

ПРОЦЕССЫ, АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.66 | 531.01

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ХЛЕБНЫХ СУХАРЕЙ В ЗАГРУЗОЧНОЙ ОБЛАСТИ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

В. Г. Харкевич, Ю. М. Гребенцов, А. В. Евдокимов

Могилевский государственный университет продовольствия, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Для измельчения сухарей в сухарную крошку используются универсальные машины, характеризующиеся неоптимальными энергозатратами. Цель исследования – конструирование энергоэффективного специализированного измельчителя. Научная задача – математическое моделирование процесса подачи сухарей к рабочим органам ударного действия при заданных конструктивных ограничениях.

Материалы и методы. Модельный эксперимент на основе основного закона динамики в дифференциальной форме; параметры модели – угол наклона загрузочной области, ее длина, высота расположения над рабочими органами, начальная скорость движения измельчаемого материала.

Результаты. Все исследуемые параметры модели, описывающей динамику хлебных сухарей в загрузочной области измельчителя, являются значимыми.

Выводы. Математическая модель может быть использована для определения оптимальных конструктивных параметров загрузочной зоны измельчителя ударного типа. Критически важным для эффективности процесса измельчения является задача конструктивно обеспечить попадание измельчаемого материала в центр удара.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *измельчитель; математическая модель; хлебный сухарь; центр удара; высота падения; угол наклона; траектория; уравнения движения.*

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Харкевич, В. Г. Математическая модель движения хлебных сухарей в загрузочной области измельчителя ударного действия / В. Г. Харкевич, Ю. М. Гребенцов, А. В. Евдокимов // Вестник МГУП. – 2019. – № 2(27). – С. 101–111.

MATHEMATICAL MODEL OF BREAD RUSKS MOVING IN IMPACT GRINDER LOADING AREA

V. G. Kharkevich, Yu.M. Hrabiantsov, A. V. Evdokimov

Mogilev State University of Food Technologies, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. Multipurpose machines are used to grind rusks into crumbs, these machines being not energy-efficient. The purpose of the study is to design a power efficient special-purpose grinder. The scientific task is mathematical modeling of feeding crackers to impact working bodies at specified design constraints.

Materials and methods. Model experiment based on the basic law of dynamics in differential form; model parameters – slope angle of the loading area, its length, height above the working bodies, and initial speed of movement of the crushed material.

Results. All the studied parameters of the model describing the dynamics of bread rusks in the loading area of the crusher are important.

Conclusions. The mathematical model can be used to determine the optimal design parameters of the loading area of an impact type grinder. Designed feeding of the material to be ground to the center of impact is of great importance for the efficient grinding process.

KEY WORDS: *grinder; mathematical model; bread rusks; center of impact; drop height; slope angle; trajectory; equations of motion.*

FOR CITATION: Kharkevich V. G., Hrabiantsov Yu. M., Evdokimov A. V. Mathematical model of bread rusks moving in impact grinder loading area. Bulletin of Mogilev State University of Food Technologies. – 2019. – No. 2(27). – P. 101–111. (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Дробильные машины созданы и применяются в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства уже достаточно давно. Несмотря на разнообразие конструкций дробилок, использующихся в пищевой и зерноперерабатывающей промышленности для получения готового продукта требуемой фракции [1–3], широкое применение получили именно дробильные установки ударного действия, в которых основным рабочим органом является молоток (било). Это связано в первую очередь с относительной простотой их конструкции, долговечностью и безотказностью. Несмотря на это, их совершенствование происходит и по сей день [4], которое, как правило, связано с возможностью использования износостойких современных материалов, разработкой различных элементов конструкций, предотвращающих поломку измельчающего оборудования, а также корректировкой геометрических параметров и размеров самих дробилок в зависимости от вида и типа измельчаемого материала для повышения их производительности и уменьшения энергозатрат. Как показал литературный обзор, совершенствование измельчающего оборудования для дробления хлебного сухаря в сухарную крошку (панировочные сухари) в последнее время не проводилось. Для этой цели используются универсальные мощные и, соответственно, энергозатратные кормодробилки, которые не имеют прямого предназначения для получения панировочных сухарей.

Для проведения эффективных конструктивных расчетов в качестве рабочей гипотезы обоснована необходимость математического моделирования процесса, в частности процесса подачи сухарей к рабочим органам измельчителя, которая описывала бы движение цельного куска хлебного сухаря в загрузочной области измельчителя ударного действия. При этом считали, что при проектировании измельчающего оборудования немаловажную роль играет конструкция и угол наклона загрузочного лотка, начальная скорость движения измельчаемого материала по нему, а также один из главных факторов, влияющих на протекание процесса измельчения, это – точное определение координат точки встречи измельчаемого материала с верхним рядом ударных элементов [5, 6]. По нашему предположению, задавая и варьируя указанные выше параметры, можно определить время движения материала по лотку и скорость, с которой он попадает в рабочую камеру измельчающей машины, определить траекторию его движения, что позволит правильно сориентировать измельчаемый материал в центр удара, а также рассчитать геометрию корпуса машины с учетом скорости и траектории движения материала.

Цель исследования – конструирование энергоэффективного специализированного измельчителя сухарей в сухарную крошку.

Научная задача – математическое моделирование протекания процесса подачи сухарей к рабочим органам ударного действия при заданных конструктивных ограничениях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения закона движения хлебного сухаря в загрузочной области измельчителя был применен основной закон динамики в дифференциальной форме [7, 8]. Параметры модели – угол наклона загрузочной области, ее длина, высота расположения над рабочими органами, начальная скорость движения измельчаемого материала.

В работе в качестве модельного тела рассматривается хлебный сухарь из пшеничной муки с габаритными размерами $245 \times 155 \times 60$ мм. В качестве конструктивных ограничений, а также при оценке адекватности математической модели использовались технические характеристики уже имеющихся измельчителей ударного действия, например, использующихся для измельчения фуражного зерна при производстве кормов [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим динамику движения хлебных сухарей в загрузочной области измельчителя ударного действия на участке AB (рис. 1).

Примем для удобства расчётов хлебный сухарь за материальную точку массой m (кг), на которую в процессе движения в загрузочной области действуют следующие силы: сила тяжести \vec{G} (Н), сила реакции опоры \vec{N} (Н), сила скатывания $\vec{F}_{ск}$ (Н), сила сопротивления воздуха $\vec{F}_{св}$ (Н) и сила трения скольжения $\vec{F}_{тр}$ (Н) (см. рис. 1).

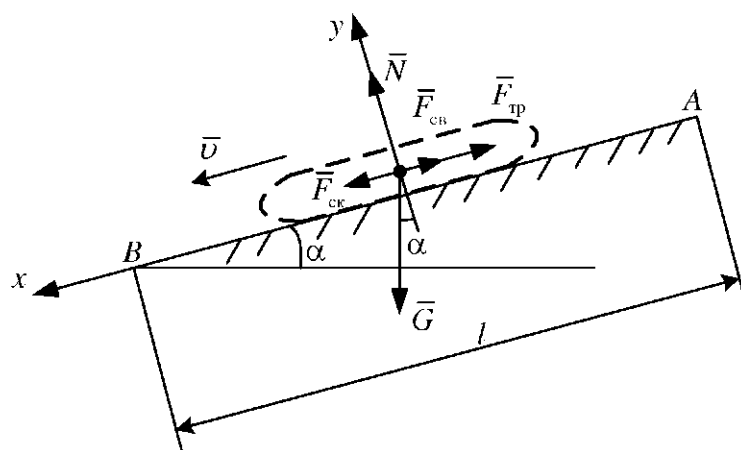


Рис. 1. Расчётная схема движения хлебного сухаря по загрузочному лотку

Fig. 1. Design model of the movement of bread rusks along the loading tray

Согласно основному закону динамики материальной точки в дифференциальной форме [8] в проекциях на естественные оси координат, имеем

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = F_{ск} - F_{св} - F_{тр}. \quad (1)$$

Так как $F_{ск} = G \sin \alpha$, $F_{тр} = \mu G \cos \alpha$, $F_{св} = 0$ (ввиду её малости) ($G = mg$ (g (м/с²) – ускорение свободного падения, μ – коэффициент трения скольжения), то уравнение (1) примет вид

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = G \sin \alpha - \mu G \cos \alpha$$

или

$$\frac{d^2x}{dt^2} = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha. \quad (2)$$

Дважды интегрируя уравнение (2), получим последовательно

$$\frac{dx}{dt} = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)t + c_1, \quad (3)$$

$$x = \frac{1}{2} g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)t^2 + c_1 t + c_2, \quad (4)$$

Постоянные интегрирования c_1 , c_2 найдём, используя начальные условия:

$$t = 0, x|_{t=0} = 0, \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} = v_A (\text{м/с}), \quad (5)$$

где v_A – начальная скорость движения хлебного сухаря в загрузочной области, которая, например, может быть принята равной скорости движения ленты транспортёра, выраженной через угловую скорость барабана транспортёра (ω (рад/с)) и радиус барабана (r (м)), то есть

$$v_A = \omega r.$$

Из (3), (4), используя (5), находим, что

$$c_1 = \omega r, \quad (6)$$

$$c_2 = 0. \quad (7)$$

Тогда на основании (6), (7) уравнения (3), (4) примут вид

$$\frac{dx}{dt} = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)t + \omega r, \quad (8)$$

$$x = \frac{1}{2} g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)t^2 + \omega r t. \quad (9)$$

В момент времени t , когда хлебный сухарь покидает загрузочную область (точка B)

$$\frac{dx}{dt} = v_B (\text{м/с}), \quad x = l (\text{м}).$$

Исходя из этих условий, уравнения (8), (9) можно записать в виде:

$$v_B = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)t + \omega r, \quad (10)$$

$$l = \frac{1}{2} g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)t^2 + \omega r t. \quad (11)$$

Используя уравнение (11), найдём время движения хлебного сухаря в загрузочной области:

$$\frac{1}{2} g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)t^2 + \omega r t - l = 0, \quad (12)$$

откуда

$$t_1 = -\frac{\sqrt{\omega^2 r^2 + 2gl(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} + \omega r}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}, \quad (13)$$

$$t_2 = \frac{\sqrt{\omega^2 r^2 + 2gl(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} - \omega r}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}. \quad (14)$$

Так как очевидно, что корень $t_1 < 0$, то к расчёту в дальнейшем принимаем решение (14).

На основании (14) уравнение (10) примет вид

$$v_B = \sqrt{\omega^2 r^2 + 2gl(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}. \quad (15)$$

Для определения значения коэффициента трения скольжения можно воспользоваться известным методом [10, 11], который основан на использовании соотношения $\mu = \operatorname{tg}\varphi$.

Рассмотрим далее движение хлебного сухаря в полётной части измельчителя ударного действия, то есть на участке BC (рис. 2).

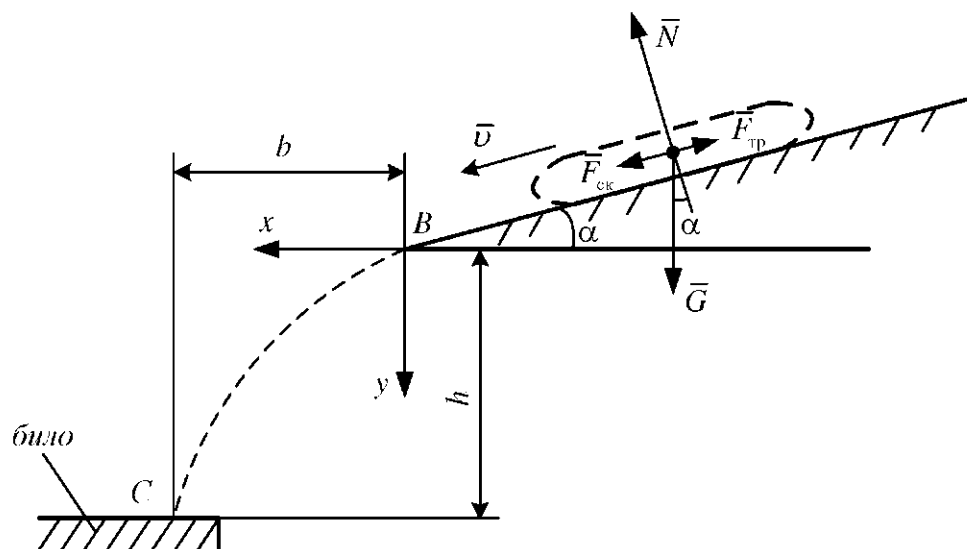


Рис. 2. Схема для расчёта траектории движения хлебного сухаря

Fig. 2. Design model for estimating the trajectory of the movement of bread rusks

Уравнения движения хлебного сухаря от точки B до точки C в проекциях на оси координат (Bx и By) имеют вид

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0, \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = G. \end{cases} \quad (16)$$

Дважды проинтегрировав по t уравнение $m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0$ из системы (16) получим последовательно

$$\frac{dx}{dt} = c_3, \quad (17)$$

$$x = c_3 t + c_4. \quad (18)$$

Постоянные интегрирования c_3 , c_4 найдём, используя начальные условия задачи:

$$t = 0, \quad x|_{t=0} = 0, \quad \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} = v_B \cos \alpha, \quad (19)$$

где v_B – начальная скорость хлебного сухаря в полётной части, значение которой получаем из (15).

Из (17), (18), используя (19), имеем

$$c_3 = v_B \cos \alpha, \quad (20)$$

$$c_4 = 0. \quad (21)$$

Тогда на основании (20), (21) уравнения (17), (18) запишем в виде

$$\frac{dx}{dt} = v_B \cos \alpha, \quad (22)$$

$$x = v_B t \cos \alpha. \quad (23)$$

Аналогично из уравнения $m \frac{d^2 y}{dt^2} = G$ системы (16) получим

$$\frac{dy}{dt} = gt + v_B \sin \alpha, \quad (24)$$

$$y = \frac{1}{2} gt^2 + v_B t \sin \alpha. \quad (25)$$

Таким образом, получили систему уравнений, описывающих движение хлебного сухаря в полётной части:

$$\begin{cases} x = v_B t \cos \alpha, \\ y = \frac{1}{2} gt^2 + v_B t \sin \alpha. \end{cases} \quad (26)$$

Из системы (26) получим следующее уравнение траектории полёта хлебного сухаря:

$$y = \frac{gx^2}{2v_B^2 \cos^2 \alpha} + xt \operatorname{tg} \alpha. \quad (27)$$

В момент падения хлебного сухаря на верхний ряд ударных элементов измельчителя (рис. 2) $x = b$, $y = h$. Учитывая это, окончательно получим

$$h = \frac{gb^2}{2v_B^2 \cos^2 \alpha} + xt \operatorname{tg} \alpha. \quad (28)$$

Найдём время полёта хлебного сухаря от точки B до точки C . Из уравнения $x = v_B t \cos \alpha$, с учётом того, что $x = b$, $t = t_{BC}$, имеем

$$t_{BC} = \frac{b}{v_B \cos \alpha}. \quad (29)$$

Скорость хлебного сухаря в любой момент времени при движении по траектории BC находится согласно закону сложения скоростей [7] по формуле

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \quad (30)$$

где $v_x = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \frac{dy}{dt}$ и определяются равенствами (22), (24).

Рассмотрим математическую модель применительно к реальной ситуации, то есть когда хлебный сухарь не рассматривается как материальная точка, а имеет определённые размеры (рис. 3).

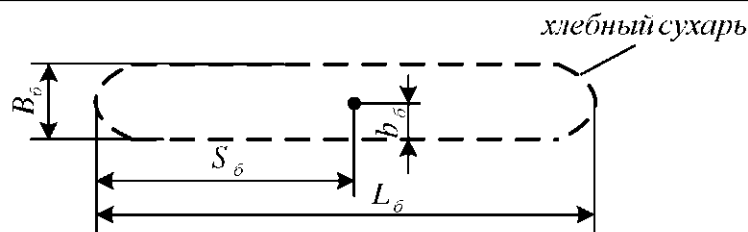


Рис. 3. Физические размеры хлебного сухаря, используемые в расчётах

Fig. 3. Physical dimensions of bread rusks used in the calculations

В этом случае имеет место быть несколько вариантов ориентации хлебного сухаря при падении на верхний ряд ударных элементов измельчителя.

1 Вариант. Хлебный сухарь сорентирован по вертикали при падении на верхний ряд ударных элементов измельчителя (рис. 4).

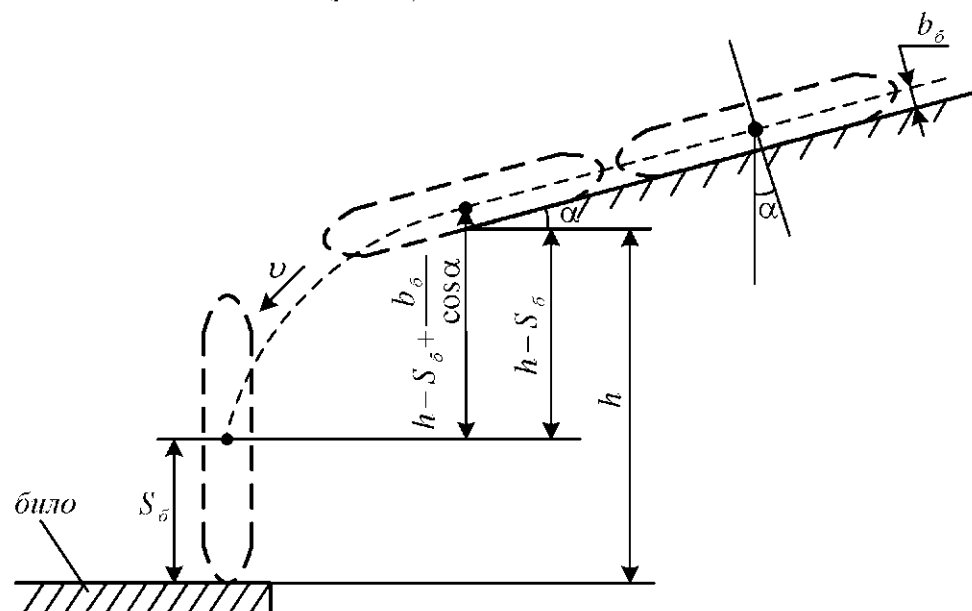


Рис. 4. Схема полёта хлебного сухаря при вертикальной ориентации в момент встречи с верхним рядом ударных элементов

Fig. 4. Flight design model of bread rusks with vertical orientation at the moment of meeting with the top row of impact elements

В этом случае в расчётах высота падения берётся равной

$$h - S_{\delta} + \frac{b_{\delta}}{\cos \alpha}. \tag{31}$$

Тогда из (28), на основании (31), получим уточнённое уравнение траектории полёта

$$gb^2 + bv_{\delta}^2 \sin 2\alpha - 2v_{\delta}^2 \cos \alpha (h \cos \alpha - S \cos \alpha + b_{\delta}) = 0. \tag{32}$$

Откуда

$$b_1 = \frac{v_{\delta} \sqrt{2v_{\delta}^2 - 32g \cos^2 \alpha (S - h) - 2v_{\delta}^2 (\cos 4\alpha + \sin 2\alpha) + 32b_{\delta} g \cos \alpha}}{4g}. \tag{33}$$

Второй корень здесь также не приводим, так как он отрицательный, а значит не подходит для дальнейших расчётов.

Тогда из (29), на основании (33) получим уточнённое время полёта

$$t_{bc} = \frac{\sqrt{2v_0^2 - 32g \cos^2 \alpha (S - h) - 2v_0^2 (\cos 4\alpha + \sin 2\alpha) + 32b_0 g \cos \alpha}}{4g \cos \alpha}. \quad (34)$$

Наконец, равенство (30), на основании (22), (24) и с учётом (34), запишем в виде

$$v = \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + \left(\frac{\sqrt{2v_0^2 - 32g \cos^2 \alpha (S - h) - 2v_0^2 (\cos 4\alpha + \sin 2\alpha) + 32b_0 g \cos \alpha}}{4 \cos \alpha} + v_0 \sin \alpha \right)^2}. \quad (35)$$

2 Вариант. Хлебный сухарь падает на верхний ряд ударных элементов измельчителя горизонтально (рис. 5)

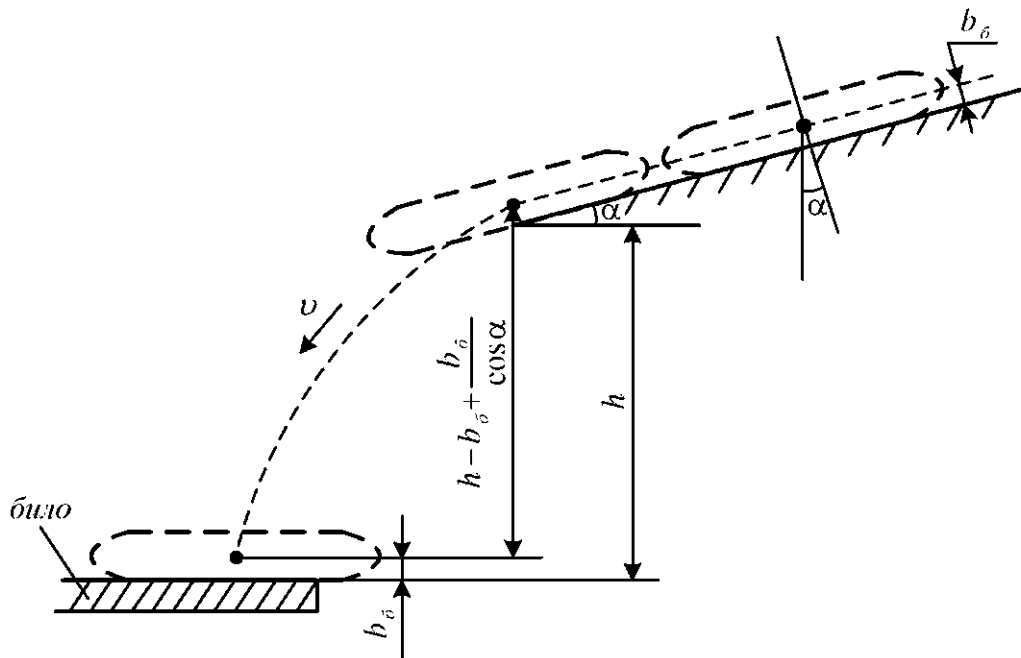


Рис. 5. Схема полёта хлебного сухаря при горизонтальной ориентации в момент встречи с верхним рядом ударных элементов

Fig. 5. Flight design model of bread rusks with horizontal orientation at the moment of meeting with the top row of impact elements

Для данного варианта расчётное значение высоты принимается равным

$$h - b_0 + \frac{b_0}{\cos \alpha}. \quad (36)$$

Тогда уточнённое уравнение траектории принимает вид

$$gb^2 + bv_0^2 \sin 2\alpha - 2v_0^2 \cos \alpha (h \cos \alpha - b_0 \cos \alpha + b_0) = 0, \quad (37)$$

решая которое получим

$$b_1 = \frac{v_0 \sqrt{2v_0^2 (1 - \cos 4\alpha - \sin 2\alpha) + 32gh \cos^2 \alpha + 16b_0 g (2 \cos \alpha - \cos 2\alpha - 1)}}{4g}. \quad (38)$$

Второй корень уравнения не подходит, так как он отрицательный.

Из (29) с учётом (38) имеем:

$$t_{BC} = \frac{\sqrt{2v_0^2(1 - \cos 4\alpha - \sin 2\alpha) + 32gh \cos^2 \alpha + 16b_0 g(2 \cos \alpha - \cos 2\alpha - 1)}}{4g \cos \alpha}. \quad (39)$$

Равенство (30) для скорости, на основании (22), (24) и с учётом (39), примет вид

$$v = \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + \left(\frac{\sqrt{2v_0^2(1 - \cos 4\alpha - \sin 2\alpha) + 32gh \cos^2 \alpha + 16b_0 g(2 \cos \alpha - \cos 2\alpha - 1)}}{4 \cos \alpha} + v_0 \sin \alpha \right)^2}. \quad (40)$$

3 Вариант. Хлебный сухарь падает на верхний ряд ударных элементов измельчителя под произвольным углом (рис. 6.)

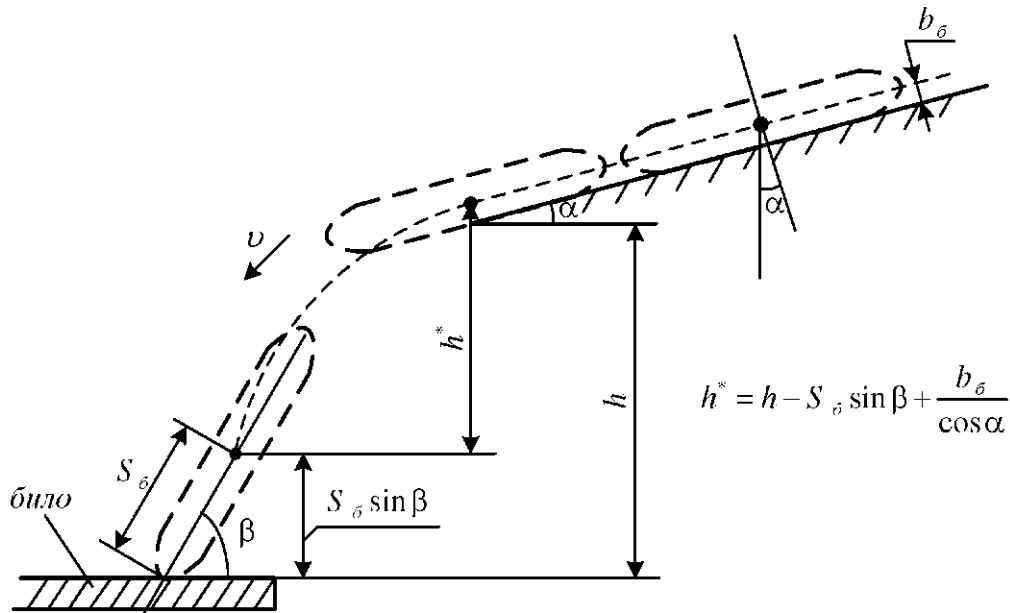


Рис. 6. Схема полёта хлебного сухаря при произвольном угле ориентации в момент встречи с верхним рядом ударных элементов

Fig. 6. Flight design model of bread rusks with an arbitrary orientation angle at the moment of meeting with the top row of impact elements

Высота падения центра масс в данном варианте считается равной

$$h - S_0 \sin \beta + \frac{b_0}{\cos \alpha}, \quad (41)$$

а уточнённое уравнение движения примет вид

$$gb^2 + bv_0^2 \sin 2\alpha - 2v_0^2 \cos \alpha (h \cos \alpha - S_0 \cos \alpha \sin \beta + b_0) = 0. \quad (42)$$

Из (42) имеем

$$b_1 = \frac{v_0^2 \sqrt{4v_0^2 \sin^2 2\alpha + 32gh \cos^2 \alpha - 16S_0 g \sin \beta (1 + \cos \alpha) + 32b_0 g \cos \alpha - 2v_0^2 \sin 2\alpha}}{4g}. \quad (43)$$

Второй корень отрицательный и не подходит для дальнейших расчётов.

Тогда из (29), на основании (43), получим уточнённое время полёта

$$t_{BC} = \frac{\sqrt{4v_0^2 \sin^2 2\alpha + 32gh \cos^2 \alpha - 16Sg \sin \beta(1 + \cos \alpha) + 32b_0 g \cos \alpha - 2v_0 \sin 2\alpha}}{4g \cos \alpha}. \quad (44)$$

Из (30), используя (22), (24) и с учётом (44), получим

$$v = \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + \left(\frac{\sqrt{4v_0^2 \sin^2 2\alpha + 32gh \cos^2 \alpha - 16Sg \sin \beta(1 + \cos \alpha) + 32b_0 g \cos \alpha}}{4 \cos \alpha} \right)^2}. \quad (45)$$

Полученные в работе результаты, а именно приведённая математическая модель для измельчителя ударного действия, являются на данный момент новыми, так как подобные исследования машин для получения панировочных сухарей ранее не проводились.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены уравнения движения и зависимости, позволяющие установить влияние размеров и конструктивных особенностей измельчителя ударного действия на скорость хлебного сухаря в загрузочной области и полётной части, на дальность вылета и на его траекторию.

Представленная математическая модель может быть использована в целях конструирования специализированного измельчителя ударного действия для определения оптимальных значений скорости транспортёра, угла наклона и длины загрузочной области, а также высоты её расположения над верхним рядом ударных элементов измельчителя при решении задачи попадания измельчаемого материала в центр удара.

На следующем этапе исследования будет осуществлена проверка модели на адекватность в условиях лабораторного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Жислин, Я. М. Оборудование для производства комбикормов, обогатительных смесей и премиксов / Я. М. Жислин. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1981. – 319 с., ил.
- 2 Кукта, Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с., ил.
- 3 Мачихин, С. А. Машины и оборудование пищевой и перерабатывающей промышленности: Т. IV–17 / С. А. Мачихин, В. Б. Аюбян, С. Т. Антипов и др.; под ред. С. А. Мачихина. – 2003. – 736 с.
- 4 Перминов, В. Н. Обзор конструкций дробилок фуражного зерна / В. Н. Перминов, Л. А. Лопатин, Н. Ф. Баранов // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики. Материалы X Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение»: Сборник научных трудов, посвящённый 65-летию со дня образования инженерного факультета Вятской ГСХА. Киров: Вятская ГСХА, 2017. Вып. 18. С. 208–213.
- 5 Харкевич, В. Г. Исследование траектории движения измельчаемого материала до момента столкновения с ударными элементами / В. Г. Харкевич, В. А. Шуляк // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VI Междунар. науч. конф. студ. и аспирантов. Могилев, 24–25 апр., 2008 г.: в 2 ч. / Мог. гос. ун-т прод.; редкол.: А. В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2008. – Ч. 1. – С. 9–10.
- 6 Харкевич, В. Г. Исследование закона движения материала по загрузочному лотку измельчающей машины / В. Г. Харкевич, В. А. Шуляк // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VI Междунар. науч. конф. студ. и аспирантов. Могилев, 24–25 апр., 2008 г.: в 2 ч. / Мог. гос. ун-т прод.; редкол.: А. В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2008. – Ч. 2. – С. 96–97.
- 7 Савельев, И. В. Курс общей физики: в 4 т.: учеб. пособие для вузов. Т. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика / И. В. Савельев. – М.: КноРус, 2009.
- 8 Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – 18-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2010.
- 9 Харкевич, В. Г. Анализ дробилок ударного действия с вертикальным расположением вала для переработки пищевых материалов средней твердости / В. Г. Харкевич // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы XIX Международной научно-практической конференции (22–23 марта 2018 г.): 3 ч. / под ред. В. А. Вагнера, Е. С. Дикаловой; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – Ч. 2. – С. 195–201.

10 Артоболеский, И. И. Теория механизмов и машин: учеб. для ВТУЗов / И. И. Артоболеский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.

11 Левитская, О. Н. Курс теории механизмов и машин: учеб. пособие для мех. спец. ВУЗов / О. Н. Левитская, Н. И. Левитский. – М.: Высшая школа, 1985. – 290 с.

Поступила в редакцию 02.12.2019 г.

ОБ АВТОРАХ:

Харкевич Виталий Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной механики и инженерной графики, Могилевский государственный университет продовольствия.

Гребенцов Юрий Михайлович, заместитель декана инженерно-технологического факультета заочного образования, Могилевский государственный университет продовольствия.

Евдокимов Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры прикладной механики и инженерной графики, Могилевский государственный университет продовольствия.

ABOUT AUTHORS:

Vitali G. Kharkevich, PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Mogilev State University of Food Technologies.

Yury M. Grabiantsov, Deputy Dean of the Faculty of Engineering and Technology of Correspondence Education, Mogilev State University of Food Technologies.

Aleksander V. Evdokimov, Senior Lecturer of the Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Mogilev State University of Food Technologies.