подъема лыжи при шагании, м 0,44

6. Скорость шагания, м/ч 160
7. Частота вращения вала кривошипа, мин 1,48
8. Редуктор - трехступенчатый, цилиндрический
9. Передаточное число редуктора 106,8
10. Передаточное число открытой пары 6,27
11. Общее передаточное число механизма 668,9
- 12) Двигатель - АК4-400ХК-6УЗ;  $N = 315\text{кВт}$ ,  $n = 1000\text{ об/мин}$
- 13) Тип тормоза ТГК-600
- 14) Тормозной момент, кгс.м 490

Механизм шагания имеет один общий привод на два кривошипно-коромысловых четырехзвенных бортовых механизма, которые устанавливаются с обеих сторон машины для приведения в движение ног с лыжами.

Звенья каждого бортового четырехзвенного механизма шагания – **эксцентрик, нога, рычаг** и сама **поворотная платформа** горной машины, как неподвижное звено (при подъеме ног и переносе лыж).

Верхняя часть ноги шарнирно связанная с рычагом, второй рычаг которого закреплен на оси подкоса надстройки при помощи сферического шарнира. Шарнирное соединение ноги с эксцентриком обеспечивается двумя сдвоенными роликовыми подшипниками.

Нижней, консольной частью нога своей сферой опирается на подпятник лыжи. Благодаря сферическому сочленению ноги и лыжи последняя имеет возможность хорошо приспосабливаться к рельефу местности.

В исходном положении горная машина опирается на круговую базу, а опорные лыжи удерживаются в подвешенном состоянии (Рис.2). Перед началом передвижения машины надстройка с исполнительными органами поворачивается в направлении движения. Следует обратить внимание, что отвалообразователи шагают в направлении на отвальную консоль конвейера, а одноковшовые экскаваторы-драглайны передвигаются в противоположном направлении, т.е. от стрелы с ковшем.



**Рисунок 2 - Общий вид кривошипного механизма шагания**

Таким образом, отвалообразователь разворачивается на роликовом круге базы отвальной консолью в сторону движения, опускается консоль приемная, чтобы между ее опорной и поверхностью грунта оставался зазор 50 мм, консоль отвальная поднимается на угол до  $13^{\circ}$ – $18^{\circ}$  (грунт на конвейере отсутствует). Затем происходит цикл шагания, который включает четыре фазы.

1) *Первая* фаза шагания:

Включается привод механизма шагания. Начинают синхронно вращаться оба эксцентрика, и приводится в движение оба четырехзвенных рычажных механизма. Ноги с лыжами, на верхнем положении, перемещаются вперед. В конце этой фазы выдвигение лыж сопровождается одновременным их опусканием, пока лыжи не коснутся грунта. В этот момент нагрузка от массы машины переносится от опорной базы на лыжи.

2) *Вторая* фаза шагания:

Эксцентрики продолжают вращаться в ту же сторону, в результате движения четырехзвенных кривошипно-шатунных механизмов ноги опираются на лыжи, лежащие на грунте, и поднимают машину вместе с базой. Машина приобретает продольный крен и опирается на третью «точку», расположенную в отвалообразователе на приемной консоли в зоне загрузочного бункера, а у экскаваторов – на переднюю кромку (в виде сегмента) опорного круга.

База поддерживается подхватами, расположенными под поворотной платформой. Третьей точкой опоры машины при этом является опора консоли приема. Ноги продолжают перемещаться и наклоняться, в результате чего перемещается вперед на величину шага, опираясь сзади на опору консоли приемной, которая ползет по поверхности грунта.

3) *Третья* фаза шагания:

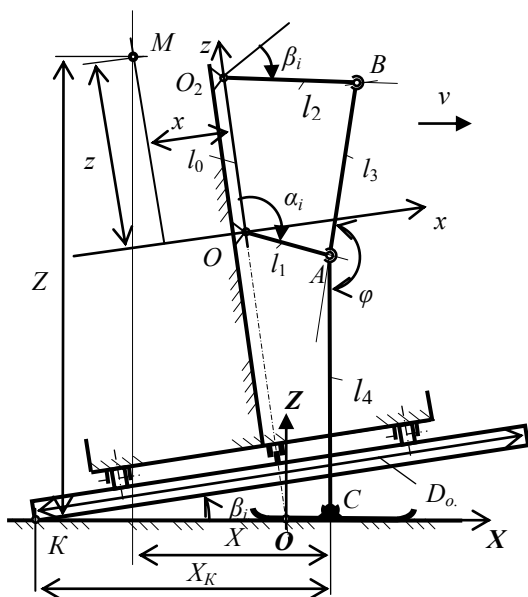
Эксцентрики продолжают вращаться в ту же сторону, «ноги» наклоняются. В результате их перемещение происходит вверх. Это происходит до тех пор, пока машина снова не коснется базой поверхности грунта. Лыжи при этом остаются сзади машины.

4) *Четвертая* фаза шагания:

Эксцентрики продолжают вращаться, ноги поднимаются вверх вместе с лыжами и перемещаются вперед пока не достигнут первоначального положения. Цикл шагания завершен.

Отвалообразователь способен шагать как по целику, так и по насыпному грунту.

В ходе анализа конструктивных параметров кривошипного механизма шагания одноковшового экскаватора авторами разработан алгоритм расчета траектории характерных шарниров и составлена программа, позволяющая изображать в динамике данные траектории.



**Рисунок 3 – Расчетная модель для оценки устойчивости экскаватора во время шагания**

Для анализа продольной устойчивости экскаватора во время шагания авторами разработана модель, в системе неподвижных координат  $OXZ$  с началом в точке  $O$ , совпадающей с центром опорной базы диаметром  $D_{o.б.}$ . В данной модели учитывается продольный угол  $\beta$  крена, где ключевой точкой  $M$  является центр масс машины.

### **3. Моделирование кинематики кривошипного механизма шагания**

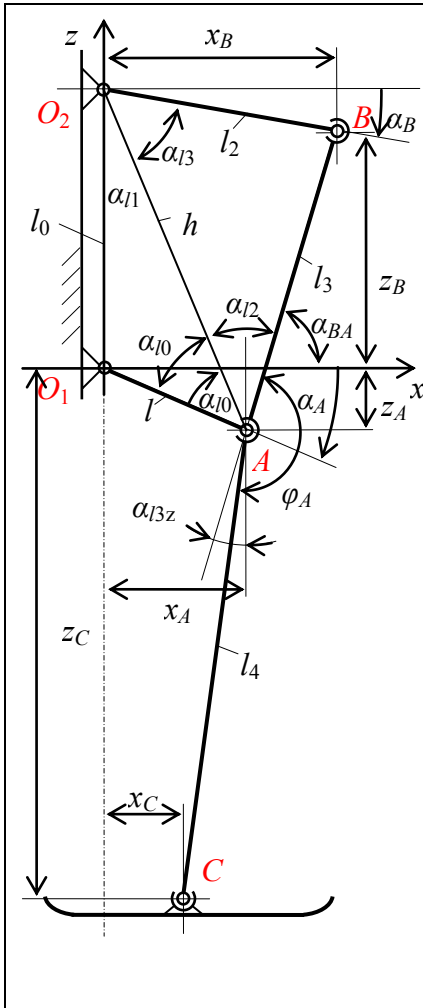
Для моделирования кинематики характерных шарниров механизма шагания горной машины назовем исходные параметры и условия движения. Система координат  $O_1xz$  совмещена с осью вращения кривошипа  $O_1A$ , при этом  $x$  – горизонтальная ось;  $z$  – вертикальная ось. На оси  $O_1z$  расположена ось  $O_2$  поворота кулисы  $O_2B$ . (Рис.4).



Положительным направлением угла поворота кривошипа относительно вертикальной оси  $O_1z$  принимаем вращение его относительно точки  $O_1$  по часовой стрелке.

В начальный момент времени положение ведущего звена  $O_1A$  – вертикальное, т.е. по оси  $O_1z$ . При этом  $\alpha_1 = \angle O_2O_1A = 0^0$ .

Положение звена  $O_2B$  задаём углом  $\beta_0 = \angle zO_2B$  относительно оси  $O_1z$ .



$$\begin{aligned}
 O_1A &= l_1; & O_2B &= l_2; \\
 AB &= l_3; & AC &= l_4; \\
 O_1O_2 &= l_0; \\
 \angle BAC &= \psi = const.
 \end{aligned}$$

В процессе поворота кривошипа  $O_1A$  координаты точки  $A$  можно выразить следующими параметрическими уравнениями

$$\begin{aligned}
 x_A &= l_1 \cdot \sin \alpha_i \\
 z_A &= l_1 \cdot \cos \alpha_i
 \end{aligned} \quad (1)$$

Аналогично, координаты точки  $B$  в общем виде можно выразить параметрическими уравнениями

$$\begin{aligned}
 x_B &= l_2 \cdot \sin \beta_i \\
 z_B &= l_0 + l_2 \cdot \cos \beta_i
 \end{aligned} \quad (2)$$

а координаты точки  $C$  в общем виде - параметрическими

<p><b>Рисунок 4 - Расчетная схема кривошипного механизма шагания</b></p>	<p>уравнениями</p> $x_C = l_1 \cdot \sin \alpha_i + l_4 \cdot \sin \gamma_i$ $z_C = l_1 \cdot \cos \alpha_i - l_4 \cdot \cos \gamma_i$ <p>(3)</p> <p>где <math>\gamma_i</math> – угол, определяющий положение звена <math>AC</math> (консольной части «ноги») относительно вертикальной оси <math>Oz</math>.</p>
--	--

Для определения координат характерных точек  $B$  и  $C$  необходимо установить зависимости по определению углов  $\beta_i$  и  $\gamma_i$ . Для этого рассмотрим схему положений звеньев кривошипно-кулисного механизма, представленную на рисунке. В процессе поворота кривошипа  $O_1A$  на угол  $\alpha_i$ , расстояние  $h_i$  между точками  $A$  и  $O_2$  можно определять по теореме косинусов рассматривая треугольник  $O_2O_1A$

$$h_i^2 = l_0^2 + l_1^2 - 2 \cdot l_0 \cdot l_1 \cdot \cos \alpha_i. \quad (4)$$

Характерными положениями звеньев механизма являются следующие диапазоны поворота ведущего звена – кривошипа  $O_1A$ :

1)  $0^\circ < \alpha_i \leq 90^\circ$  – выброс вперед и опускание лыжи.

1.1)  $\alpha_0 = 0^\circ$  - исходное положение механизма перед шаганием машины; звено  $O_1A$  находится вертикально; шарнир  $A$  расположен между центрами  $O_1$  и  $O_2$  вращения звеньев  $O_1A$  и  $O_2B$ .

Определим значение угла  $\beta_0$  при  $\alpha_0 = 0$ . Рассмотрим треугольник  $\Delta ABO_2$ : длины сторон  $AB = l_3$ ;  $O_2B = l_2$  заданы конструкцией механизма шагания, а длина стороны  $AO_2 = h_0 = l_0 - l_1$ . Тогда

$$\beta_0 = 180 - \alpha_{(BO_2O_1)_0}, \quad (5)$$

где

$$\alpha_{(BO_2O_1)_0} = \arccos \frac{(l_0 - l_1)^2 + l_2^2 - l_3^2}{2(l_0 - l_1) \cdot l_2}. \quad (6)$$

Угол  $\varphi_0$  наклона звена  $AB$  относительно оси  $Oz$ , т. е.  $\angle O_2O_1B$

$$\varphi_0 = \arccos \frac{(l_0 - l_1)^2 + l_3^2 - l_2^2}{2(l_0 - l_1) \cdot l_3}. \quad (7)$$

При условии, что когда звено  $O_1A$  находится в вертикальном положении, звено  $AC$  также занимает вертикальное положение, то конструктивный угол  $\psi = \angle BAC$  взаимного положения звеньев  $AB$  и  $AC$

$$\psi = 180^0 - \varphi_0; \quad (8)$$

а угол, определяющий положение звена  $AC$  (консольной части «ноги») относительно вертикальной оси  $Oz$

$$\gamma_i = \varphi_i - (180^0 - \psi). \quad (9)$$

1.2)  $0^0 < \alpha_i \leq \alpha_1$  – коромысло  $O_2B$  поворачивается против часовой стрелки, т. е. в противоположную сторону по отношению к  $O_1A$ ; угол  $\beta$  уменьшается.

1.3)  $\alpha_i = \alpha_1$  – кривошип  $O_1A$  и звено  $AB$  кулисы  $BAC$  располагаются на одной линии по одну сторону от шарнира  $O_1$ . Угол  $\beta_1 = 180 - \alpha_{(O_1O_2B)\alpha_1}$ ,

$$\alpha_{(O_1O_2B)\alpha_1} = \arccos \frac{l_0^2 + l_2^2 - (l_1 + l_3)^2}{2 \cdot l_0 \cdot l_2}. \quad (10)$$

1.4)  $\alpha_1 < \alpha_i < 90^0$  – звенья  $O_1A$  и  $O_2B$  поворачиваются по часовой стрелке; в данном диапазоне поворота кривошипа  $O_1A$  на некоторый угол  $\alpha_2$  коромысло  $O_2B$  занимает горизонтальное положение (вдоль оси  $O_1x$ );  $\beta = 90^0$ ; при  $\alpha_i = 90^0$  – звено  $O_1A$  находится горизонтально с положительной координатой  $x_A$ ; анализ конструкций механизмов шагания некоторых горных машин показал, что при определенном соотношении длин звеньев  $O_1A$ ,  $O_2B$ ,  $AB$  и расстояния  $O_1O_2$  между шарнирами поворота звенья  $O_1A$

и  $O_2B$  одновременно переходят горизонтальное положение ( $\alpha_2 = \beta_2 = 90^0$ ).

2)  $90^0 < \alpha_i \leq 180^0$  – опускание лыжи с одновременным движением в обратном направлении (назад). В диапазоне поворота кривошипа  $O_1A$  [ $0^0 < \alpha_i < 180^0$ ] угол поворота  $\beta_i$  коромысла относительно вертикальной оси  $O_1z$  можно выразить следующим образом

$$\beta_i = 180^0 - (\alpha_{(AO_2O_1)_i} + \alpha_{(AO_2B)_i}), \quad (11)$$

где

$$\alpha_{(AO_2O_1)_i} = \arccos \frac{l_0^2 + h_i^2 - l_1^2}{2 \cdot l_0 \cdot h_i}; \quad (12)$$

$$\alpha_{(AO_2B)_i} = \arccos \frac{h_i^2 + l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot h_i \cdot l_2}; \quad (13)$$

$$h_i = \sqrt{l_1^2 + l_0^2 - 2 \cdot l_1 \cdot l_0 \cdot \cos \alpha_i}. \quad (14)$$

Угол  $\varphi_0$  наклона звена  $AB$  относительно оси  $Oz$

$$\varphi_i = \angle(O_2AB)_i - \angle(O_1O_2A)_i, \quad (15)$$

где

$$\angle(O_2AB)_i = \arccos \frac{h_i^2 + l_3^2 - l_2^2}{2 \cdot h_i \cdot l_3}, \quad (16)$$

$$\angle(O_1O_2A)_i = \arccos \frac{l_0^2 + h_i^2 - l_1^2}{2 \cdot l_0 \cdot h_i}. \quad (17)$$

2.1) При  $\alpha_i = 180^0$  – звено  $O_1A$  находится вертикально; шарнир  $A$  расположен с противоположной стороны от шарнира  $O_1$  по отношению к  $O_2$ . Значение угла  $\beta_i$  равно

$$\beta_i = 180^0 - \alpha_{(AO_2B)_i}, \text{ т. к. } \alpha_{(AO_2O_1)_i} = 0, \quad (18)$$

где

$$\alpha_{(AO_2B)_i} = \arccos \frac{(l_0 + l_1)^2 + l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot (l_0 + l_1) \cdot l_2}. \quad (19)$$

$$\varphi_i = \arccos \frac{(l_0 + l_1)^2 + l_3^2 - l_2^2}{2 \cdot (l_0 + l_1) \cdot l_3}. \quad (20)$$

3)  $[180^0 < \alpha_i \leq 270^0]$  – подъем лыжи с продолжением ее движения в обратном направлении (назад).

3.1)  $180^0 < \alpha_i < \alpha_3$  - звенья  $O_1A$  и  $O_2B$  поворачиваются по часовой стрелке;

$$\alpha_3 = \arccos \frac{(l_3 - l_1)^2 + l_0^2 - l_2^2}{2 \cdot (l_3 - l_1)^2 \cdot l_0}; \quad (21)$$

$$\beta_i = 180^0 + \alpha_{(O_1O_2A)_i} - \alpha_{(AO_2B)_i}, \quad (22)$$

$$\alpha_{(O_1O_2A)_i} = \arccos \frac{h_i^2 + l_0^2 - l_1^2}{2 \cdot h_i \cdot l_1}; \quad (23)$$

$$\alpha_{(AO_2B)_i} = \arccos \frac{h_i^2 + l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot h_i \cdot l_2}. \quad (24)$$

$$h_i = \sqrt{l_1^2 + l_0^2 - 2 \cdot l_1 \cdot l_0 \cdot \cos(360^0 - \alpha_i)}. \quad (25)$$

$$\varphi_i = \alpha_{(O_2AB)_i} - \alpha_{(O_1O_2A)_i}, \quad (26)$$

$$\alpha_{(O_2AB)_i} = \arccos \frac{h_i^2 + l_3^2 - l_2^2}{2 \cdot h_i \cdot l_3}. \quad (27)$$

3.2)  $\alpha_i = \alpha_3$  – кривошип  $O_1A$  и звено  $AB$  кулисы  $BAC$  располагаются на одной линии с противоположных сторон от шарнира  $O_1$ ; коромысло  $O_2B$  повернуто на максимальный угол

$$\beta_4 = 180^0 + \alpha_{(O_1O_2A)_{\alpha_3}} - \alpha_{(O_1O_2B)_{\alpha_3}}, \quad (28)$$

где

$$\alpha_{(O_1O_2A)_{\alpha_3}} = \arccos \frac{h_i^2 + l_0^2 - l_1^2}{2 \cdot h_i \cdot l_0}; \quad (29)$$

$$\alpha_{(O_1O_2B)_{\alpha_3}} = \arccos \frac{l_0^2 + l_2^2 - (l_3 - l_1)^2}{2 \cdot h_0 \cdot l_2}. \quad (30)$$

3.3)  $\alpha_3 < \alpha_i < \alpha_1$  – коромысло  $O_2B$  поворачивается против часовой стрелки;

$$3.4) \alpha_3 < \alpha_i < 360^0 - ;$$

$$\alpha_{(O_1O_2A)_i} = \arccos \frac{h_i^2 + l_0^2 - l_1^2}{2 \cdot h_i \cdot l_0}; \quad (31)$$

$$\alpha_{(AO_2B)_i} = \arccos \frac{h_i^2 + l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot h_i \cdot l_2}. \quad (32)$$

$$\beta_i = 180^0 + \alpha_{(O_1O_2A)_i} - \alpha_{(AO_2B)_i}; \quad (33)$$

$$\alpha_{(ABO_2)_i} = \arccos \frac{l_3^2 + l_2^2 - h_i^2}{2 \cdot l_3 \cdot l_2}, \quad (34)$$

$$\varphi_i = 180^0 - (\alpha_{(AO_2B)_i} - \alpha_{(O_1O_2A)_i}) - \alpha_{(ABO_2)_i}; \quad (35)$$

$$\varphi_i = \angle O_2AB + \angle O_1O_2A, \quad (36)$$

3.5) При  $\alpha_i = 270^0$  – звено  $O_1A$  находится горизонтально с отрицательной координатой  $x_A$ .

4)  $270^0 < \alpha_i \leq 360^0$  – продолжается подъем лыжи с перемещением ее вперед:

4.1) в частности, при повороте кривошипа  $O_1A$  на некоторый угол  $\alpha_i = \alpha_4$  коромысло возвращается в горизонтальное положение ( $\beta_2 = 90^0$ ). Из прямоугольного треугольника  $\Delta O_1O_2B$  гипотенуза равна

$$h_{O_1B_4} = \sqrt{l_0^2 + l_2^2}; \quad (37)$$

$$\alpha_{O_2O_1B_4} = \arccos \frac{l_0}{h_{O_1B_4}}; \quad (38)$$

$$\alpha_{AO_1B_4} = \frac{l_1^2 + h_{O_1B_4}^2 - l_3^2}{2 \cdot l_1 \cdot h_{O_1B_4}}. \quad (39)$$

Тогда угол  $\alpha_4$

$$\alpha_4 = 360^0 - (\alpha_{AO_1B_4} - \alpha_{O_2O_1B_4}). \quad (40)$$

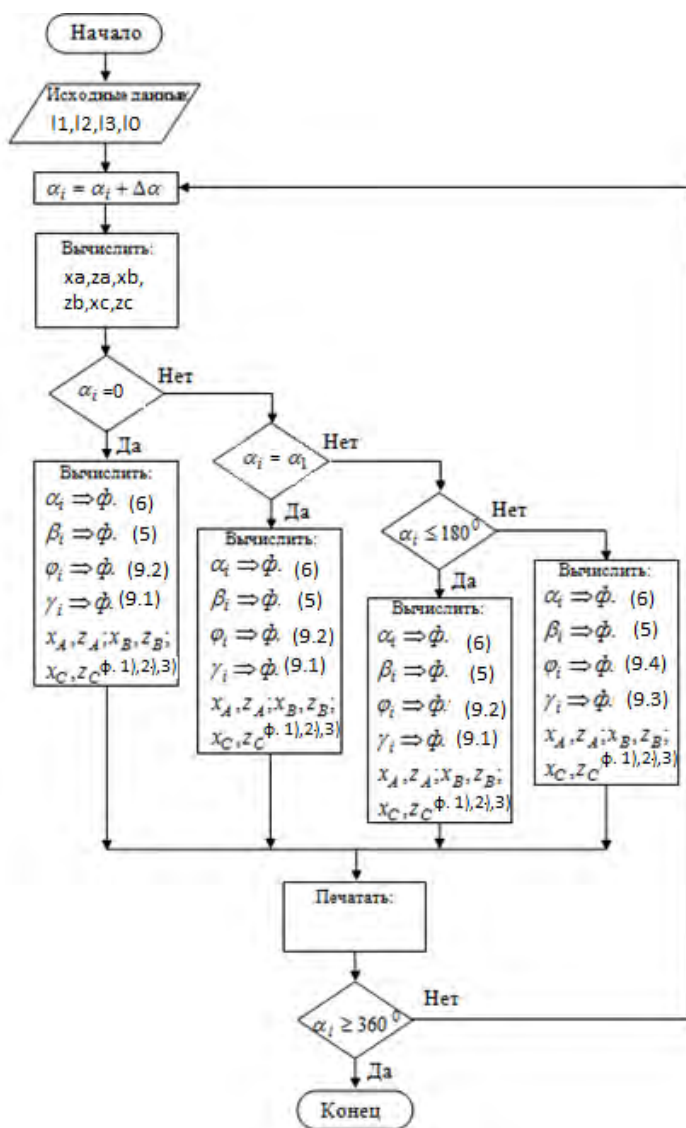


Рисунок 2.14 – Блок-схема алгоритма вычисления координат характерных точек (шарниров) механизма шагания



(Нумерация формул соответствует тексту программы «Koordinats», составленной авторами по вышеприведенным зависимостям).

В работе проведен информационный обзор и анализ шагающих отвалообразователей и одноковшовых экскаваторов, применяемых на разрабатываемых месторождениях Республики Беларусь. Рассмотренные в работе вопросы позволяют разрабатывать достаточно подробные модели машин на шагающих движителях, модернизировать конструкции их опорных баз и механизмов шагания, обеспечивая требуемую устойчивость как в статическом положении, так и во время передвижения.

Выполнен анализ методик расчета продольной устойчивости отвалообразователей. Рассмотрены основные схемы механизмов шагания, используемых в настоящее время на горных машинах.

Разработана методика для моделирования движения характерных точек кривошипного механизма шагания, а также изменения координат центра масс машины в неподвижной системе координат. Полученные аналитические зависимости позволяют путем дифференцирования определять мгновенные скорости и ускорения элементов движителя и вносить предложения по оптимизации конструкции.

Предлагаемая принципиально новая схема модернизации конструкции шагающего экскаватора, **отличающегося тем**, что на раме поворотной платформы закреплен подпятник, представляющий собой поперечную лыжу, установленную на регулируемых по высоте кронштейнах в секторе крепления проушин установки стрелы, обеспечивает повышение продольной устойчивости экскаватора.

Для проверки работоспособности и эффективности предложенных решений целесообразно изготовить экспериментальный образец механизма шагания с подпятником на поворотной платформе и провести комплексные испытания на экскаваторе (драглайне МЗШ-6,5).

## *Литература*

1. Волков Д.П. Динамика и прочность многоковшовых экскаваторов и отвалообразователей / Д.П. Волков, В.А. Черкасов. - М.: Машиностроение, 1969. - 408 с.
2. Падерни Р.Ю. Горные машины / Р.Ю. Падерни. - М.: Недра, 1980. - 390 с.
3. Казаченко Г.В., Басалай Г.А. Основные параметры экскаватора и его устойчивость / Горная механика. - № 4. – 2008. - С. 87-93.

УДК 622.112

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИВОДА КОЛЕС ШАХТНОГО САМОХОДНОГО ВАГОНА**

студенты 5-го курса Загоровский Ю.В., Матусович Э.В.

*Научные руководители – канд. техн. наук, доцент Таяновский Г.А.,  
старший преподаватель Басалай Г.А.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

На калийных рудниках для доставки отбитой проходческим комбайном горной массы к конвейерам на расстояния до 200 метров используют колесные самоходные шахтные вагоны (ШВС).

Вагон применяется в составе проходческих и проходческо-очистных комплексов совместно с комбайнами ПКС-8МА и КРП-3, имеющих исполнительный орган в виде соосных роторов; с комбайнами «Урал-60», «КПО-10,5», «Урал-20Р», имеющих планетарно-дисковый исполнительный орган; а также с комбайнами избирательного действия типа КСП и КИД-220; с бункерами-перегрузателями типа «БП-14М», с аналогичным по конструкции самоходным вагоном типа ВС-17, в том числе и с погрузочными