
4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья
УДК 519.6:633.11
DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_4_129

EDN: CBVYXH

Математическое моделирование поперечного сечения зерновки пшеницы

Виктор Васильевич Никитин^{1✉}, Виктор Николаевич Ожерельев²,
Владимир Филиппович Комогорцев³, Наталия Викторовна Синяя⁴

^{1, 2, 3, 4} Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия

¹ viktor.nike@yandex.ru✉

Аннотация. Производство новой или модернизация существующей сельскохозяйственной техники сопровождается проведением теоретических исследований. В полной мере это касается не только зерноуборочных комбайнов, но и зерноочистительных комплексов. В этих случаях при описании взаимодействий зерновой массы с рабочими органами машин зерновка рассматривается в виде отдельно взятого шара. Это обусловлено тем, что при такой форме зерновки существенным образом упрощается моделирование технологических процессов. Однако, как показывает практика, такое упрощение не всегда оправдано с точки зрения конечного результата. Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными зачастую превышает рекомендуемые пределы. В связи с этим целью исследования являлась разработка математической модели поперечного сечения зерновки пшеницы, определение площади ее поперечного сечения, высоты координаты центра тяжести и моментов инерции. Подробно изучив модели зерновки пшеницы, предложенные различными исследователями (зерновка – шар; эллипсоид, поперечное сечение которого выполнено в виде улитки Паскаля или кардиоиды), авторы посчитали целесообразным представить поперечное сечение зерновки в виде кругового цилиндра радиуса R , обрезанного вдоль его образующей. По результатам математического моделирования были получены уравнения для определения положения центра тяжести модели, площади поперечного сечения и моментов инерции. Построенная модель обрезанного цилиндра в программе КОМПАС-3D показала адекватность полученных выражений. Сходимость теоретических и экспериментальных данных составила 100%. При сопоставлении результатов наложения профилей улитки Паскаля и кардиоиды на обрезанный цилиндр установлено, что разница в высоте координаты центра тяжести моделей не превышает 3%. Таким образом, использование предложенной авторами математической модели поперечного сечения зерновки пшеницы позволяет получить результаты, сопоставимые с другими анализируемыми моделями, при более простых теоретических выкладках.

Ключевые слова: пшеница, зерновка, поперечное сечение, площадь поперечного сечения, улитка Паскаля, кардиоида, обрезанный цилиндр, центр тяжести, момент инерции

Для цитирования: Никитин В.В., Ожерельев В.Н., Комогорцев В.Ф., Синяя Н.В. Математическое моделирование поперечного сечения зерновки пшеницы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 4(79). С. 129–137. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_129–137.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Mathematic simulation of the cross section of wheat kernel

Viktor V. Nikitin^{1✉}, Viktor N. Ozherelev²,
Vladimir F. Komogortsev³, Natalia V. Sinyaya⁴

^{1, 2, 3, 4} Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia

¹ viktor.nike@yandex.ru✉

Abstract. The production of new or modernization of existing agricultural machinery is accompanied by theoretical research. This fully applies not only to combine harvesters, but also to grain separating units. In these cases, when describing the interactions of the grain mass with the working bodies of machines, the kernel is considered to be sphere-shaped. This is due to the fact that with this form of the kernel, technological processes simulation is significantly simplified. However, as practice shows, such simplification is not always justified from the point of view of the final result. The divergence between theoretical and experimental data often exceeds the recommended limits. In this regard, the purpose of the study was to develop a mathematical model of the cross-section of a wheat kernel, determine the area of its cross-section, the height of the coordinate of the center of

gravity and moments of inertia. Having studied in detail the wheat kernel models proposed by various researchers who considered the kernel to be either sphere-shaped, or ellipsoid, the cross-section of which can be described as Limaçon of Pascal or cardioid, the authors considered it advisable to represent the cross-section of a kernel in the form of a circular cylinder of R radius trimmed along its generatrix line. Based on the results of mathematical simulation, equations were obtained to determine the position of the center of gravity of the model, the cross-sectional area and moments of inertia. The developed model of the trimmed cylinder in the COMPASS-3D program showed the adequacy of the equations obtained. The divergence between theoretical and experimental data was 100%. When comparing the results of superimposing the profiles of Limaçon of Pascal and cardioid on a trimmed cylinder, it was found that the difference in the height of the coordinate of the center of gravity of the models does not exceed 3%. Thus, the use of the proposed mathematical model of the cross-section of a wheat kernel allows obtaining results comparable with other analyzed models but with simpler theoretical calculations.

Keywords: wheat, kernel, cross section, cross-sectional area, Limaçon of Pascal, cardioid, trimmed cylinder, center of gravity, moment of inertia

For citation: Nikitin V.V., Ozherelev V.N., Komogortsev V.F., Sinyaya N.V. Mathematic simulation of the cross section of wheat kernel. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(4):129-137. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_129-137.

Производство новой или модернизация существующей сельскохозяйственной техники сопровождается проведением теоретических исследований. В полной мере это касается не только зерноуборочных комбайнов, но и зерноочистительных комплексов [1, 2]. В этих случаях при описании взаимодействий зерновой массы с рабочими органами машин зерновка рассматривается в виде отдельно взятого шара [3–5]. Это обусловлено тем, что при такой форме зерновки существенным образом упрощается моделирование технологических процессов.

Однако, как показывает практика, такое упрощение не всегда оправдано с точки зрения конечного результата. Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными зачастую превышает рекомендуемые пределы. Так, согласно исследованиям В.Л. Злочевского [6], рассматривавшего зерновку пшеницы в виде эллипсоида вращения при анализе ее аэродинамических сопротивлений, точность расчетов при сравнении с эквивалентным шаром повышается более чем на 25%.

Особый интерес представляют математические модели семян пшеницы, разработанные И.А. Маяцкой [7], представляющие собой эллипсоид вращения, поперечное сечение зерновки в которых выполнено в виде улитки Паскаля и в виде кардиоиды (рис. 1). Уравнение контура поперечного сечения для этих двух моделей в прямоугольной декартовой системе координат имеет следующий вид:

$$(x^2 + y^2 - a \cdot x)^2 = l^2(x^2 + y^2)^2, \quad (1)$$

где a, l – геометрические параметры фигуры, представленные на рисунке 1; x, y – координаты точек.

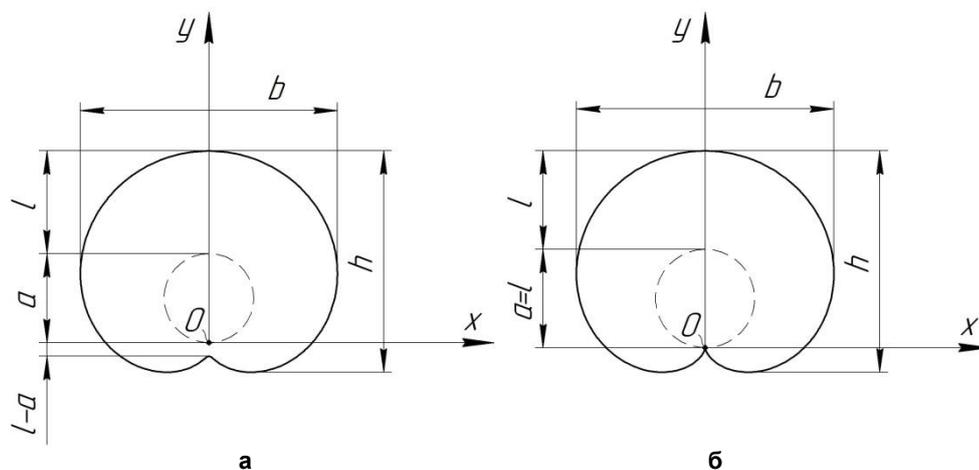


Рис. 1. Профили поперечных сечений: а – улитка Паскаля; б – кардиоиды

По результатам проведенных теоретических исследований И.А. Маяцкой [7] получена зависимость высоты координаты центра тяжести улитки Паскаля по оси Oy :

$$y_c = \frac{9 \cdot \pi}{16} \cdot l \cdot \frac{0,25 \cdot a^2 + l^2}{a^2 + 2 \cdot l^2}, \quad (2)$$

и площади ее поперечного сечения от геометрических параметров фигуры:

$$S = \frac{\pi \cdot a^2}{2} + \pi \cdot l^2. \quad (3)$$

Между тем, несмотря на достаточно хорошую приближенность указанных моделей к реальным формам зерновок, экспериментальная работа и последующие расчеты затруднены ввиду особенностей объекта исследования.

Во-первых, это обусловлено необходимостью определения опорных точек моделей зерновки, относительно которых происходит ее вращение (качение) как по горизонтальной, так и по наклонной плоскостям.

Во-вторых, уравнение (1) содержит переменные a и l , не связанные с габаритными размерами самой фигуры (на примере эллипса с полуосями a и b). То есть построить модель зерновки одновременно по двум размерам b и h (рис. 1) не представляется возможным. Один из размеров всегда получается произвольным. Подтверждением этому служит построенная модель улитки Паскаля (рис. 2).

Для проведения теоретических исследований были выбраны семена озимой пшеницы сорта Московская 56 со следующими размерами: ширина зерновки $b = 3,9$ мм, толщина $h = 3,49$ мм [10]. По результатам построения модели зерновки в программе КОМПАС-3D ширина зерна составила $b = 3,9$ мм, а толщина $h = 3,39$ мм. То есть ширина зерновки отличается от заданной величины на 2,94%. Подставив значения геометрических параметров $a = 1,362$ мм и $l = 1,571$ мм, полученных при построении модели, в уравнения (2) и (3), определим высоту координаты центра тяжести – $y_c = 1,1985$ мм и площадь $S = 10,667$ мм².

Далее определено реальное значение координаты центра тяжести фигуры $y_c = 1,176$ мм и ее площади $S = 10,664$ мм². Проверка адекватности уравнений (2) и (3) показала, что разница в координатах центра тяжести модели не превышает 2% при сходимости площади их поперечного сечения (рис. 2).

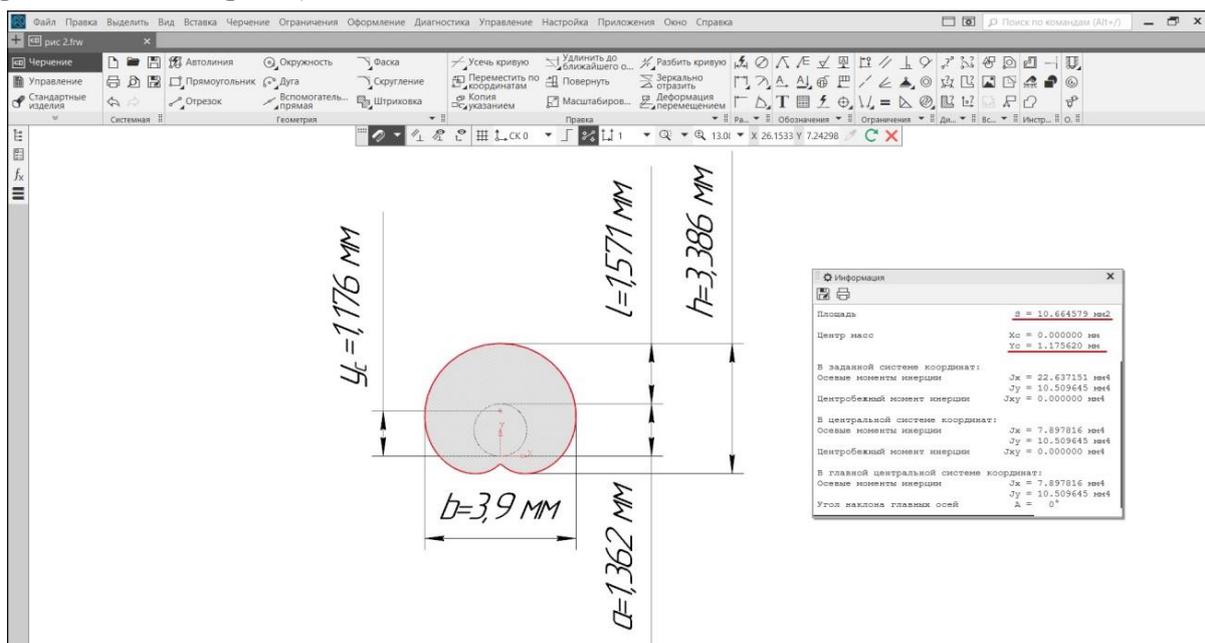


Рис. 2. Рабочее окно программы КОМПАС-3D при определении площади поперечного сечения и высоты координаты центра масс улитки Паскаля

Аналогичные построения были выполнены и для кардиоиды. В этом случае получены следующие размеры: ширина зерна $b = 3,9$ мм, толщина – $h = 3,337$ мм, геометрические параметры – $a = l = 1,501$ мм (рис. 3).

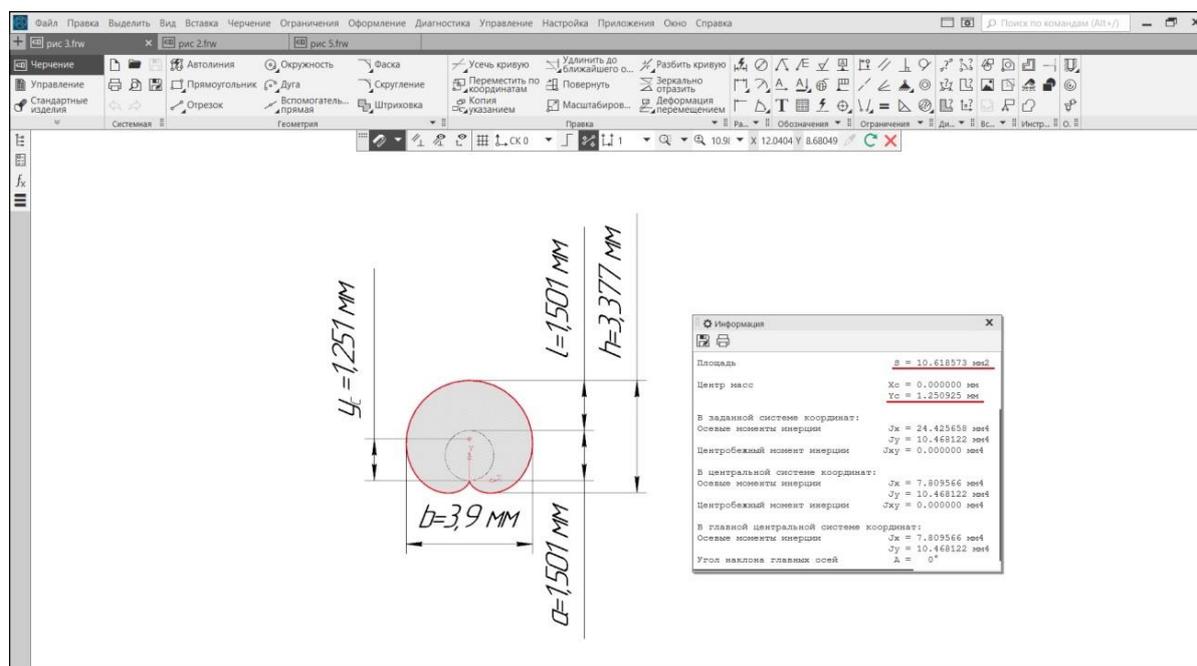


Рис. 3. Рабочее окно программы КОМПАС-3D при определении площади поперечного сечения и высоты координаты центра масс кардиоиды

Координату центра тяжести кардиоиды определяли по следующему выражению [7]:

$$y_c = \frac{15}{64} \cdot \pi \cdot a. \quad (4)$$

Площадь кардиоиды равна

$$S = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot a^2. \quad (5)$$

Подставив найденные значения в (4) и (5), получили высоту координаты центра тяжести $y_c = 1,105$ мм и площадь $S = 10,617$ мм². Воспользовавшись возможностями программы КОМПАС-3D, определили реальное значение координаты центра тяжести фигуры $y_c = 1,251$ мм и ее площади $S = 10,618$ мм². Следовательно, разница в координатах центра тяжести составляет порядка 13% при равной площади поперечного сечения.

Таким образом, рассмотренные модели поперечного сечения зерновки требуют уточнения не только координат центра тяжести, но и моментов инерции.

В связи с этим целью исследования является разработка математической модели поперечного сечения зерновки пшеницы, определение площади ее поперечного сечения, высоты координаты центра тяжести и моментов инерции.

Методика расчета

Подробно изучив модели зерновки пшеницы, предложенные различными исследователями (зерновка – шар; эллипсоид, поперечное сечение которого выполнено в виде улитки Паскаля или кардиоиды), авторы посчитали целесообразным представить поперечное сечение зерновки в виде кругового цилиндра радиуса R , обрезанного вдоль его образующей (рис. 4). Величину срезанной части характеризует угол β . Срезанная часть цилиндра заштрихована.

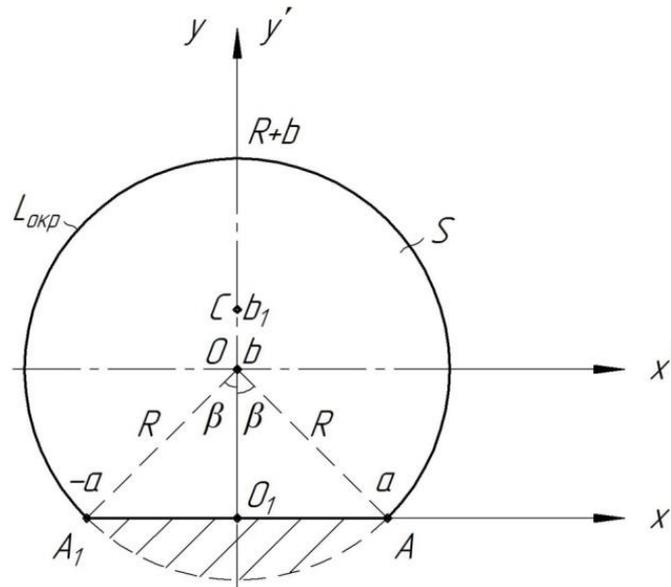


Рис. 4. Поперечное сечение зерновки, выполненное в виде обрезанного цилиндра

Площадь обрезанного цилиндра определим как разницу между площадью круга и площадью заштрихованного сегмента, то есть

$$S = (\pi - \beta + \cos \beta \cdot \sin \beta) \cdot R^2. \quad (6)$$

Для нахождения центра тяжести обрезанного цилиндра – точки C – рассмотрим цилиндр в декартовой системе координат xO_1y с использованием вспомогательной системы $x'Oy'$. Согласно рисунку 4, координаты центра тяжести обрезанного цилиндра находятся в точке $C(0; b_1)$. При этом

$$b_1 = \frac{M_x}{S}, \quad (7)$$

где M_x – статический момент относительно оси O_1x , который определяется по следующей формуле:

$$M_x = \iint_S y dx dy. \quad (8)$$

Теперь перейдем к двойному интегралу (8.) Для этого разобьем область интегрирования S на две части: S_1 и S_2 . Здесь S_1 – это часть области S , ограниченная отрезками OA и OA_1 и замыкающая их дугой окружности $L_{окр}$, а S_2 – это треугольник ΔOOA_1 . Следовательно,

$$M_x = \iint_{S_1} y dx dy + \iint_{S_2} y dx dy. \quad (9)$$

Для вычисления первого из двух интегралов перейдем от системы координат xO_1y к системе $x'Oy'$ и в уравнении (9) выполним следующую замену:

$$x = x'; \quad y = y' + b; \quad dx = dx'; \quad dy = dy'. \quad (10)$$

Тогда

$$\iint_{S_1} y dx dy = \iint_{S_1} (y' + b) dx' dy' = \iint_{S_1} y' dx' dy' + b \iint_{S_1} dx' dy'. \quad (11)$$

В первом из интегралов в уравнении (11) выполним замену

$$x' = r \cdot \cos \varphi; \quad y' = r \cdot \sin \varphi; \quad dx dy = r dr d\varphi; \quad (12)$$

$$0 \leq r \leq R; \quad -\frac{\pi}{2} + \beta \leq \varphi \leq \frac{3\pi}{2} - \beta.$$

Тогда

$$\iint_{S_1} y' dx' dy' = \iint_{S_1} r \cdot \sin \varphi \cdot r dr d\varphi = \int_{-\frac{\pi}{2} + \beta}^{\frac{3\pi}{2} - \beta} \sin \varphi d\varphi \int_0^R r^2 dr = \frac{2}{3} \sin \beta \cdot R^3. \quad (13)$$

Из уравнения (11) определим площадь области интегрирования S_2 :

$$\iint_{S_1} dx' dy' = S_1 = (\pi - \beta) \cdot R^2. \quad (14)$$

Таким образом, с помощью уравнений (13), (14) и равенства $b = R \cos \beta$ (рис. 4) получаем следующее значение интеграла (11):

$$\iint_{S_\alpha} y dx dy = \left[\frac{2}{3} \cdot \sin \beta + (\pi - \beta) \cdot \cos \beta \right] \cdot R^3. \quad (15)$$

Это первый из интегралов уравнения (9). Приняв во внимание, что стороны AO и A_1O треугольника $\Delta O A O A_1$ определяются по уравнению (16)

$$x = (b - y) \cdot \operatorname{tg} \beta \quad \text{и} \quad x = (y - b) \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (16)$$

рассчитаем второй интеграл

$$\iint_{S_\Delta} y dx dy = \int_0^b y dy \int_{(y-b) \cdot \operatorname{tg} \beta}^{(b-y) \cdot \operatorname{tg} \beta} dx = \frac{1}{3} \cdot b^3 \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{1}{3} \cdot R^3 \cdot \cos^2 \beta \cdot \sin \beta. \quad (17)$$

Таким образом, на основании выражений (9), (14) и (16) получаем:

$$M_x = \left[\frac{2}{3} \cdot \sin \beta + (\pi - \beta) \cdot \cos \beta + \frac{1}{3} \cdot \cos^2 \beta \cdot \sin \beta \right] \cdot R^3. \quad (18)$$

Подставляя (18) и (6) в уравнение (7), получим следующее выражение для координаты b_1 центра тяжести поперечного сечения обрезанного цилиндра [8]:

$$b_1 = \frac{\frac{2}{3} \cdot \sin \beta + (\pi - \beta) \cdot \cos \beta + \frac{1}{3} \cdot \cos^2 \beta \cdot \sin \beta}{\pi - \beta + \cos \beta \cdot \sin \beta} \cdot R. \quad (19)$$

Теперь перейдем к определению момента инерции обрезанного цилиндра относительно точки O (рис. 4). Он понадобится нам при рассмотрении движения зерновки по дуге. Обозначим момент инерции через J_O .

Тогда, согласно определению С.М. Тарга, приведенному в [9], момент инерции равен

$$J_O = \rho \iint_S r^2 dx dy, \quad (20)$$

где $r^2 = x^2 + (y - b)^2$ – квадрат расстояния до центра тяжести цилиндра – точки O ;

ρ – поверхностная плотность зерна пшеницы;

S – пластина, представляющая собой поперечное сечение цилиндра.

Разобьем область интегрирования S на две части: S_1 и S_2 . Тогда

$$J_O = \rho \iint_{S_1} [x^2 + (y - b)^2] dx dy + \rho \iint_{S_2} [x^2 + (y - b)^2] dx dy. \quad (21)$$

Выполним замену в первом интеграле:

$$x = x'; \quad y = y' + b; \quad dx = dx'; \quad dy = dy'.$$

Перейдя к полярным координатам

$$0 \leq r \leq R; \quad -\frac{\pi}{2} + \beta \leq \varphi \leq \frac{3\pi}{2} - \beta,$$

получим

$$\rho \iint_{S_1} [(x')^2 + (y')^2] dx' dy' = \rho \iint_{S_2} [r^2 \cdot r dr d\varphi] = \rho \int_{-\frac{\pi}{2} + \beta}^{\frac{3\pi}{2} - \beta} d\varphi \int_0^R r^3 dr = \rho(\pi - \beta) \cdot \frac{R^4}{2}. \quad (22)$$

Вычислим второй интеграл:

$$\begin{aligned} \rho \iint_{S_2} [x^2 + (y-b)^2] dx dy &= \rho \int_0^b dy \int_{(y-b) \cdot \operatorname{tg} \beta}^{(b-y) \cdot \operatorname{tg} \beta} [x^2 + (y-b)^2] dx = \\ &= 2 \cdot \rho \cdot \operatorname{tg} \beta \left(\frac{1}{3} \operatorname{tg}^2 \beta + 1 \right) \int_0^b (b-y)^3 dy = 2 \cdot \rho \cdot \operatorname{tg} \beta \left(\frac{1}{3} \operatorname{tg}^2 \beta + 1 \right) \cdot \frac{b^4}{4} = \frac{1}{2} \rho \cdot b^4 \cdot \operatorname{tg} \beta \left(\frac{1}{3} \operatorname{tg}^2 \beta + 1 \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Зная, что $b = R \cdot \cos \beta$, окончательно второй интеграл определяем как

$$\rho \iint_{S_2} [x^2 + (y-b)^2] dx dy = \rho \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta \cdot \left(\frac{1}{3} \sin^2 \beta + \cos^2 \beta \right) \cdot \frac{R^4}{2}. \quad (24)$$

Воспользовавшись уравнениями (21), (22) и (24), определим момент инерции:

$$J_O = \frac{\rho \cdot R^4}{2} \cdot \left[\pi - \beta + \cos \beta \cdot \sin \beta \left(\frac{1}{3} \sin^2 \beta + \cos^2 \beta \right) \right]. \quad (25)$$

Согласно теореме Гюйгенса-Штейнера, момент инерции поперечного сечения обрезанного цилиндра относительно его центра тяжести (точки C) равен

$$J_C = J_O - \rho \cdot S \cdot (b_1 - b)^2. \quad (26)$$

По результатам построения модели обрезанного цилиндра в программе КОМПАС-3D (рис. 5) установлена высокая адекватность полученных уравнений (6) и (18). Координата центра тяжести равна $y_c = 1,575$ мм, а площадь $S = 11,014$ мм², то есть сходимость данных составляет 100%.

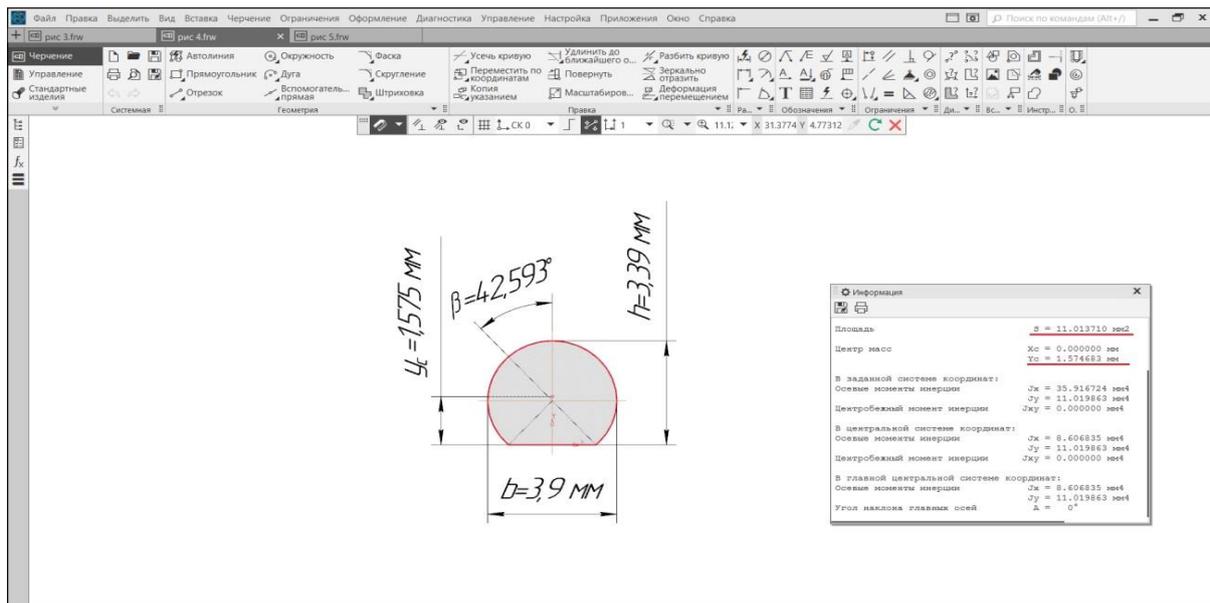


Рис. 5. Рабочее окно программы КОМПАС-3D при определении площади поперечного сечения и высоты координаты центра масс обрезанного цилиндра

При наложении профилей улитки Паскаля и кардиоиды на профиль обрезанного цилиндра и их сопоставлении установлено, что разница в высоте координаты центра тяжести моделей не превышает 3% (рис. 6). Следовательно, суммарная ошибка уменьшилась на 10%.

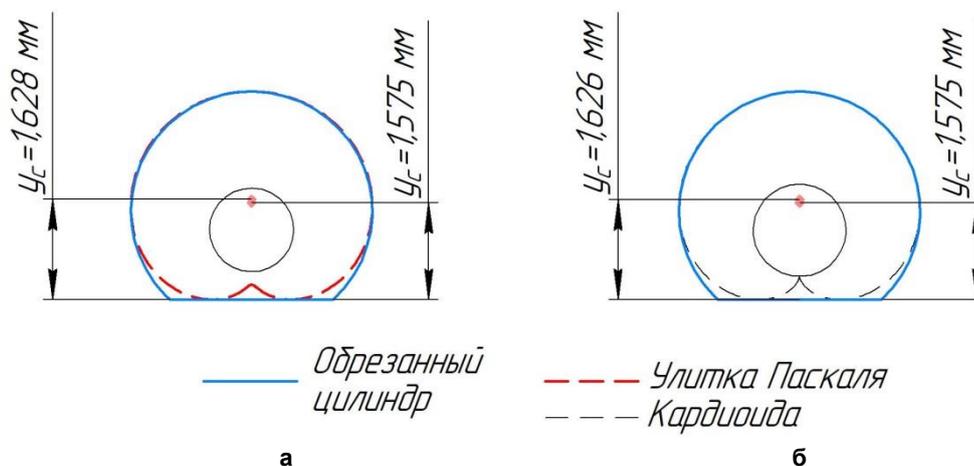


Рис. 6. Сопоставление профилей зерновки с обрезанным цилиндром: а – улитка Паскаля; б – кардиоида

Выводы

1. Использование математической модели поперечного сечения зерновки пшеницы, выполненного в виде обрезанного цилиндра, позволяет получить данные, сопоставимые с результатами расчетов в соответствии с моделями, которые рассматривают поперечное сечение зерновки, выполненное в виде улитки Паскаля или кардиоиды, при более простых теоретических выкладках.

2. Наложение профилей улитки Паскаля и кардиоиды на профиль обрезанного цилиндра и их сопоставление свидетельствуют о том, что разница в высоте координаты центра тяжести моделей не превышает 3%.

Список источников

1. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Москва: Колос, 1980. 671 с.
2. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Ленинград: Машиностроение, 1977. 528 с.
3. Горячкин В.П. Собрание сочинений; в 3 т. Москва: Колос, 1965. Т. 1. 720 с.
4. Василенко В.В., Василенко С.В., Баскаков И.В. Рациональная схема питателя стационарной молотилки очесанного вороха // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 5, № 3(74). С. 12–18. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_12.
5. Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Комогорцев В.Ф. Наклонная камера зерноуборочного комбайна // Вестник Брянской ГСХА. 2016. № 3. С. 65–70. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_12.
6. Злочевский В.Л. Интенсификация процесса аэродинамического разделения зерновых материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. Барнаул, 1985. 490 с.
7. Маяцкая И.А. Разработка механико-математических моделей семян сельскохозяйственных культур, убираемых зернокомбайнами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Ростов-на-Дону, 2000. 22 с.
8. Никитин В.В. Совершенствование технологической схемы зерноуборочного комбайна и параметров его рабочих органов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. Воронеж, 2021. 350 с.
9. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. Москва: Высшая школа, 2010. 416 с.
10. Ториков В.Е., Мельникова О.В., Ториков В.В. и др. Повышение урожайности и качества зерна: монография; под ред. В.Е. Торикова. Брянск: Изд-во Брянского ГАУ, 2018. 172 с.

Reference

1. Klenin N.I., Sakun V.A. Sel'skokhozyajstvennyye i meliorativnyye mashiny [Agricultural and reclamation machines]. Moscow: Kolos; 1980. 671 p. (In Russ.).
2. Lurie A.B., Grombchevsky A.A. Raschet i konstruirovaniye sel'skokhozyajstvennykh mashin [Calculation and design of agricultural machines]. Leningrad: Mashinostroeniye; 1977. 528 p. (In Russ.).
3. Goryachkin V.P. Sbraniye sochineniy; v 3 tomakh [Collected works in three volumes]. Moscow: Kolos; 1968. Vol. 1. 720 p. (In Russ.).
4. Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Baskakov I.V. Rational diagram of the feeder for stationary thresher of combed grain heap. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(3):65-70. (In Russ.). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_12. (In Russ.).
5. Ozherelev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F. Naklonnaya kamera zernouborochnogo kombajna [Inclined chamber of a combine harvester]. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyajstvennoy akademii = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2016;3:65-70. (In Russ.).
6. Zlochevsky V.L. Intensifikatsiya protsessa aerodinamicheskogo razdeleniya zernovykh materialov [Intensification of the process of aerodynamic separation of grain materials]: dissertatsiya ... doktora tekhnicheskikh nauk = Doctoral Dissertation in Engineering Sciences: 05.20.01. Barnaul, 1985. 490 p. (In Russ.).
7. Mayatskaya I.A. Razrabotka mekhaniko-matematicheskikh modelej semyan sel'skokhozyajstvennykh kul'tur, ubiraemykh zernokombajnami [Development of mechanical and mathematical models of seeds of agricultural crops harvested by grain combines]: avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk = Abstract of Candidate Dissertation in Engineering Sciences. Rostov-on-Don, 2000. 22 p. (In Russ.).
8. Nikitin V.V. Sovershenstvovaniye tekhnologicheskoy skhemy zernouborochnogo kombayna i parametrov ego rabochikh organov [Improving technological scheme of the combine harvester and the parameters of its working bodies]: dissertatsiya ... doktora tekhnicheskikh nauk = Doctoral Dissertation in Engineering Sciences: 05.20.01. Voronezh; 2021. 350 p. (In Russ.).
9. Targ S.M. Kratkij kurs teoreticheskoy mekhaniki [A short course in theoretical mechanics]. Moscow: Higher School; 2010. 416 p. (In Russ.).
10. Torikov V.E., Melnikova O.V., Torikov V.V. et al. Povysheniye urozhajnosti i kachestva zerna: monografiya; pod red. V.E. Torikova [Increasing grain yield and quality: monograph; edited by V.E. Torikov]. Bryansk: Bryansk State Agrarian University Press; 2018. 172 p. (In Russ.).

Информация об авторах

В.В. Никитин – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой технического сервиса ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», viktor.nike@yandex.ru.

В.Н. Ожерельев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», vicoz@bk.ru.

В.Ф. Комогорцев – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации, физики и математики, komvf@inbox.ru.

Н.В. Синяя – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», sinzea@yandex.ru.

Information about the authors

V.V. Nikitin, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dept. of Technical Service, Bryansk State Agrarian University, viktor.nike@yandex.ru.

V.N. Ozherelev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Management and Road Construction, Bryansk State Agrarian University, vicoz@bk.ru.

V.F. Komogortsev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, the Dept. of Automation, Physics and Mathematics, Bryansk State Agrarian University, komvf@inbox.ru.

N.V. Sinyaya, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Technical Service, Bryansk State Agrarian University, sinzea@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 27.07.2023; одобрена после рецензирования 10.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 27.07.2023; approved after reviewing 10.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.

© Никитин В.В., Ожерельев В.Н., Комогорцев В.Ф., Синяя Н.В., 2023