

**МЕТОД РАСЧЁТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ И МОМЕНТОВ,  
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СЕМЕНА РАСТИТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР  
ДВИЖУЩИХСЯ ПО НАКЛОННОЙ ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ  
В ПОТОКЕ ВОЗДУХА**

**Лукьяненко В.М., к.т.н., доц., Никифоров А.А.**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенко*

*В данной статье изложен способ вычисления аэродинамической силы и аэродинамического момента, которые действуют на тело в воздушном потоке. Для вычисления аэродинамических величин используется способ разбивки тела на аэродинамические профили, в которых определяются элементарная аэродинамическая сила и элементарный аэродинамический момент для случая плоского течения (рассматриваются только две координаты)*

**Постановка задачи.** Повышение эффективности процессов выделения семян трудноотделимых сорняков и примесей из полезной культуры в настоящее время продолжает оставаться актуальной задачей. В некоторых случаях на существующих воздушно – решетно – триерных и вибрационных зерноочистительных машинах выполнить очистку семян основной культуры без их значительных потерь невозможно [1, 2]. Поэтому изыскание новых рабочих органов семяочистительных машин для улучшения качества очистки семян имеет важное народнохозяйственное значение.

Как правило, основные параметры конструкции вибрационных зерноочистительных машин подбираются на основании приближённых математических моделей, описывающих процесс очистки, и ряда проверочных экспериментов, в которых определяются значения некоторых эмпирических (уточняющих) коэффициентов [3, 4].

**Анализ последних исследований.** 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. Как правило, влияние воздушного потока на семена авторы сводят лишь к силе аэродинамического сопротивления, хотя для более полной картины следует также учитывать ещё и подъёмную, боковую силы, а также аэродинамические моменты, вращающие тело (зерно) относительно его центра массы.

**Цель исследования.** Улучшения качества разделения семян на виброочистительных машинах путём учёта аэродинамического влияния движущегося воздуха на кинематические параметры движения зёрен.

**Основная часть.** Аэродинамические силы и моменты, действующие на

объёмное твёрдое тело при его обтекании несжимаемым потоком воздуха, возникают вследствие неравномерного распределения давления воздуха в пограничном слое, окружающем тело. Неравномерное распределение давления, в свою очередь, вызывается неравномерным распределением скорости потока вдоль поверхности тела, обуславливаемого, вследствие действия закона неразрывности, изгибом контура обтекаемого тела.

Если рассматривать случай обтекания объёмного тела, который показан на рис. 1, то результирующая аэродинамическая сила, приложенная в мгновенном центре давления, будет направлена под некоторым углом к потоку воздуха. Величина данного угла будет определяться соотношением величин подъёмной силы и силы аэродинамического сопротивления. Аэродинамический момент относительно начала выбранной системы координат, как правило, действует на уменьшение угла атаки тела, поворачивая его в соответствующем направлении.

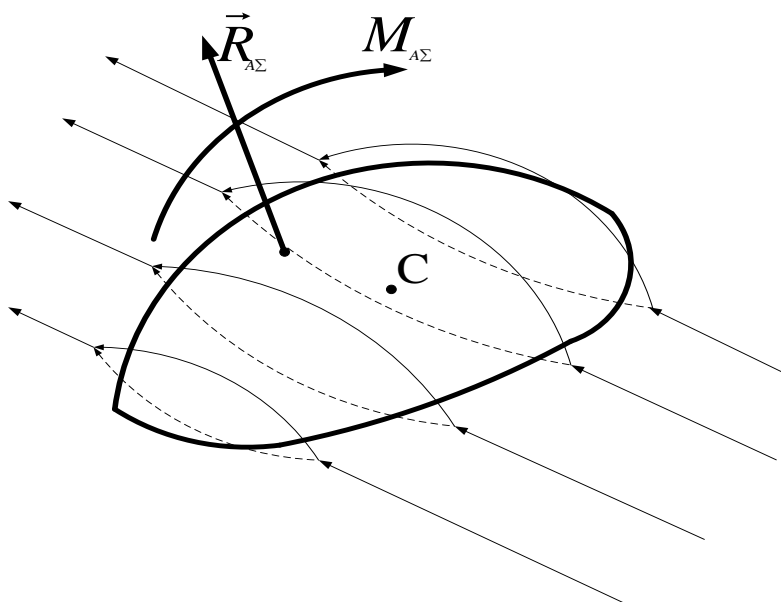


Рис. 1 – Действие аэродинамических сил и моментов на тело (зерно), находящееся в потоке

Для вычисления величин аэродинамической силы и аэродинамического момента, которые действуют на тело, можно использовать способ разбивки тела на аэродинамические профили. Для каждого профиля рассчитывается элементарная аэродинамическая сила и элементарный аэродинамический момент для случая плоского течения (рассматриваются только две координаты). При этом расчётная схема, принимаемая для каждого аэродинамического профиля, на которые разбивается рассматриваемое тело, приведена на рис. 2.

На рис. 2 величина  $\vec{R}_a$  есть результирующая сил давления и трения. Её называют полной аэродинамической силой, действующей на рассматриваемый аэродинамический профиль. Момент полной аэродинамической силы относительно передней кромки профиля, называется продольным моментом или аэродинамическим моментом тангажа  $M_z$ .

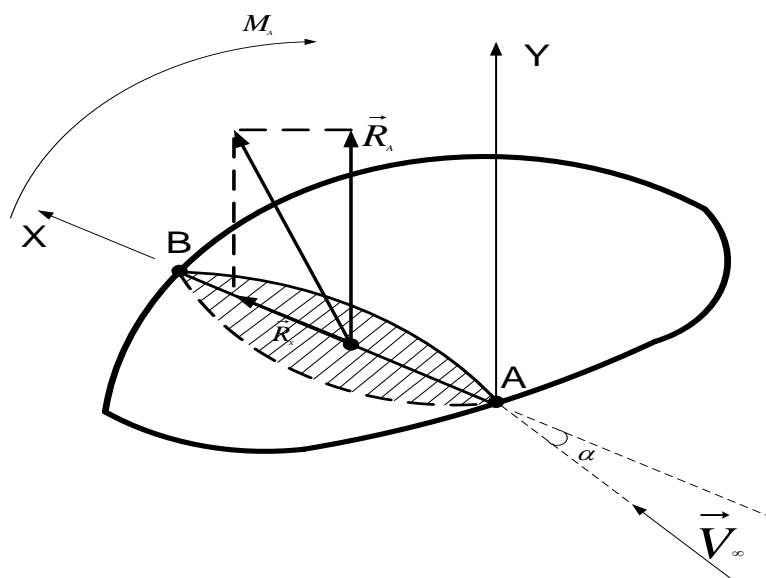


Рис. 2 – Расчётная схема для определения аэродинамических сил и моментов с использованием сечений

При теоретическом и экспериментальном исследованиях силового взаимодействия движущегося тела с окружающей его средой обычно рассматривается не результирующая сила  $R_a$ , а проекции этой силы на оси той или иной системы координат, выбираемой в зависимости от условий задачи. В аэродинамике чаще используются две системы координат: скоростная и связанная. При этом начало координат обычно совмещают с передней кромкой тела.

В скоростной системе координат проекции силы  $R_a$  обозначаются  $X_a$ ,  $Y_a$ , а в связанной –  $X$ ,  $Y$ .

Для плоского течения, которое рассматривается в нашем случае, аэродинамическая сила раскладывается на две составляющие:

$$R_a = \sqrt{X^2 + Y^2} \text{ или } R_a = \sqrt{X_a^2 + Y_a^2}, \quad (1)$$

В скоростной системе координат проекции силы  $R_a$  на направление, перпендикулярное к скорости невозмущенного потока, называется аэродинамической подъёмной силой  $Y_a$ , а проекция силы  $R_a$  на направление, противоположное движению тела – лобовым сопротивлением  $X_a$ .

В связанной системе координат силы  $Y$  и  $X$  называются аэродинамической нормальной и продольной силами, соответственно.

Составляющие силы в этих двух системах координат связаны между собой следующими зависимостями:

$$\begin{cases} Y = Y_a \cos \alpha + X_a \sin \alpha \\ X = X_a \cos \alpha - Y_a \sin \alpha \end{cases}, \quad (2)$$

или

$$\begin{cases} Y_a = Y \cos \alpha - X \sin \alpha \\ X_a = X \cos \alpha + Y \sin \alpha \end{cases} \quad (3)$$

Для определения сил  $X$  и  $Y$ , действующих на профиль, можно использовать приближённый метод расчёта аэродинамических характеристик профиля в зависимости от его относительных геометрических характеристик [4].

Момент от аэродинамической силы относительно передней кромки профиля (относительно начала принятой системы координат) может быть представлен как

$$M_z = -Y \cdot x_D = -(Y_a \cos \alpha + X_a \sin \alpha) \cdot x_D, \quad (4)$$

где  $x_D$  – абсцисса центра давления аэродинамического профиля.

В аэродинамике величины проекций аэродинамической силы на оси координат рассчитываются с использованием аэродинамических коэффициентов. При этом формулы для нормальной и продольной сил будут иметь следующий вид:

$$Y = C_y q S, \quad (5)$$

$$X = C_x q S, \quad (6)$$

где  $C_y, C_x$  – коэффициенты нормальной и продольной проекций аэродинамической силы;

$q = \frac{\rho V_\infty^2}{2}$  – скоростной напор, где  $\rho$  – плотность воздуха,  $V_\infty$  – скорость невозмущённого потока;

невозмущённого потока;

$S$  – характерная площадь.

В аэродинамике обычно берётся площадь крыла. В нашем случае будем рассматривать площадь проекции тела на плоскость  $OX_{и}Y_{и}$  инерционной системы координат.

Если обозначить коэффициент полной аэродинамической силы через  $C_{RA}$ , а коэффициент полного момента относительно передней кромки профиля через  $C_m$ , то

$$R_a = C_{RA} q S, \quad (7)$$

$$M_z = C_m q S b, \quad (8)$$

где  $b$  – условное плечо момента (обычно хорда профиля);

$C_{RA}$  – коэффициент полной аэродинамической силы;

$C_m$  – коэффициент полного момента относительно передней кромки.

Для аэродинамических коэффициентов, на основании (1) – (4), справедливо:

$$C_{RA} = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} = \sqrt{C_{xa}^2 + C_{ya}^2}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} C_y &= C_{ya} \cos \alpha + C_{xa} \sin \alpha \\ C_x &= C_{ya} \sin \alpha + C_{xa} \cos \alpha, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{cases} C_{ya} = C_y \cos \alpha - C_x \sin \alpha \\ C_{xa} = C_y \sin \alpha + C_x \cos \alpha, \end{cases} \quad (11)$$

$$C_m = -C_y \bar{x}_D, \quad (12)$$

где  $\bar{x}_D = x_D/b$  – относительная абсцисса центра давления профиля.

Аэродинамические коэффициенты  $C_{xa}$  и  $C_{ya}$  являются независимыми друг от друга величинами. На их основании, используя формулу (9), определяется величина коэффициента полной аэродинамической силы  $C_{RA}$ .

Коэффициент полной аэродинамической силы  $C_{RA}$ , а также его компоненты  $C_{xa}$  и  $C_{ya}$ , коэффициент момента  $C_m$  зависят от формы профиля, угла атаки критериев подобия  $R_e$ ,  $M$ , степени турбулентности потока и др. Этими коэффициентами удобно пользоваться, поскольку для динамически подобных течений они одинаковы и можно для практических расчётов использовать результаты экспериментальных исследований, проведенных ранее. Такие результаты приводятся в виде зависимостей для аэродинамических коэффициентов для различных относительных геометрических характеристик аэродинамических профилей при заданных критериях подобия  $R_e$  и  $M$ .

**Выводы.** Для расчёта аэродинамических коэффициентов использован метод разбивки обдуваемого зерна на элементарные аэродинамические профили с помощью плоскостей, сориентированных по потоку воздуха и располагающихся вертикально. Для каждого элементарного аэродинамического профиля, получаемого путём сечения рассматриваемого зерна соответствующей плоскостью, рассчитываются коэффициенты подъёмной силы и силы лобового сопротивления (поперечной и продольной сил), аэродинамического момента на основании ранее полученных результатов продувок типовых аэродинамических профилей при их различных относительных геометрических характеристиках. Общая аэродинамическая сила и момент, действующие на зерно в результате его обтекания потоком воздуха, рассчитываются путём суммирования аэродинамических сил и моментов, рассчитанных для элементарных аэродинамических профилей, на которые разбивается зерно (тело).

Предложенный метод целесообразно использовать для учёта аэродинамического влияния движущегося воздуха на кинематические параметры движения зёрен при разработке новых конструкций вибрационных зерноочистительных машин.

### Список использованной литературы

1. Тищенко Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна [Текст]: монография / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. 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. Мхитарян А.М. Аэродинамика [Текст]: учебное пособие / А.М. Мхитарян. – М.: Машиностроение, 1976. – 448 с.
4. Землянский А.В. Аэродинамика изолированного профиля и решетки профилей [Текст]: методические указания к лабораторным работам по курсу «Газодинамика лопаточных машин» /А.В Землянский, В.М. Мартынов. – М.: МФТУ, 1983. – 22 с.

### Анотація

#### **МЕТОД РОЗРАХУНКУ АЕРОДИНАМІЧНИХ СИЛ І МОМЕНТІВ, ЩО ДІЮТЬ НА НАСІННЯ РОСЛИННИХ КУЛЬТУР, ЯКІ РУХАЮТЬСЯ ПО ПОХИЛІЙ ВІБРУЮЧІЙ ПОВЕРХНІ В ПОТОЦІ ПОВІТРЯ**

Лук'яненко В.М., Никифоров А.О.

*У цій статті викладений спосіб обчислення аеродинамічної сили і аеродинамічного моменту, які діють на тіло в повітряному потоці. Для обчислення аеродинамічних величин використовується спосіб розбиття тіла на аеродинамічні профілі, в яких визначаються елементарна аеродинамічна сила і елементарний аеродинамічний момент для випадку плоскої течії (розглядаються тільки дві координати)*

### Abstract

#### **METHOD OF CALCULATION OF AERODYNAMIC FORCES AND MOMENTS, OPERATING ON SEED OF VEGETABLE CULTURES LOCOMOTIVE ON SLOPING VIBRATING SURFACE IN BLAST**

V. Lukianenko, A. Nikiforov

*In this article a method is expounded calculations of aerodynamic force and aerodynamic moment, that operate on a body in the current of air. For the calculation of aerodynamic sizes the method of laying out of body is used on aerodynamic profiles in that elementary aerodynamic force and elementary aerodynamic moment are determined for the case of flat flow (two coordinates are examined only)*