

УДК: 629:628.474.72:519.87

Байгазиев Мирбек Сагымбаевич, к.т.н., доцент кафедры “Полиграфия” им. К. Курманалиева, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова. Кыргызстан 720044, г.Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, e-mail: mirbek-1985@kstu.kg.

Раззаков Медер Имамбекович, к.т.н., доцент кафедры “Полиграфия” им. К. Курманалиева, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова. Кыргызстан 720044, г.Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, e-mail: razzakoff@kstu.kg.

Кадыров Эрмек Тургамбаевич, к.т.н., доцент кафедры “Автомобильный транспорт”, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова. Кыргызстан 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, e-mail: kadet@kstu.kg.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОПИСЫВАЮЩАЯ ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ ФАСОЛЬНОЙ МАССЫ В КАМЕРЕ ОБМОЛАЧИВАНИЯ С БИЛАМИ

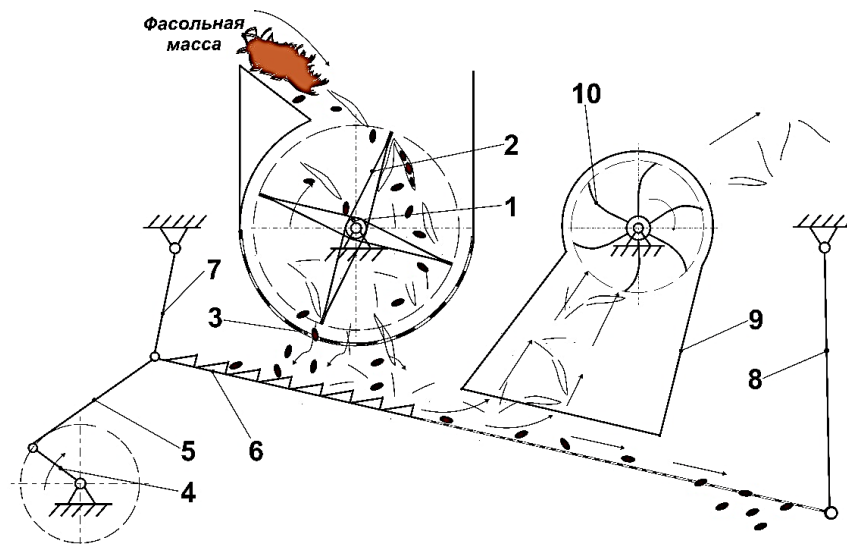
В данной статье рассмотрена кинематическая схема фасолеуборочной машины и технологический процесс отделения фасольной массы от зерна фасоли. Были рассмотрены особенности камеры обмолачивания и отделения фасольной массы от стручков и других дикорастущих примесей в зависимости от многозначного правильного выбора и траектории движения, скорости и ускорения действия на фасольную массу, а также зерна фасоли, действующие силы на фасольную массу, коэффициент трения фасольной массы по биле и параметров камеры обмолачивания. Для этого необходимо разработать математическую модель, решение которой позволит обоснованно произвести расчет движения фасольной массы и его основных параметров для конструирования и изготовления камеры обмолачивания и бил фасолеуборочной машины.

Ключевые слова: фасолеуборочная машина, кинематическая схема, технологический процесс, фасольная масса, конструкция, зерна фасоли, расчетная схема, камера обмолачивания, центральный вал, била, изменение скорости, закон движения, эксцентриковой кривошип, шатун-грохот, всасывающая камера, барабан с билами, коромысла, транспортер с помощью элеватора, бункер

Введение

В фасолеуборочной машине масса фасоли одновременно вместе со стеблями измельчается в обмолачивающей камере до определенных размеров, после чего вся измельченная масса падает вниз, проходя через отверстия деки. На следующем этапе из измельченной массы легкие стебли отделяются потоком воздуха от зерна фасоли. Такая технология существенно упрощает конструкцию фасолеуборочной машины, которая представлена на рисунке 1 [1]. Применению данного принципа способствует тот факт, что зерна фасоли существенно крупнее зерен пшеницы, что также облегчает процесс отделения зерен от измельченной массы стеблей [1].

Технологический процесс обмолачивания фасоли поясняется схемой, представленной на рисунке 1. Фасолеуборочная машина состоит из центрального вала 1, с жестко установленными на нем билами 2, декой 3 с отверстиями для просеивания обмолоченной массы, эксцентрикового кривошипа 4, шатуна 5, шатуна-грохота 6, коромысел 7 и 8, всасывающей камеры 9 и вентилятора 10. Конструкция шатуна-грохота выполнена в виде пластины, в его верхней части размещены небольшие волнообразные выступы, в средней части размещено мелкое сито, а в конце грохота – крупное сито. Камера обмолачивания с билами вращается от привода трактора через вал отбора мощности (на рисунке не показан). При вращении центрального вала 1 била 2 ударяются по фасольной массе и измельчают ее.



1 – центральный вал; 2 – била; 3 – подбарабанник (дека); 4 – кривошип; 5 – шатун;
6 – шатун-грохот; 7, 8 – коромысла; 9 – всасывающая камера; 10 – вентилятор.

Рисунок 1 – Схема технологического процесса отделения зерна фасоли от стручков и массы стеблей

Измельченная масса падает вниз через отверстия деки 3. При вращении эксцентрикового кривошипа 4 шатун-грохот 6 выполняет сложное движение за счет кинематической связи шатуна 5, коромысел 7 и 8. Измельченная масса, перемещаясь по волне шатуна-грохота 6, подпрыгивает, более легкие стебли всасываются через всасывающую камеру 9 с помощью вентилятора 10. Мелкие зерна фасоли падают вниз через мелкое сито, а крупные зерна падают через отверстие крупного сита и по уклону попадают в зону предварительного сбора продукции, далее зерна фасоли транспортируются с помощью элеватора в бункер [1, 2, 3].

Расчетная схема механизма представлена на рисунке 2. Рассмотрим положение камеры обмолачивания с билками в начальный момент времени при загрузке фасольной массы. В этой статье рассматривается движение фасольной массы в центральном вале с билками при ее вращательном движении. Данный процесс является наиболее важным, так как именно при вращении центрального вала происходит обмолачивание фасольной массы, т.е. отделение фасоли от стеблей и других растительных элементов. При этом важно рассчитать скорость вращения центрального вала, так как из литературных источников известно, что диапазон скорости вращения центрального вала должен быть в пределах $11 \div 15$ метров в секунду. При возрастании скорости фасоль будет разрушаться, а при низкой скорости отделить стебли от фасоли невозможно. На рисунке 2 приведен процесс загрузки фасольной массы в камеру обмолачивания при начальном положении центрального вала. Именно для этого положения приведем расчет скорости движения частицы при взаимодействии фасольной массы с билками. Для этой цели был использован основной закон динамики с учетом всех приложенных сил к фасольной массе. Далее, решая уравнения динамики, получим уравнения скорости по двум осям [4, 5].

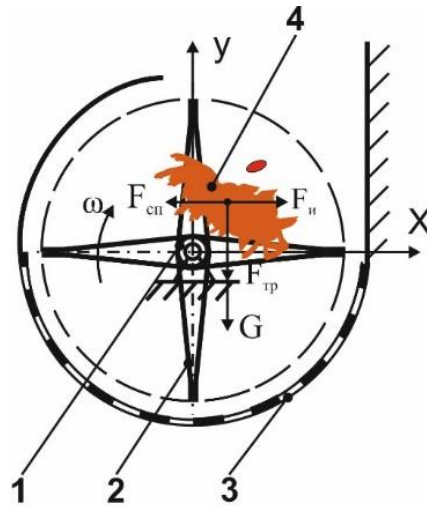
Определим все силы, действующие на фасольную массу при движении обмолачивающего механизма:

$$F_u = m\omega^2 x - \text{сила инерции по фасольной массе, } \text{кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$F_{cn} = \mu \dot{x} - \text{сила сопротивления фасольной массы, } \text{Н};$$

$$G = mg - \text{сила тяжести фасольной массы, } \text{Н};$$

$$F_{mp} = fmg - \text{сила трения фасольной массы, } \text{Н}.$$



1 – центральный вал; 2 – била; 3 – подбарабанник (дека); 4 – фасольная масса.

Рисунок 2 – Расчетная схема камеры обмолачивания с билами в первом положении

Запишем основной закон динамики для первого положения:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \omega^2 \cdot x + \mu\dot{x}, \\ m\ddot{y} = -mg - f \cdot mg' \end{cases} \quad (1)$$

где m – фасольная масса, кг;

\ddot{x} – ускорение фасольной массы по координате x , m/c^2 ;

ω – угловая скорость центрального вала, $рад/с$;

x – расстояние от оси вала до расположения фасольной массы, $м$;

μ – коэффициент сопротивления фасольной массы;

\dot{x} – скорость фасольной массы, $м/с$;

\ddot{y} – ускорение фасольной массы по координате y , $м/с^2$;

f – коэффициент трения фасольной массы по биле.

Рассмотрим первое уравнение:

$$a_x = \frac{d\dot{x}}{dt} = \frac{\omega^2}{m} \cdot x + \frac{\mu}{m} \dot{x},$$

$$\int d\dot{x} = \frac{\omega^2}{m} \cdot x \int dt + \frac{\mu}{m} \dot{x} \int dt,$$

$$v_x = \dot{x} = \frac{\omega^2}{m} \cdot xt + \frac{\mu}{m} \dot{x}t + C_1.$$

При начальном условии $t = 0$, $\dot{x} = 0$, тогда $C_1 = 0$.

$$v_x = \dot{x} = \frac{\omega^2}{m} \cdot xt + \frac{\mu}{m} \dot{x}t,$$

$$\dot{x} - \frac{\mu}{m} \dot{x}t = \frac{\omega^2}{m} \cdot xt,$$

$$\dot{x} = \frac{\omega^2 \cdot xt}{m - \mu t} = \frac{\omega^2}{m} \cdot xt,$$

$$v_x = \dot{x} = \frac{\omega^2 \cdot xt}{1 - \frac{\mu}{m}t}; \quad (2)$$

где t – промежуток времени между ударами по фасольной массе между билами.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega^2 \cdot x \cdot t}{1 - \frac{\mu}{m}t} \cdot dt;$$

$$dx = \frac{\omega^2 \cdot x \cdot t}{1 - \frac{\mu}{m}t} dt;$$

$$\int \frac{dx}{x} = \int \frac{\omega^2 \cdot t}{1 - \frac{\mu}{m}t} \cdot dt;$$

$$\ln|x| = \omega^2 \cdot \int \frac{t \cdot dt}{1 - \frac{\mu}{m}t};$$

$$\ln|x| = \omega^2 \cdot J;$$

$$J = \int \frac{t \cdot dt}{1 - \frac{\mu}{m}t} = \int \frac{t \cdot dt}{m - \mu t} = \int \frac{mt \cdot dt}{m - \mu t} = m \int \frac{t \cdot dt}{m - \mu t} = -m \int \frac{t \cdot dt}{\mu t - m} = -m \int \frac{t \cdot dt}{\mu \cdot \left(t - \frac{m}{\mu}\right)} =$$

$$= -\frac{m}{\mu} \cdot \int \frac{t \cdot dt}{t - \frac{m}{\mu}} = -\frac{m}{\mu} \cdot \int \frac{t - \frac{m}{\mu} + \frac{m}{\mu}}{t - \frac{m}{\mu}} \cdot dt = -\frac{m}{\mu} \cdot \int dt - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \int \frac{d\left(t - \frac{m}{\mu}\right)}{t - \frac{m}{\mu}} = -\frac{m}{\mu} \cdot t - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t - \frac{m}{\mu} \right| + C_2$$

$$\ln|x| = \omega^2 \cdot \left(C_2 - \frac{m}{\mu} \cdot t - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t - \frac{m}{\mu} \right| \right);$$

Уравнения закона движения:

$$x = e^{\omega^2} \left(C_2 - \frac{m}{\mu} \cdot t - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t - \frac{m}{\mu} \right| \right). \tag{3}$$

Рассмотрим второе уравнение из выражения (1).

$$m\ddot{y} = -mg - f \cdot mg; \tag{4}$$

$$\ddot{y} = -g - fg;$$

$$\frac{d\dot{y}}{dt} = -g - fg;$$

$$\int d\dot{y} = -g \int dt - fg \cdot \int dt;$$

$$v_y = \dot{y} = -gt - fgt + C_3.$$

При начальном условии $t = 0, y = 0$, тогда $C_3 = 0$.

$$v_y = \dot{y} = -gt - fgt; \tag{5}$$

$$\frac{dy}{dt} = -gt - fgt;$$

$$\int dy = -gt \int dt - fgt \cdot \int dt;$$

$$y = -g \frac{t^2}{2} - fg \cdot \frac{t^2}{2} + C_4;$$

При начальном условии $t = 0, y = 0$, тогда $C_4 = 0$.

$$y = -g \frac{t^2}{2} - fg \cdot \frac{t^2}{2};$$

$$y = -g \frac{t^2}{2} (1 + f). \tag{6}$$

В таблице 1 приведено значение возрастания скорости от времени. Как известно из литературных источников, время соударения между билами равно 0,022 секунды.

Таблица 1 – Изменение скорости движения фасольной массы в центральном вале

t	5·10 ⁻³	6·10 ⁻³	7·10 ⁻³	8·10 ⁻³	9·10 ⁻³	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022
Vx(t)	1,895	2,279	2,665	3,052	3,441	3,832	4,225	4,619	5,015	5,413	5,812	6,214	6,617	7,022	7,428	7,837	8,247	8,659
Vy(t)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,21	-	-	-	-	-	-	-	-0,34	-
	0,081	0,097	0,113	0,129	0,146	0,162	0,178	0,194	0,226	0,243	0,259	0,275	0,291	0,307	0,323	0,356		

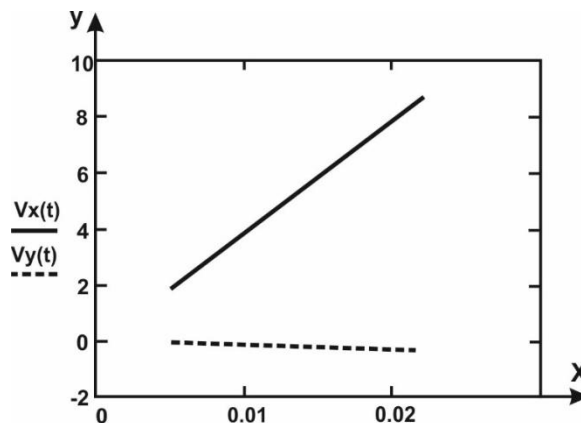


Рисунок 3 – Изменение скорости обмолачиваемой массы при вращении центрального вала

На рисунке 3 изображена кривая, которая характеризует возрастание скорости в коротком промежутке времени (полет фасольной массы между билами). Скорость движения фасольной массы при попадании ее на биле лежит в пределах 2 – 8,66 м/с, что соответствует скоростному диапазону и не приводит к разрушению фасольной массы.

Приведем расчеты для определения сил, представленных на рисунке 4, действующих на фасольную массу, при другом положении обмолачивающего механизма с билами [6, 7].

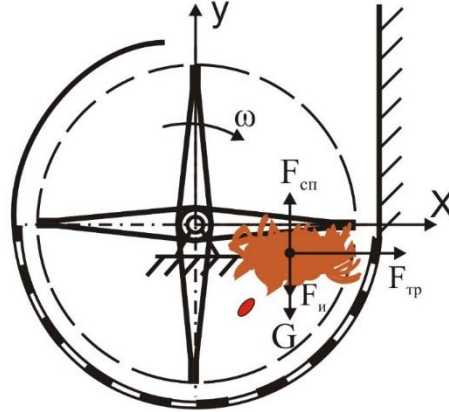


Рисунок 4 – Расчетная схема обмолачивающего механизма с билами во втором положении

Запишем основной закон динамики для второго положения:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = fmg \\ m\ddot{y} = -\mu\dot{x} \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} m\ddot{x} = fmg \\ m\ddot{y} = \mu\dot{y} - m\omega^2 y - mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \ddot{x} = fg \\ \ddot{y} = -\frac{\mu}{m}\dot{y} - \omega^2 y - g \end{cases}$$

Рассмотрим первое уравнение из (7):

$$\frac{d\dot{x}}{dt} = fg; \quad \int d\dot{x} = fg \int dt; \quad \dot{x} = fgt + C_1$$

При начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_1 = 0$.

$$v_x = \dot{x} = fgt; \quad (8)$$

$$\frac{dx}{dt} = fgt;$$

$$\int dx = fgt \int dt;$$

$$x = fg \frac{t^2}{2} + C_2.$$

При начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_2 = 0$.

$$x = fg \frac{t^2}{2}. \quad (9)$$

Рассмотрим второе уравнение из выражения (7):

$$\ddot{y} = -\frac{\mu}{m}\dot{y} - \omega^2 \cdot y - g;$$

$$\frac{d\dot{y}}{dt} = -\frac{\mu}{m}\dot{y} - \omega^2 \cdot y - g;$$

$$\int d\dot{y} = -\frac{\mu}{m}\dot{y} \int dt - \omega^2 \cdot y \int dt - g \int dt;$$

$$\dot{y} = -\frac{\mu}{m}\dot{y}t - \omega^2 \cdot yt - gt + C_3;$$

При начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_3 = 0$.

$$\dot{y} = -\frac{\mu}{m}\dot{y}t - \omega^2 \cdot yt - gt;$$

$$\dot{y} \left(1 + \frac{\mu}{m}t \right) = -\omega^2 \cdot yt - gt;$$

$$v_y = \dot{y} = \frac{-\omega^2 \cdot yt - gt}{1 + \frac{\mu}{m}t}; \quad (10)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{-\omega^2 \cdot yt - gt}{1 + \frac{\mu}{m}t};$$

$$\begin{aligned}
 dy &= \frac{(-\omega^2 \cdot yt - gt) \cdot dt}{1 + \frac{\mu}{m}t}; \\
 dy &= \frac{-t \cdot (-\omega^2 \cdot y - g) \cdot dt}{1 + \frac{\mu}{m}t}; \\
 \int \frac{dy}{\omega^2 \cdot y + g} &= \int \frac{-t \cdot dt}{1 + \frac{\mu}{m}t}; \\
 \int \frac{dy}{\omega^2 \cdot (y + \frac{g}{\omega^2})} &= - \int \frac{t \cdot dt}{\frac{m + \mu t}{m}}; \\
 \frac{1}{\omega^2} \cdot \int \frac{dy}{y + \frac{g}{\omega^2}} &= -m \int \frac{t \cdot dt}{m + \mu t}; \\
 \frac{1}{\omega^2} \cdot \int \frac{d \cdot (yt \cdot \frac{g}{\omega^2})}{y + \frac{g}{\omega^2}} &= -m \int \frac{t \cdot dt}{\mu \cdot (t + \frac{m}{\mu})}; \\
 \frac{1}{\omega^2} \cdot \ln \left| y + \frac{g}{\omega^2} \right| &= -\frac{m}{\mu} \cdot \int \frac{t \cdot dt}{t + \frac{m}{\mu}}; \\
 \frac{1}{\omega^2} \cdot \ln \left| y + \frac{g}{\omega^2} \right| &= -\frac{m}{\mu} \cdot \int \frac{t + \frac{m}{\mu} - \frac{m}{\mu}}{t + \frac{m}{\mu}} \cdot dt; \\
 \frac{1}{\omega^2} \cdot \ln \left| y + \frac{g}{\omega^2} \right| &= -\frac{m}{\mu} \cdot t + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t + \frac{m}{\mu} \right| + C_4; \\
 \ln \left| y + \frac{g}{\omega^2} \right| &= \omega^2 \cdot \left(C_4 - \frac{m}{\mu} \cdot t + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t + \frac{m}{\mu} \right| \right); \\
 y + \frac{g}{\omega^2} &= e^{\omega^2 \cdot \left(C_4 - \frac{m}{\mu} \cdot t + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t + \frac{m}{\mu} \right| \right)}; \\
 y &= -\frac{g}{\omega^2} + e^{\omega^2 \cdot \left(C_4 - \frac{m}{\mu} \cdot t + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t + \frac{m}{\mu} \right| \right)}; \tag{11}
 \end{aligned}$$

Таблица 2 – Изменение скорости движения фасольной массы в центральном вале

	·10 ⁻³	·10 ⁻³	·10 ⁻³	·10 ⁻³	·10 ⁻³	,01	,011	,012	,013	,014	,015	,016	,017	,018	,019	,020	,021	,022
x(t)	,032	,038	,045	,051	,057	,064	,07	,076	,083	,089	,096	,102	,108	,115	,121	,127	,134	,14
y(t)	2,089	2,501	2,912	3,321	3,728	4,134	4,538	4,94	5,34	5,574	6,136	6,532	6,925	7,318	7,708	8,097	8,484	8,87

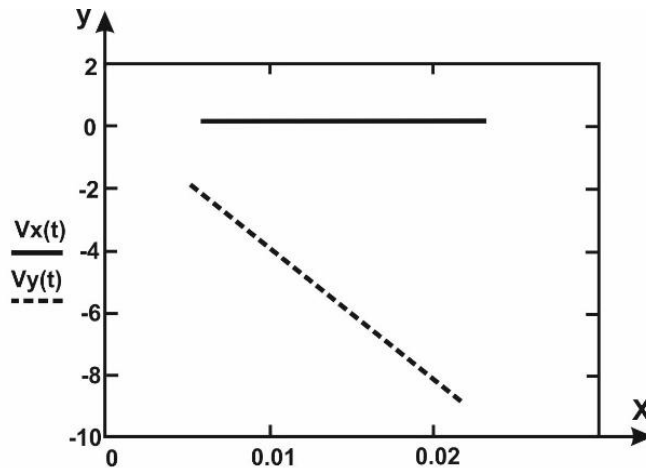


Рисунок 5 – Изменение скорости обмолочиваемой массы при вращении центрального вала

Приведем расчеты по определению сил, показанных на рисунке 6, действующих на фасольную массу при третьем положении обмолочивающего механизма с билами [8].

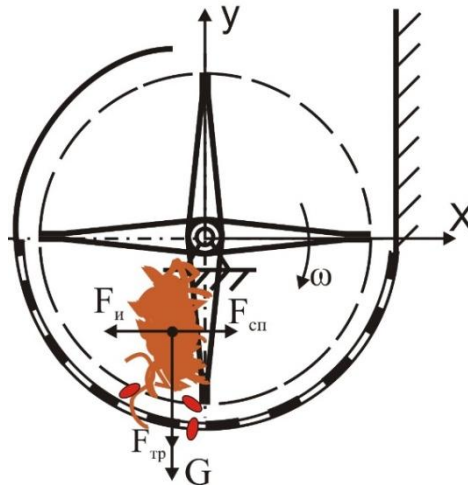


Рисунок 6 – Расчетная схема обмолачивающего механизма с билами третьего положения

Запишем основной закон динамики для третьего положения:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -\mu\dot{x} - m\omega^2 x \\ m\ddot{y} = -fmg - mg \end{cases} \quad (12)$$

$$\dot{x} = -\frac{\mu}{m}\dot{x} - \omega^2 \cdot x;$$

$$\frac{d\dot{x}}{dt} = -\frac{\mu}{m}\dot{x} - \omega^2 \cdot x;$$

$$\int d\dot{x} = -\frac{\mu}{m} \int \dot{x} dt - \omega^2 x \int dt;$$

$$\dot{x} = -\frac{\mu}{m}\dot{x}t - \omega^2 xt + C_1.$$

При начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_1 = 0$.

$$\dot{x} = -\frac{\mu}{m} \cdot \dot{x} \cdot t - \omega^2 \cdot x \cdot t;$$

$$\dot{x} = -\frac{\mu}{m} \cdot \dot{x} \cdot t - \omega^2 \cdot x \cdot t;$$

$$\dot{x} + \frac{\mu}{m} \cdot \dot{x} \cdot t + \omega^2 \cdot x \cdot t = 0;$$

$$v_x = \dot{x} \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot t}{m}\right) = -\omega^2 \cdot x \cdot t \quad (13)$$

$$\frac{dx}{dt} \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot t}{m}\right) = -\omega^2 \cdot x \cdot t;$$

$$dx \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot t}{m}\right) = -\omega^2 \cdot x \cdot t \cdot dt;$$

$$\frac{dx}{x} \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot t}{m}\right) = -\omega^2 \cdot t \cdot dt;$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{-\omega^2 \cdot t \cdot dt}{1 + \frac{\mu \cdot t}{m}};$$

$$\int \frac{dx}{x} = -\omega^2 \int \frac{t \cdot dt}{1 + \frac{\mu \cdot t}{m}};$$

Вынесем отдельно поинтервальное выражение:

$$J = \int \frac{t \cdot dt}{1 + \frac{\mu \cdot t}{m}} = \int \frac{t \cdot dt}{\frac{m + \mu \cdot t}{m}} = m \cdot \int \frac{t \cdot dt}{\mu \cdot t + m} = m \cdot \int \frac{t \cdot dt}{\mu \cdot \left(\frac{t+m}{\mu}\right)} = \frac{m}{\mu} \cdot \int \frac{t + \frac{m}{\mu} - \frac{m}{\mu}}{t + \frac{m}{\mu}} \cdot dt =$$

$$= \frac{m}{\mu} \cdot \int dt - \frac{m^2}{\mu^2} \int \frac{dt}{t + \frac{m}{\mu}} = \frac{m}{\mu} \cdot t - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \int \frac{d\left(t + \frac{m}{\mu}\right)}{t + \frac{m}{\mu}}$$

$$= \frac{m}{\mu} \cdot t - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t + \frac{m}{\mu} \right| + C_2$$

$$\ln|x| = -\omega^2 \cdot \left(\frac{m}{\mu} \cdot t - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t + \frac{m}{\mu} \right| + C_2 \right).$$

$$x = e^{-\omega^2} \cdot \left(\frac{m}{\mu} \cdot t - \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \ln \left| t + \frac{m}{\mu} \right| + C_2 \right). \quad (14)$$

Рассмотрим второе уравнение из выражения (12):

$$\begin{aligned} \dot{y} &= -fg - g; \\ \int \dot{y} dt &= \int (-fg - g) \cdot dt; \\ v_y = \dot{y} &= (-fg - g) \cdot t; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\int \dot{y} dt = \int (-fg - g) \cdot t \cdot dt;$$

$$y = (-fg - g) \cdot \frac{t^2}{2} + C_3;$$

$$y = -(f + 1) \cdot g \frac{t^2}{2} + C_3;$$

При начальном условии $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_3 = 0$.

$$y = -(f + 1) \cdot g \frac{t^2}{2}. \quad (16)$$

Таблица 3 – Изменение скорости движения фасольной массы в центральном вале

	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$,01	,011	,012	,013	,014	,015	,016	,017	,018	,019	,020	,021	,022
x(t)	2,226	2,665	3,103	3,539	3,973	4,405	4,835	5,264	5,69	6,115	6,539	6,96	7,38	7,798	8,214	8,628	9,041	9,452
y(t)	0,081	0,097	0,113	0,129	0,146	,162	0,178	0,194	0,21	0,226	0,243	0,259	0,275	0,291	0,307	0,323	0,34	0,356

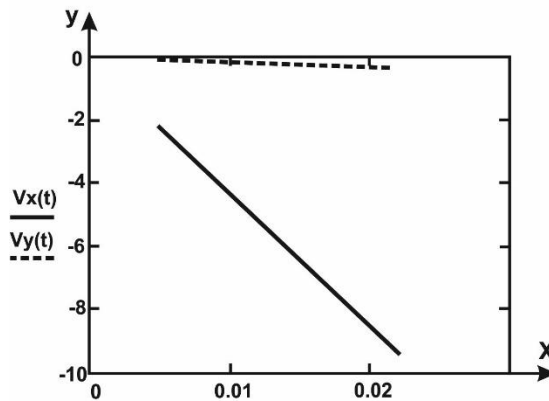


Рисунок 6 – Изменение скорости обмолачиваемой массы при вращении центрального вала

Расчеты по определению сил, действующих на фасольную массу при четвертом положении обмолачивающего механизма с билами [9, 10], показаны на рисунке 7.

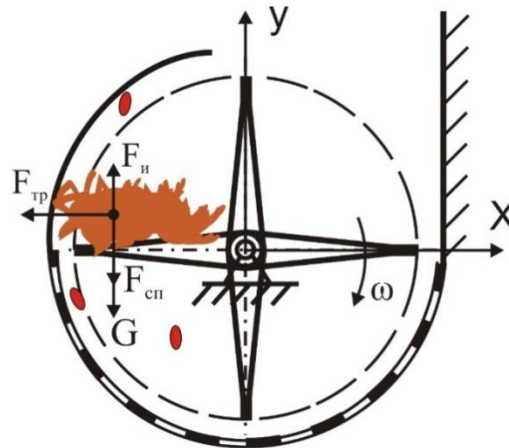


Рисунок 7 – Расчетная схема обмолачивающего механизма с билами, четвертое положение

Запишем основной закон динамики для четвертого положения:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -fmg \\ m\ddot{y} = m\omega^2x - \mu\dot{x} - mg \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = -fg \\ \ddot{y} = \omega^2y + \mu\dot{y} - g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{d\dot{x}}{dt} = -fg \\ \frac{d\dot{y}}{dt} = \mu\dot{y} + \omega^2y - g \end{cases} .$$

$$\int d\dot{x} = -fg \int dt$$

$$\dot{x} = -fgt + C_1$$

При начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_1=0$.

$$\dot{x} = -fgt \quad (18)$$

$$\frac{dx}{dt} = -fgt;$$

$$x = -fg \frac{t^2}{2} + C_2.$$

При начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_2=0$.

$$x = -fg \frac{t^2}{2} \quad (19)$$

$$\dot{y} = \omega^2 \cdot y + \mu \cdot \dot{y} - g; \quad (20)$$

$$\frac{d\dot{y}}{dt} = \omega^2 \cdot y + \mu \cdot \dot{y} - g;$$

$$\int d\dot{y} = \mu \cdot \dot{y} \int dt + \omega^2 \cdot y \int dt - g \int dt;$$

$$\dot{y} = \dot{y}\mu t + \omega^2 \cdot yt - gt + C_3;$$

При начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_3=0$.

$$\dot{y} = \dot{y}\mu t + \omega^2 \cdot yt - gt;$$

$$\dot{y} - \dot{y}\mu t = \omega^2 \cdot yt - gt;$$

$$\dot{y}(1 - \mu t) = \omega^2 \cdot yt - gt;$$

$$\dot{y} = \frac{\omega^2 \cdot yt - gt}{1 - \mu t};$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\omega^2 \cdot yt - gt}{1 - \mu t};$$

$$\int dy = \frac{(\omega^2 \cdot y - g) \cdot t}{1 - \mu t} \int dt;$$

$$y = \frac{(\omega^2 \cdot y - g) \cdot t}{1 - \mu t} \cdot t + C_4; \quad (21)$$

При начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0$, тогда $C_4=0$.

$$y = \frac{(\omega^2 \cdot y - g) \cdot t}{1 - \mu t} \cdot t. \quad (22)$$

Таблица 4 – Изменение скорости движения фасольной массы в центральном вале

	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-3}$,01	,011	,012	,013	,014	,015	,016	,017	,018	,019	,020	,021	,022
x(t)	,032	,038	,045	,051	,057	,064	,07	,076	,083	,089	,096	,102	,108	,115	,121	,127	,134	,14
y(t)	,553	,107	,676	,261	,864	,485	,124	,783	,462	,163	,886	,632	0,40	1,20	2,06	2,88	3,76	4,68

Изложенная методика расчета сил, приложенных к слою фасольной массы в камере обмолочивания, позволяет произвести кинематический и динамический анализ процесса измельчения и обмолота, обосновать основные параметры обмолочивающего механизма барабана, а также гарантировать достижение заданной производительности и требуемого качества товарного продукта.

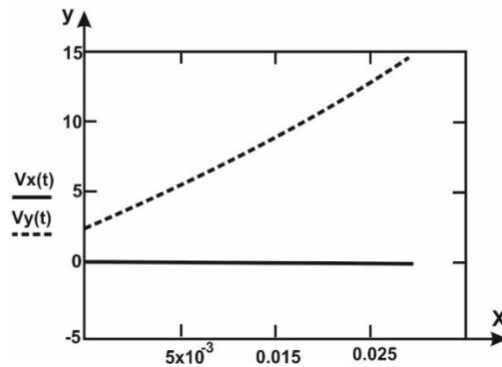


Рисунок 8 – Изменение скорости обмолачиваемой массы при вращении центрального вала

Заключение

Разработанная математическая модель, описывающая закон движения фасольной массы в камере обмолачивания с билами механизмов фасолеуборочных машин, позволяет получить оптимальный кинематический режим, уравнения траектории движения била в камере обмолачивания механизма на основе кинематического и динамического анализа. Для расчета сил отделения фасоли от стручков можно применить теорему количества движения, следующего один за другим. Приращение количества движения массы фасоли до удара и после удара била барабана о фасольную массу.

Установлено, что математическую модель, вызывающую измельчение массы фасоли при ударе, можно выполнить, используя теорему количества движения. Математическая модель показывает возможность выполнения технологических операций по отделению зерен фасоли от измельченной массы стеблей и стручков.

Данная математическая модель позволяет разработать конструкцию фасолеуборочной машины для снижения потери зерна до 2,1% и уменьшения количества дробленого зерна до 5 %.

Литература

1. Байгазиев М.С. Обоснование параметров и создание обмолачивающего и сортировочного механизма фасолеуборочной машины [Текст]: / Дисс.... канд. техн. наук:05.02.18 / М.С. Байгазиев. // – Бишкек, 2017. – С. – 26.
2. Патент №1691 К.Р., С1 (31.12.2014) Молотильное устройство для обмолачивания фасоли. [Текст] / М.З. Алмаматов, М.С. Байгазиев, Б.Ж. Чолпонбаев, Т.М. Нурманбетов, Д.С. Байгазиева; Бишкек, заявл. 29.11.2013; опубл. 31.12.2014, Бюл. №12. – С. 8.
3. Патент №1997 К.Р., (31.10.2017) Фасолеуборочный комбайн с подбирающим транспортерным устройством. [Текст] /Джуматаев М.С., Алмаматов М.З., Байгазиев М.С., Баялиев А.Ж., Байгазиев Д.С.: Бишкек, заявл. 25.10.2016; Опуб. 31.10.2017, Бюл. № 11. – С. 10.
4. Дружинин, Р.А. Совершенствование рабочего процесса ударно-центробежного измельчителя. [Текст]: / Дисс.... канд. техн. наук: 05.20.01 / Р.А. Дружинин. // –Воронеж, 2018. – С. – 169.
5. Балданов, М.Б. Исследование процесса измельчения фуражного зерна в молотковых дробилках [Текст] / М.Б. Балданов // Сб. тр. Бурятской с.-х. академии. – Вып. 38. – 1995. – С. 11–14.
6. Баранов, Ю. Н Совершенствование рабочего процесса молотковой дробилки с перефирийным подводом зерна: Автореф. дис.... канд. тех. наук [Текст] / Ю.Н. Баранов; Ворон. СХИ. – Воронеж, 1976. – С.24.
7. Байгазиев, М.С. Основное уравнение работы молотильного барабана и его анализ [Текст] / М.С. Байгазиев // Известия КГТУ им. И. Раззакова №29. – Бишкек, 2013. –С. 132–135.

8. Василенко, П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин [Текст] /П.М. Василенко. – Киев: Изд-во УСХА, 1960. – С. 175.
9. Ходаков, Г.С. Физико-химическая механика измельчения [Текст] / Г.С. Ходаков. – М.: Наука, 1972. – С. 240.
10. Техника для скашивания, валкования, сборки и обмолота фасоли. Компания FOODAGROTEH, Россия [сайт] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://999.md/ru/14973441> / (дата обращения: 10.03. 2015).