

УДК 631.319

UDC 631.319

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ
КОМБИНИРОВАННОГО ПАХОТНОГО
АГРЕГАТА**

**MODELLING OF THE PROCESS OF WORK OF
THE COMBINED ARABLE UNIT**

Эркенов Анзор Назирович
к.т.н.

Erkenov Anzor Nazirovich
Cand.Tech.Sci.

Жеруков Алим Борисович
инженер
*Кабардино-Балкарская государственная
сельскохозяйственная академия им. В.М.Кокова,
Нальчик, Россия*

Zherukov Alim Borisovich
engineer
*Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy of
V.M.Kokov, Nalchik, Russia*

В статье рассмотрены вопросы моделирования комбинированного пахотного агрегата, в частности процесса отбрасывания почвы боковой поверхностью ротационного рабочего органа активного действия. Получены рациональные значения параметров и режимов работы ротационного рабочего органа активного действия

In the article, the questions of modeling of the combined arable unit, in particular, in the process of rejection of soil by a lateral surface of rotational working body of active action are considered. Rational values of the parameters and operating modes of rotational working body of active action are received

Ключевые слова: АГРЕГАТ, ПОЧВА,
ОБРАБОТКА, ПАРАМЕТРЫ, РЕЖИМЫ

Keywords: UNIT, SOIL, PROCESSING,
PARAMETERS, MODES

При исследовании процесса работы ротационных почвообрабатывающих агрегатов ряд ученых [1...3] делают предположение, что частица в момент отрыва от ножа движется с абсолютной скоростью, равной сумме окружной скорости конечной точки ножа и поступательной скорости агрегата. Кроме того, пренебрегают сопротивлением воздуха [4] скорее всего в силу того, что в момент отрыва частицы почвы сила сопротивления воздуха довольно мала.

Таким образом, при исследовании процесса работы ротационного рабочего органа активного действия (РРОАД) [5] можно сделать следующие допущения:

- частица в момент отрыва от ножа движется с абсолютной скоростью, равной сумме окружной скорости конечной точки ножа и поступательной скорости агрегата;

- в силу того, что в момент отрыва частицы почвы сила сопротивления воздуха и Кориолисово ускорение довольно малы, их значением пренебрегаем;

- траектория движения частицы почвы представляет собой непрерывную кривую.

В связи с тем, что РРОАД осуществляет технологический процесс под углом атаки g_B к направлению поступательного движения агрегата, точки его ножей совершают движение по винтовым линиям на поверхности эллиптического цилиндра. Нож в процессе работы сначала касается поверхности поля лезвием, затем погружается в почву и одновременно смещается в сторону, достигает максимального заглубления, после чего выглубляется со смещением в том же направлении. От начала контакта с почвой и до момента максимального заглубления тыльной поверхностью уплотняет почву. В результате бокового перемещения нож сдвигает почву в сторону, выравнивая поверхность поля, а при поступательном движении совместно с центром вращения выполняет рыхление обрабатываемого слоя.

Направления проекций скорости частицы почвы на оси OX и OZ приведены на рисунке 1, на оси OX и OY - на рисунке 2, итоговые направления проекций на все оси – на рисунке 3.

Дифференциальные уравнения движения частиц почвы, согласно рисунка 3, будут иметь вид:

$$\begin{cases} X = (V_{\Pi} - V_{Ax})t - R_H \sin e \\ Y = V_{Ay}t + R_H \sin g_B \\ Z = V_{Az}t - \frac{g}{2}t^2 - R_H \cos e \end{cases}, \quad (1)$$

где V_{Ax} , V_{Ay} и V_{Az} - проекции абсолютной скорости частицы почвы на оси координат OX , OY , OZ .

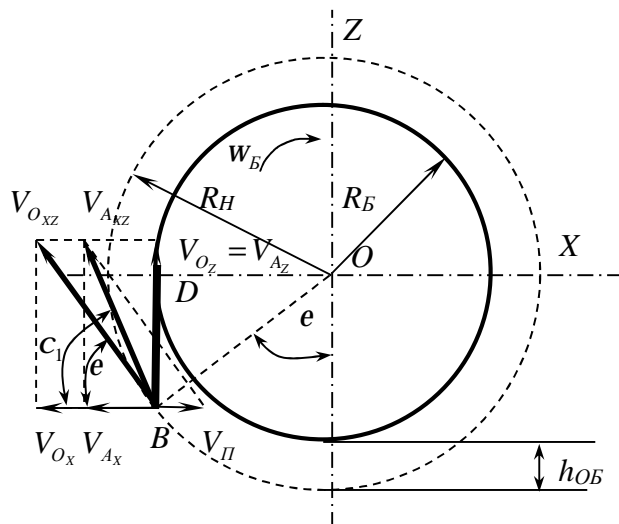


Рисунок 1 – Проекция скорости частицы почвы на оси OX и OZ

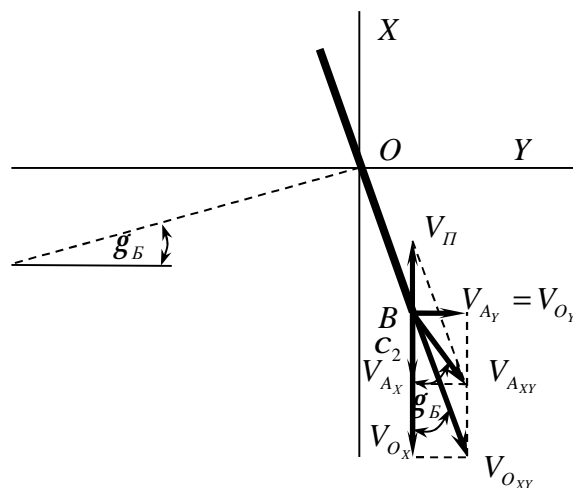


Рисунок 2 – Проекция скорости частицы почвы на оси OX и OY

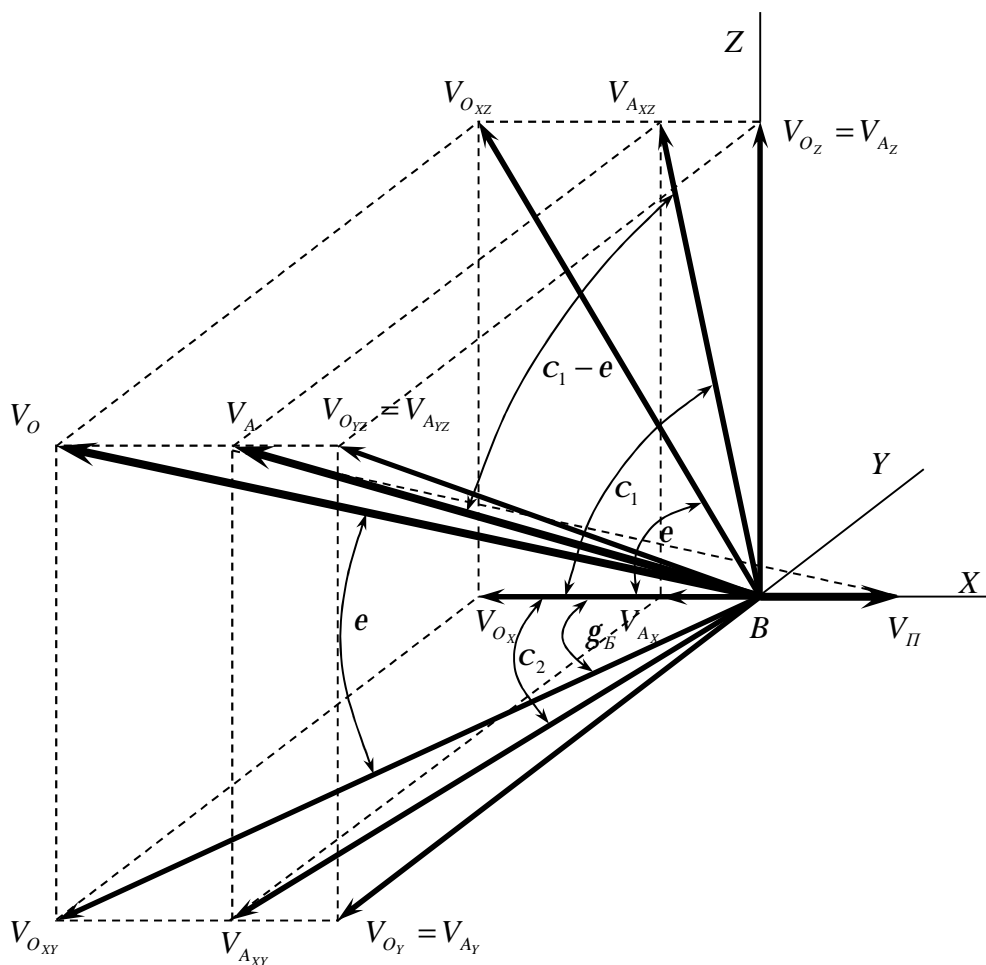


Рисунок 3 – Схема к исследованию траектории движения частицы почвы

Определим проекции абсолютной скорости частицы почвы на оси координат Ox , Oy , Oz . Из рисунка 3 видно, что

$$V_{Ax} = V_{Axz} \cos c_1 = V_A \cos c_1 \cos(c_1 - e), \quad (2)$$

$$V_{Ay} = V_{Axy} \sin c_1 = V_A \sin c_1 \cos c_2, \quad (3)$$

$$V_{Az} = V_{Axz} \sin c_1 = V_A \sin c_1 \cos(c_1 - e). \quad (4)$$

Подставляем (2)...(4) в систему уравнений (1):

$$\begin{cases} X = [V_{\Pi} - V_A \cos c_1 \cos(c_1 - e)]t - R_H \sin e \\ Y = V_A \sin c_1 \cos c_2 t + R_H \sin g_B \\ Z = V_A \sin c_1 \cos(c_1 - e)t - \frac{g}{2}t^2 - R_H \cos e \end{cases}, \quad (5)$$

или после преобразований

$$\begin{cases} X = [V_{\Pi} - V_A \cos c_1 (\cos c_1 \cos e + \sin c_1 \sin e)]t - R_H \sin e \\ Y = V_A \sin c_1 \cos c_2 t + R_H \sin g_B \\ Z = V_A \sin c_1 (\cos c_1 \cos e + \sin c_1 \sin e)t - \frac{g}{2}t^2 - R_H \cos e \end{cases}, \quad (6)$$

Определим углы c_1 и c_2 . Согласно рисунка 3

$$\sin c_1 = \frac{V_{Oxz}}{V_{Axz}}, \quad (7)$$

$$\cos c_1 = \frac{V_{Ax}}{V_{Axz}} = \frac{V_{\Pi} - V_{Oxz} \cos e}{V_{Axz}}, \quad (8)$$

$$\cos c_2 = \frac{V_{\Pi} - V_{Ox}}{V_{Axy}} = \frac{V_{\Pi} - V_{Oxy} \cos g_B}{V_{Axy}}. \quad (9)$$

Абсолютные скорости, с учетом того, что отношение окружной скорости к поступательной есть λ , можно определить по выражениям:

$$V_{Axz} = \sqrt{V_{Oxz}^2 + V_{\Pi}^2} = \frac{V_{Oxz}}{I} \sqrt{1 + I^2}, \quad (10)$$

$$V_{Axy} = \sqrt{V_{Oxy}^2 + V_{\Pi}^2} = \frac{V_{Oxy}}{I} \sqrt{1 + I^2}. \quad (11)$$

Подставляем (10) и (11) в (7)...(9) и после преобразований получим:

$$\sin c_1 = \frac{I \sin e}{\sqrt{1+I^2}}, \quad (12)$$

$$\cos c_1 = \frac{1-I \cos e}{\sqrt{1+I^2}}, \quad (13)$$

$$\cos c_2 = \frac{1-I \cos g_B}{\sqrt{1+I^2}}. \quad (14)$$

С учетом того, что

$$V_A = \sqrt{V_o^2 + V_H^2} = \frac{V_o}{I} \sqrt{1+I^2}, \quad (15)$$

система уравнений (1) примет вид

$$\begin{cases} X = \frac{V_o}{I} \left[1 - \frac{1-I \cos e}{\sqrt{1+I^2}} (\cos e + I \cos 2e) \right] t - (R_B + h_{OB}) \sin e \\ Y = \frac{V_o}{\sqrt{1+I^2}} \sin e (1 - I \cos g_B) t + (R_B + h_{OB}) \sin g_B \\ Z = \frac{V_o}{\sqrt{1+I^2}} \sin e (\cos e + I \cos 2e) t - \frac{g}{2} t^2 - (R_B + h_{OB}) \cos e \end{cases}. \quad (16)$$

Система уравнений (16) определяет траекторию полета частицы почвы в зависимости от ее характеристик, конструктивных и режимных параметров КПА.

С целью установления значения угла, определяющего положение ножа в момент отрыва частицы от его боковой поверхности, обратимся к схеме, изображенной на рисунках 4 и 5.

Воспользуемся схемой, изображенной на рисунке 6, характеризующей соотношению действующих сил в момент отбрасывания частиц почвы боковой поверхностью ножа.

Векторное уравнение равновесия сил, действующих на частицу почвы в крайней точке B ножа, будет иметь вид:

$$\Sigma \dot{F} = \dot{G}_{Пч} + \dot{F}_{ЦБ} + \dot{F}_{ТР} + \dot{N} = 0, \quad (17)$$

где $G_{Пч}$ - сила тяжести частицы почвы, Н; $F_{ЦБ}$ - центробежная сила инерции частицы почвы, Н; $F_{ТР}$ - сила трения частицы почвы о поверхность ножа, Н; N - сила нормальной реакции, Н.

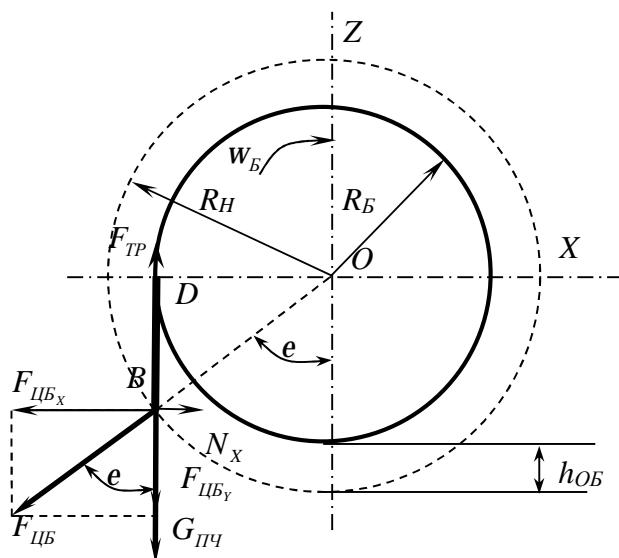


Рисунок 4 – Проекция сил на оси OX и OZ

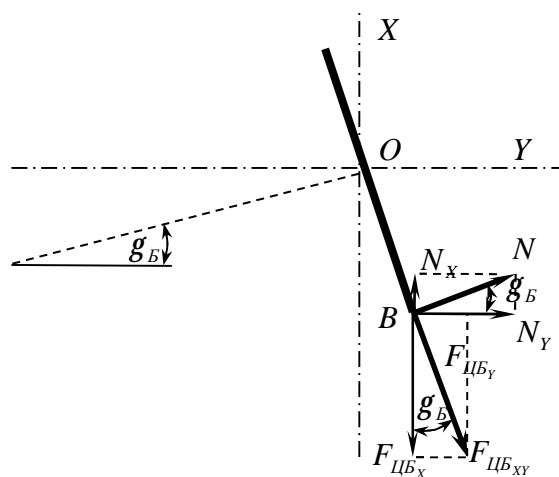


Рисунок 5 – Проекция сил на оси OX и OY

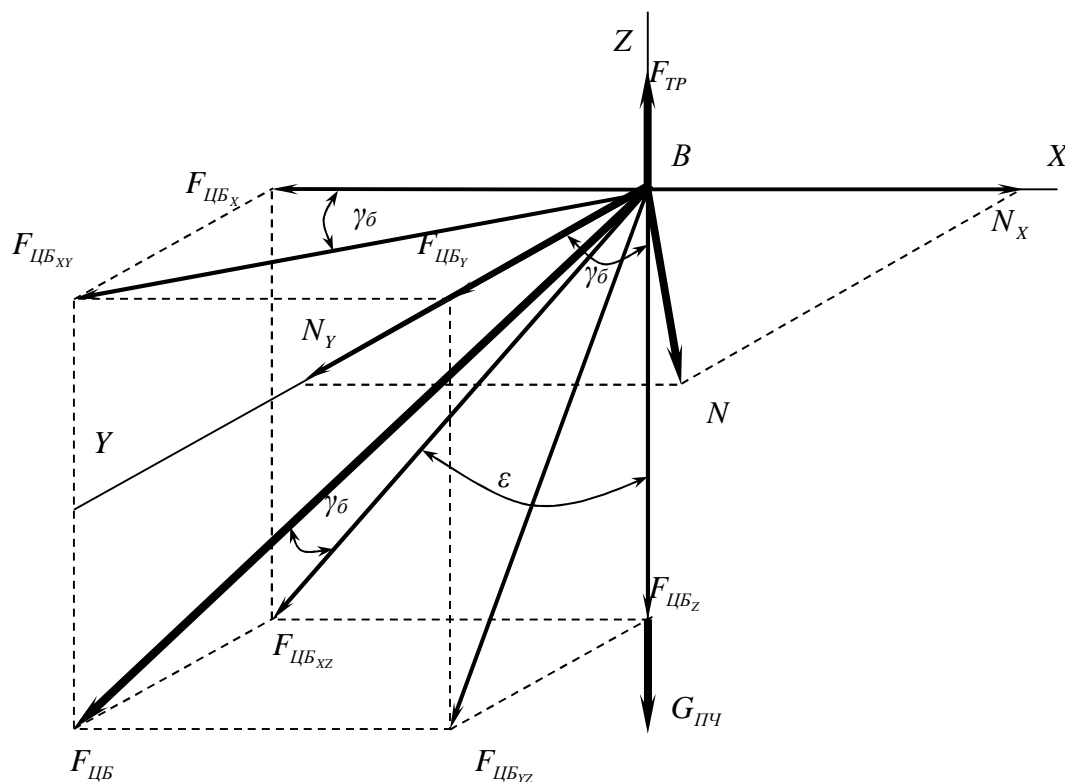


Рисунок 6 – Схема сил, действующих на частицу почвы в момент отрыва от боковой поверхности ножа ротационного рабочего органа активного действия

Проецируем все силы на оси координат X, Y, Z :

$$\begin{cases} \Sigma F_{X_i} = N_X - F_{цб_x} = 0 \\ \Sigma F_{Y_i} = N_Y + F_{цб_y} = 0 \\ \Sigma F_{Z_i} = F_{TP} - F_{цб_z} - G_{пч_z} = 0 \end{cases} . \quad (18)$$

где $F_{TP_x}, F_{TP_y}, F_{TP_z}$ - проекции силы трения частицы почвы о поверхность ножа на оси OX, OY, OZ ; $F_{цб_x}, F_{цб_y}$ - проекции центробежной силы инерции частицы почвы на оси OX, OY ; N_X, N_Y - проекции силы нормальной реакции на оси OX и OY ; $G_{пч_z}$ - проекция силы тяжести частицы почвы на ось OZ .

В системе уравнений (18):

$$F_{цб_x} = F_{цб} \cos g_B \sin e, \quad (19)$$

$$F_{цб_y} = F_{цб} \sin g_B, \quad (20)$$

$$F_{цб_z} = F_{цб} \cos g_B \cos e, \quad (21)$$

$$N_X = N \sin g_B, \quad (22)$$

$$N_Y = N \cos g_B, \quad (23)$$

$$F_{TP} = N \operatorname{tg} j_{HK}, \quad (24)$$

Из первого выражения системы уравнений (18) имеем:

$$N_X = F_{цб_x}. \quad (25)$$

С учетом выражений (19) и (22) получим из (25):

$$N \sin g_B = F_{цб} \cos g_B \sin e. \quad (26)$$

$$N = F_{цб} \operatorname{ctg} g_B \sin e. \quad (27)$$

Центробежная сила инерции частицы почвы равна:

$$F_{цб} = m_{пч} w_B^2 R_H, \quad (28)$$

где $m_{пч}$ - масса частицы почвы, кг; w_B - угловая скорость вращения барабана РРАОД, c^{-1}

Таким образом, с учетом выражения (28) имеем:

$$N = m_{пч} w_B^2 R_H ctg g_B \sin e . \quad (29)$$

Из третьего выражения системы уравнений (18) имеем:

$$F_{TP} = F_{цбз} + G_{пчz} . \quad (30)$$

Сила трения

$$F_{TP} = N tg j_{HK} . \quad (31)$$

Сила тяжести частицы почвы

$$G_{пч} = m_{пч} g , \quad (32)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с².

С учетом выражений (21), (29), (31) и (32) выражение (30) примет вид:

$$m_{пч} w_B^2 R_H tg j_{HK} ctg g_B \sin e = m_{пч} w_B^2 R_H \cos g_B \cos e + m_{пч} g . \quad (33)$$

Сокращаем на $m_{пч}$ и после преобразований получим:

$$\sin e - \cos e \sin g_B = \frac{g}{w_B^2 R_H} tg g_B . \quad (34)$$

Преобразовываем выражение (34) используя тригонометрические зависимости [6]:

$$\sin e = \frac{2tg \frac{e}{2}}{1 + tg^2 \frac{e}{2}} , \quad (35)$$

$$\cos e = \frac{1 - tg^2 \frac{e}{2}}{1 + tg^2 \frac{e}{2}} . \quad (36)$$

С учетом (35) и (36) из (34) получаем уравнение:

$$\left(\sin g_B - \frac{g}{w_B^2 R_H} tg g_B \right) tg^2 \frac{e}{2} + 2tg \frac{e}{2} - \left(\sin g_B + \frac{g}{w_B^2 R_H} tg g_B \right) = 0 . \quad (37)$$

Решением уравнения (37) является выражение для расчета угла отрыва частицы почвы от боковой поверхности ножа:

$$e = 2 \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{w_B^2 R_H^2 \cos g_B \operatorname{ctg} g_B + g^2} - 1}{w_B^2 R_H \cos g_B - g} \right]. \quad (38)$$

Графическая реализация выражения (38) приведена на рисунке 7. Видно, что угол отрыва частицы почвы от боковой поверхности ножа лежит в районе $25 \dots 30^\circ$.

Проведено численное моделирование процесса полёта частицы почвы, в результате чего получены рациональные значения параметров и режимов работы РРОАД в агрегате с лемешным плугом: угол атаки РРОАД $g_B = 20 \dots 30^\circ$, частота вращения барабана $w_B = 10 \dots 30 \text{ с}^{-1}$ и поступательная скорость КПА $v_{II} = 1,5 \dots 2,0 \text{ м/с}$.

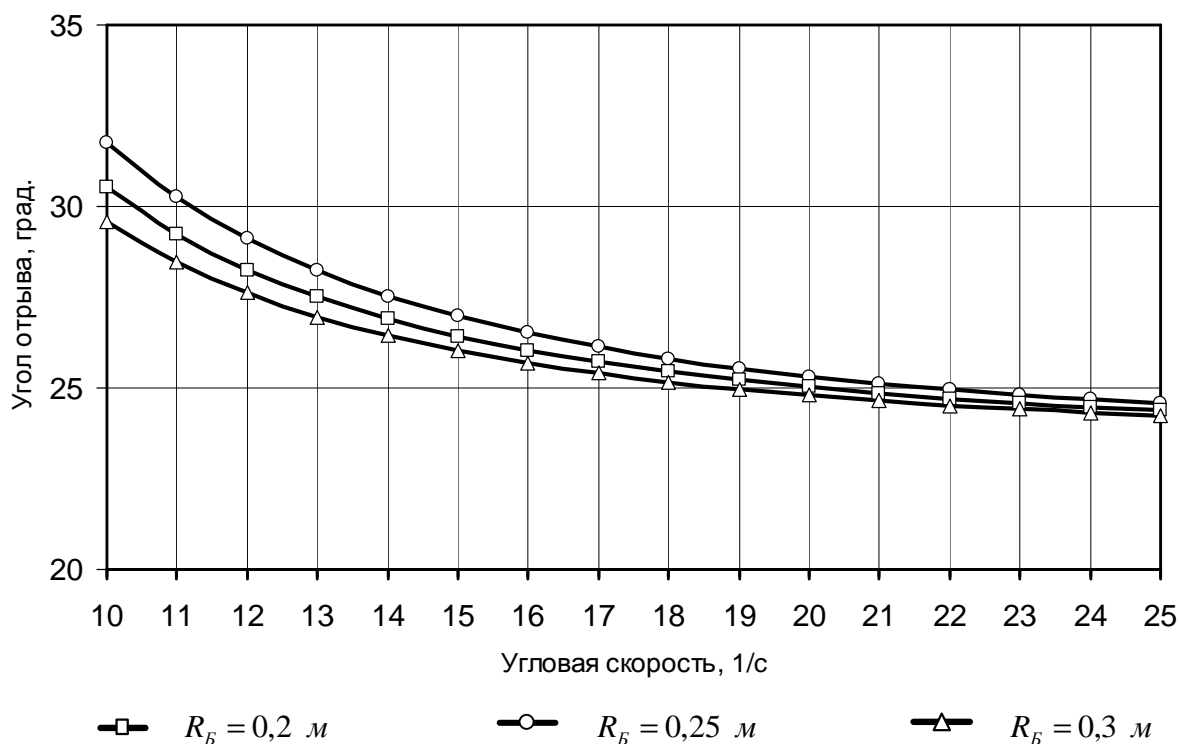


Рисунок 7 – Зависимость угла отрыва частицы почвы от боковой поверхности ножа от угловой скорости барабана (при глубине обработки 0,1 м и угле атаки 25°).

Таким образом, основными показателями КПА, влияющими на процесс обработки почвы, являются угол атаки РРОАД, угловая скорость вращения барабана РРОАД и поступательная скорость агрегата.

Список использованной литературы

1. Горшенин, В.И. К обоснованию траектории полёта частицы почвы при сходе с ножа ротационного щелевателя [Текст] / В.И. Горшенин, А.В. Алёхин // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. - 2009. - №1. — с. 44-46.
2. Полтавцев, И.С. Фрезерные каналокопатели [Текст] / И.С. Полтавцев.- Киев: Машгиз, 1954.- 130 с.
3. Яцук, Е.П. Ротационные почвообрабатывающие машины [Текст] / Е.П. Яцук, И.М. Панов, Д.Н. Ефимов.- М.: Машиностроение, 1971.- 255 с.
4. Нартов, П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия [Текст] / П.С. Нартов.- Воронеж, 1972.- 182 с.
5. Эркенов, А.Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы комбинированного пахотного агрегата с активным рабочим органом [Электронный ресурс] / А.Н. Эркенов, М.Х. Аушев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, Д.А. Гергокаев // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ.– Краснодар, 2012.– №76/02.– Режим доступа: [http:// ej.kubagro.ru / 2012 / 02 / pdf / 88.pdf](http://ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/88.pdf).
6. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике для вузов [Текст] /М.Я. Выгодский - М.: «Век». «Большая медведица», 1997. - 863 с.