

## МЕТОД РАСЧЁТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЁМНЫХ ФИГУР НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

Лукияненко В.М., к.т.н., доц., Никифоров А.А., Галич И.В. ст. преп.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенко*

*В данной статье предлагается представлять объёмные тела неправильной формы как совокупность дискретных плоских элементов – треугольников. При данном подходе методика определения геометрии сечений не будет зависеть от формы поверхности тела, которое рассекается на элементы*

**Постановка проблемы.** Повышение эффективности процессов выделения семян трудноотделимых сорняков и примесей из семенных смесей в настоящее время продолжает оставаться актуальной задачей. Выполнить очистку семян основной культуры без значительных ее потерь от таких засорителей в некоторых случаях при сепарации на существующих зерноочистительных машинах с воздушно – решетно – триерными рабочими органами невозможно [1, 2]. Поэтому изыскание новых рабочих органов семяочистительных машин для улучшения качества очистки семян имеет важное народнохозяйственное значение.

Анализ работ в области гидродинамики сепарирования зерна [1], а также вибрационного перемещения твёрдых и сыпучих тел на рабочих органах семяочистительных машин [2] показывает, что аэродинамические силы и моменты, которые действуют на тела (зёрна) в потоке воздуха учитываются не в полной мере.

**Цель исследования.** Учёт влияния аэродинамических сил на динамику движения элементов семенной смеси путём расчёта аэродинамических характеристик тел неправильной формы.

**Основная часть.** Ранее была предложена методика расчёта аэродинамических характеристик тел правильной эллипсоидной формы методом сечений [6, 7]. Согласно этой методике тело разбивается секущими на несколько элементов, каждый элемент рассматривается как плоский аэродинамический профиль и в зависимости от геометрических характеристик последнего рассчитываются его аэродинамические характеристики. Аэродинамические характеристики тела рассчитываются путём суммирования характеристик, полученных для составляющих элементов тела (аэродинамических профилей).

В качестве аэродинамических характеристик профиля рассматриваются [4, 6]:

- хорда профиля  $b$  – линия, соединяющая две наиболее удаленные точки профиля;

- относительная толщина профиля  $\bar{c} = c/b$  – отношение максимальной толщины профиля  $c$  к длине хорды  $b$ ;
- относительная кривизна профиля  $\bar{f} = f/b$ , где  $f$  - кривизна профиля (наибольшая ордината точки, принадлежащей средней линии профиля);
- относительные абсциссы толщины и кривизны профиля  $\bar{x}_c = x_c/b$ ,  $\bar{x}_f = x_f/b$ , соответственно. Здесь  $x_c$  и  $x_f$  - абсциссы наибольшей толщины профиля и его наибольшей кривизны;
- относительные радиусы кривизны в «голове» и «хвосте» профиля  $\bar{r} = r/b$ .

Часто данные величины выражают в процентах. Данные величины рассчитываются в зависимости от относительной кривизны и относительной абсциссы кривизны рассматриваемого профиля при неизменном критическом угле атаки.

Геометрические характеристики аэродинамических профилей рассчитываются с помощью алгоритма [6].

Предложенный метод позволяет с удовлетворительной точностью прогнозировать аэродинамические свойства компонентов зерновых смесей при условии их правильной формы (когда их поверхность может быть описана уравнением (системой уравнений) аналитической геометрии).

Однако на практике не всегда рассматриваемые компоненты зерновых смесей имеют правильные формы. Во всяком случае, их описание системой уравнений представляет собою отдельную достаточно сложную задачу, которая усложняет методику расчёта вследствие того, что расчётные алгоритмы зависят от вида поверхности, которая рассекается секущими плоскостями.

В данной статье предлагается представлять объёмные тела неправильной формы как совокупность дискретных плоских элементов – треугольников (рис. 1).

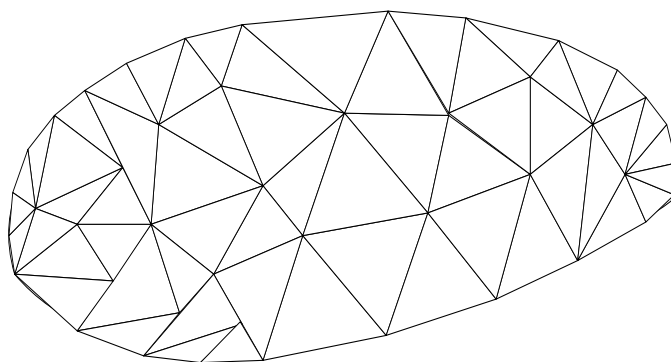


Рисунок 1 – Представление объемного тела неправильной формы совокупностью дискретных плоских треугольников

Тогда в расчётном алгоритме будет использоваться только один вид уравнений – уравнения определения следа при пересечении двух плоскостей. При этом профиль сечения рассматриваемого тела будет определяться как

совокупность следов пересечения секущей плоскостью плоскостей введённых дискретных элементов или, иначе – как ломаная линия (рис. 2).

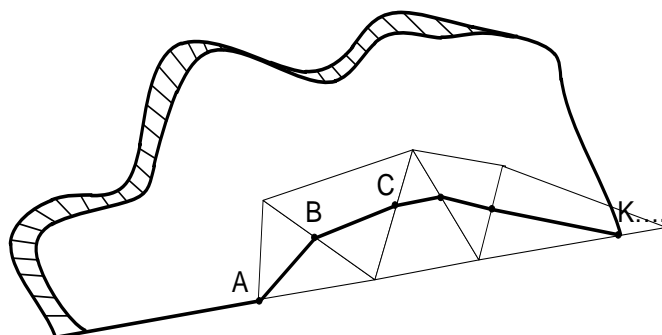


Рисунок 2 – Совокупность следов пересечения секущей плоскостью плоскостей введённых дискретных элементов

Процедура разбивки объёмных тел произвольной формы на дискретные плоские треугольники называется триангуляцией [3, 5].

Методика расчёта следа при пересечении секущей плоскостью дискретных плоских треугольников следующая.

Объёмная фигура неправильной формы задается совокупностью узлов разбивки. При этом фигура представляется в виде совокупности дискретных плоских треугольников, каждый из которых может быть аналитически описан уравнением плоскости, проходящей через три заданные точки, не лежащие на одной прямой (рис. 3).

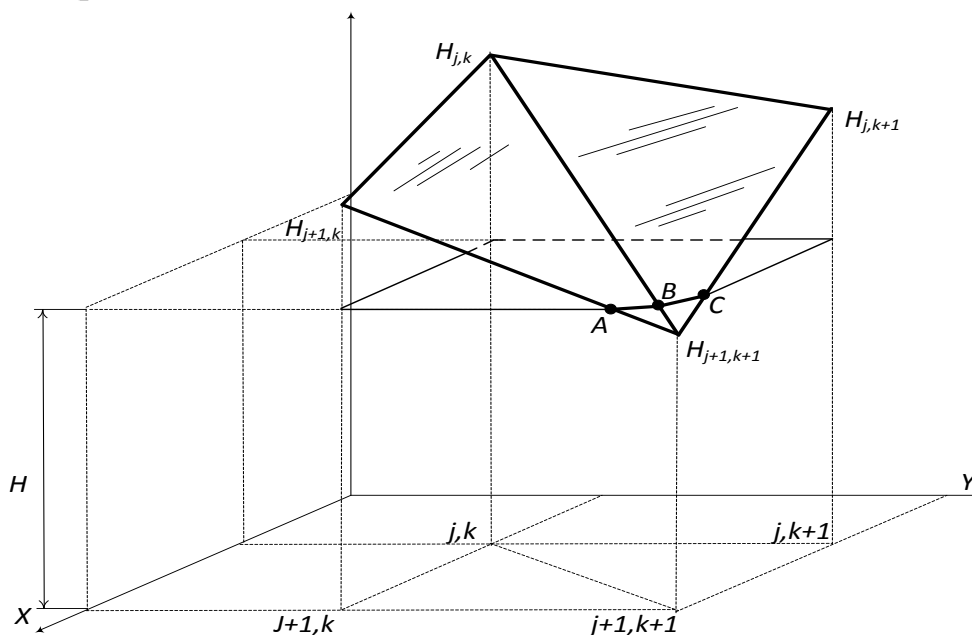


Рисунок 3 – Построение ломаной линии – следа пересечения тела секущей плоскостью

Ломаная линия  $ABC$  является результатом пересечения тела секущей плоскостью, где для всех точек плоскости  $H$ , треугольных граней,

образованных точками объемной фигуры:  $(x_{j,k}, y_{j,k}, h_{j,k})$ ,  $(x_{j+1,k}, y_{j+1,k}, h_{j+1,k})$ ,  $(x_{j+1,k+1}, y_{j+1,k+1}, h_{j+1,k+1})$ , для первой грани, и  $(x_{j,k}, y_{j,k}, h_{j,k})$ ,  $(x_{j,k+1}, y_{j,k+1}, h_{j,k+1})$ ,  $(x_{j+1,k+1}, y_{j+1,k+1}, h_{j+1,k+1})$ , для второй грани, где  $j=1,2,\dots, X_{\max.}/\Delta x$  и  $k=1,2,\dots, Y_{\max.}/\Delta y$  - индексы узлов разбивки тела по оси  $X$  и  $Y$ ;  $\Delta x$  и  $\Delta y$  - шаг разбивки по оси  $X$  и  $Y$ , соответственно. Значения координат, определяющих местоположения точек ломаной  $ABC$ , вычисляются с помощью следующих соотношений:

$$x_A = \frac{H - h_1}{h_2 - h_1} \cdot (x_2 - x_1) + x_1, \quad (1)$$

$$y_A = \frac{H - h_1}{h_2 - h_1} \cdot (y_2 - y_1) + y_1, \quad (2)$$

$$x_B = \frac{H - h_1}{h_3 - h_1} \cdot (x_3 - x_1) + x_1, \quad (3)$$

$$y_B = \frac{H - h_1}{h_3 - h_1} \cdot (y_3 - y_1) + y_1, \quad (4)$$

$$x_C = \frac{H - h_1}{h_4 - h_1} \cdot (x_4 - x_1) + x_1, \quad (5)$$

$$y_C = \frac{H - h_1}{h_4 - h_1} \cdot (y_4 - y_1) + y_1, \quad (6)$$

$$h_2 > H \cap h_3 > H \cap h_4 > H \cap h_1 < H, \quad (7)$$

или

$$h_2 < H \cap h_3 < H \cap h_4 < H \cap h_1 > H, \quad (8)$$

где  $(x_A, y_A, h_A)$ ,  $(x_B, y_B, h_B)$ ,  $(x_C, y_C, h_C)$  - координаты точек, образующих ломаную  $ABC$ ;

$(x_1, y_1, h_1)$ ,  $(x_2, y_2, h_2)$ ,  $(x_3, y_3, h_3)$ ,  $(x_4, y_4, h_4)$  - координаты узлов, образующих треугольные грани, с помощью которых аппроксимируется объемная фигура неправильной формы для рассматриваемого квадрата разбивки  $j, j+1$  и  $k, k+1$ .

Нумерация узлов устанавливается в соответствие с условием (1), (2). Индекс 1 присваивается тому узлу, который отсекается от остальных плоскостью уровня  $h=H$ . Остальные индексы (2, 3 и 4) присваиваются в произвольном порядке оставшимся трём узлам. В рассматриваемом примере, который изображён на рисунке 3, индекс 1 присваивается узлу  $(j+1; k+1)$ , индексы 2, 3 и 4 – узлам  $(j+1; k)$ ,  $(j; k)$  и  $(j; k+1)$ , соответственно;

Результат сложения полученных следов пересечения дискретных плоских треугольников, образующих поверхность рассматриваемого тела, имеет вид ломаной линии, которая образует замкнутый контур (рис. 4).

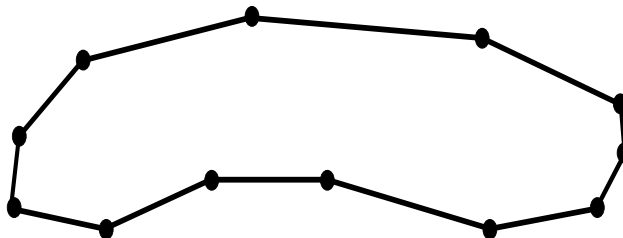


Рисунок 4 – Результат сложения полученных следов пересечения дискретных плоских треугольников

Полученные результаты позволяют определять геометрические характеристики сечения как аэродинамического профиля (рис. 5).

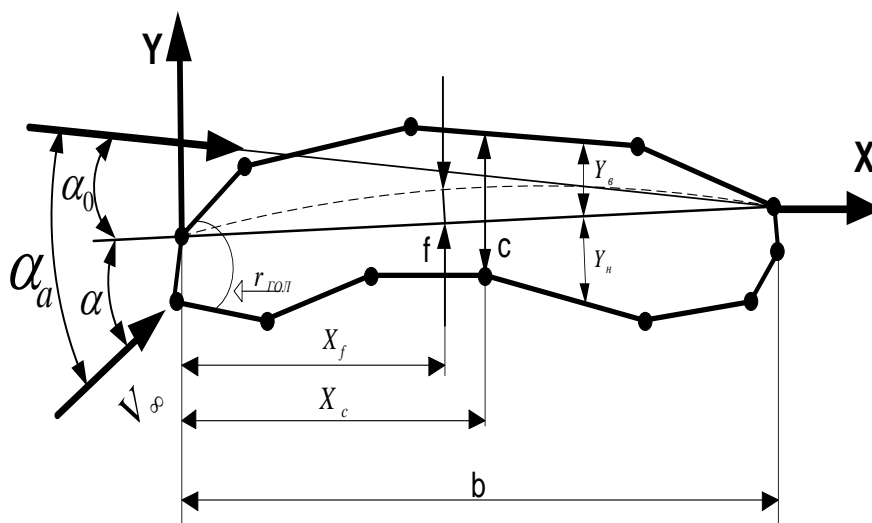


Рисунок 5 – Геометрические характеристики рассчитанного профиля сечения тела

**Выводы.** Предложенный подход, с помощью которого задаётся поверхность объёмных тел неправильной формы, позволяет унифицировать методику расчёта геометрических характеристик сечений этих тел. При данном подходе методика определения геометрии сечений не будет зависеть от формы поверхности тела, которое рассекается на элементы. Это позволит повысить эффективность исследований по учёту аэродинамических свойств элементов зерновых смесей при проектировании перспективных образцов зерноочистительных машин.

## Список использованной литературы

1. Тищенко, Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна [Текст] / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский. – Харьков: Міськдрук, 2010. – 174 с.
2. Заика, П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах [Текст]: практическое пособие / П.М. Заика. – К.: УСХА, 1998. – 631 с.
3. Скворцов, А.В. Триангуляция Делоне и её применение [Текст]: учебное пособие / А.В. Скворцов. – Томск: Изд – во Том. ун - та, 2002. – 128 с.
4. Землянский, А.В. Аэродинамика изолированного профиля и решетки профилей [Текст] / А.В. Землянский, В.М. Мартынов. – М.: МФТУ, 1983. – 22 с.
5. Егоров, В.В. Триангуляция – проблема расчёта [Текст] / В.В. Егоров // Т-Com - Телекоммуникации и Транспорт. – 2014. – Т. 8, №5. – С. 8 – 11.
6. Лукьяненко, В.М. Расчёт коэффициентов аэродинамических сил и моментов, действующих на семена растительных культур в потоке воздуха, методом плоских сечений [Текст] / В.М. Лукьяненко, А.А. Никифоров // Motrol – Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol 15, №7. – С. 98 – 103.
7. Лукьяненко, В.М. Метод расчёта аэродинамических сил и моментов, действующих на семена растительных культур движущихся по наклонной вибрирующей поверхности в потоке воздуха [Текст] / В.М. Лукьяненко, А.А. Никифоров // Вестник ХНТУСХ «Механизация сельскохозяйственного производства». – 2013. – Вып. 135. – С. 392 – 397.

## Анотація

### МЕТОД РОЗРАХУНКУ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄМНИХ ФІГУР НЕПРАВИЛЬНОЇ ФОРМИ

Лук'яненко В.М., Никифоров А.О., Галич І.В.

*У даній статті пропонується представляти об'ємні тіла неправильної форми як сукупність дискретних плоских елементів - трикутників. При даному підході методика визначення геометрії перерізів не буде залежати від форми поверхні тіла, що розсікається на елементи*

## Abstract

### THE METHOD OF CALCULATING THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THREE-DIMENSIONAL FIGURES OF IRREGULAR SHAPE

V. Lukyenko, A. Nikiforov, I. Galych

*This article is suggested to present three-dimensional body of irregular shape as a set of discrete planar elements - triangles. In this approach, the method of determining the geometry of the cross sections will not depend on the shape of the body surface, which is dissected into elements*