

### Список літератури

1. Витязь П. А. Теория и практика газоплазменного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко. – Минск : Наука, 1993. – 285 с.
2. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 196 с.
3. Радько І. П. Формування покриття композиційних контакт-деталей та дослідження на міцність зчеплення в процесі напылення / І. П. Радько // Праці ТДАУ. – 2013. – Вип. 13, т. 4. – С. 44–52.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОНТАКТНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*И. П. Радько*

*Аннотация. Представлены результаты исследования переходной зоны напыленных контактных материалов в результате восстановления контактных узлов электрических аппаратов.*

*Ключевые слова: контакт, переходная зона, напыление, покрытие, микроструктура.*

### STUDY OF TRANSITION ZONE METAL PLATING IN RECOVERY CONTACT ASSEMBLIES OF ELECTRICAL APPLIANCES

*I. Radko*

*Annotation. The research results of the transition zone of sprayed contact materials in the recovery of contact nodes of electrical apparatus are presented.*

*Key words: contact, transition zone, spraying, recovery, microstructure.*

УДК 631.362.3:631.1

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ НАСІННЯ У КВАЗІ-СТАЦІОНАРНОМУ ПОТОЦІ ПРИ ОПТИЧНІЙ СТИМУЛЯЦІЇ

*О. І. Романенко, асистент*

*Л. С. Червінський, доктор технічних наук*

*e-mail: lchervinsky@gmail.com*

*Анотація. Обґрунтовано параметри повітряного каналу і режими роботи пневмозмішувача. Розроблено математичну модель процесу перемішування насіння під час його передпосівної обробки.*

*Ключові слова: аеродинамічні параметри, режим роботи, процес опромінювання, насіння.*

Для обґрунтування параметрів повітряного каналу і режимів роботи пневмозмішувача, необхідно врахувати всі сили, які діють на насіння та епюри швидкостей повітряного потоку по перерізу каналу. Вони повинні відповідати турбулентному повітряному потоку достатньому для піднімання і обертання окремої насінини [2, 4, 6].

**Мета досліджень** – обґрунтування параметрів повітряного каналу та режиму перемішування насіння огірка в квазістаціонарному повітряному потоці в процесі оптичного опромінювання.

**Матеріали та методика досліджень.** У дослідженні використовуються закони та засоби дослідження аеродинамічних властивостей насіння при вільному падінні в повітряному середовищі.

**Результати досліджень.** У подібних задачах приймається ступеневий закон розподілення повітряного потоку по перерізу каналу. Тоді епюра швидкості повітряного потоку в каналі (рис.1) на відрізку  $0 \leq x \leq b_0$  опишеться рівнянням

$$\vec{V} = V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \vec{i}, \quad (1)$$

де  $b_0$  – відстань від осі каналу до стінки;

$\vec{i}$  – одиничний вектор по осі Y.

При такому законі розподілення швидкостей виникає градієнт  $\text{grad}V$  повітряного потоку, який приводить до виникнення бічних сил, що діють на насінину та приводять до її обертання.

При викиданні насінини у вертикальний повітряний потік, діючі на частинку сили можна звести до узагальнюючого вектора сил  $\vec{P}$  і головного моменту сил  $\vec{M}$ . Складовими силами узагальнюючого вектора, у нашому випадку, є сила тяжіння  $\vec{G} = m\vec{g}$ , сила опору повітряного потоку  $\vec{R}$  та бічні сили, одна з яких  $\vec{\Pi}_1$  – виникає від градієнта  $\text{grad}V$  повітряного потоку, який обтікає частинку, а інша  $\vec{\Pi}_2$  – виникає від обертання насінини, яка обтікається повітряним потоком (згідно з ефектом Магнуса). [1]

Для правильного вибору напрямку діючих сил і реалізації вищевказаного необхідно спільно розглядати графічний план швидкостей насінини і схему діючих сил.

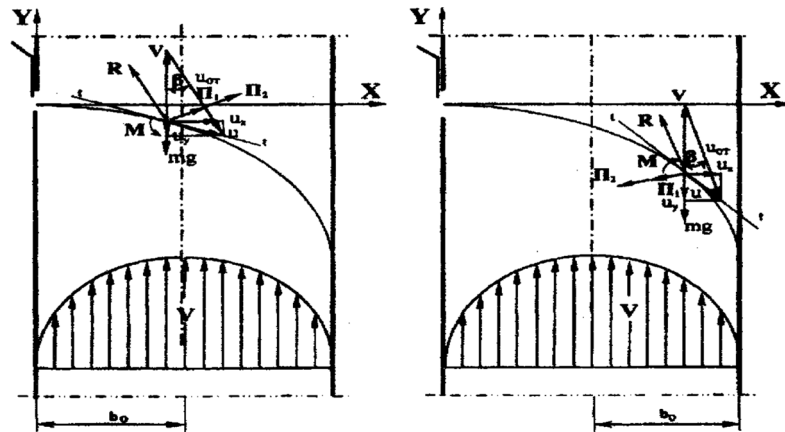
План швидкостей та схема сил, що діють на насінину, подано на рис. 1.

Сила опору повітряного потоку  $\vec{R}$  (сила реакції повітря) спрямована в бік, протилежний відносній швидкості насінини, а бокові сили спрямовані перпендикулярно відносній швидкості в напрямку, показаному на рис. 1.

Таким чином, відносну швидкість насінини в повітряному потоці на відрізку  $0 \leq x \leq b_0$  знайдемо з прямокутного трикутника плану швидкостей (рис. 1)

$$u_{\text{от}} = \sqrt{(V \pm u_y)^2 + u_x^2}. \quad (2)$$

Причому, якщо швидкість витання насінини більша за швидкість повітряного потоку й насінина падає вниз – поперед  $u_y$  ставиться знак «+», у протилежному випадку ставиться знак «-».



**Рис. 1. План швидкостей та схема сил, що діють на насінину в повітряному потоці:** – швидкість повітряного потоку; – швидкість насінини та її проєкції  $u_x$ ,  $u_y$  на осі координат;  $V$  – відносна швидкість насінини в повітряному потоці;  $t$  – дотична до траєкторії польоту насінини в розглянутій точці

Рівняння руху насінини у квазістаціонарному повітряному потоці по проєкціях на осі координат з урахуванням бокових сил і моменту сил, що діють на насінину, матиме вигляд:

$$\begin{aligned} & \text{—} \\ & \text{—} \\ & \text{—} \end{aligned} \tag{3}$$

де  $m$  – маса насінини;  $t$  – час;  
 $J$  – момент інерції насінини;  
 $\omega$  – кутова швидкість насінини;  
 $r$  – радіус-вектор від початку координат  $XOY$ , пов'язаний з насіниною,  $m$ ;  
 $\beta$  – кут, який визначає напрямок відносної швидкості насінини до напрямку зовнішнього потоку.

Оскільки насінина огірка не має сферичної форми, то її частота обертання буде набагато вища, ніж частота обертання кулястої насінини. А отже, кінематика й динаміка руху насінини в повітряному потоці будуть іншими, ніж у кулькової чи циліндроподібної насінини. Тому при виведенні системи рівнянь руху розглядаємо конкретно насіння огірка з його геометричними та аеродинамічними характеристиками. На рис. 2 зображено форму будови насінини огірка з її «міделевим» перетином  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$  по ортогональних площинах.

Унаслідок дії бічних сил у піднімаючому потоці повітря, насінина не може займати в ньому постійного та визначеного місця по відношенню до напрямку швидкості потоку. Орієнтація її в потоці буде постійно змінюватися. З цієї причини, буде змінюватися площа «міделевого» перерізу та коефіцієнт парусності. Основні розміри, «міделеві» перерізи та маса трьох типів насінин, з якими проводили дослідження, подані в табл. 1. При описуванні аеродинамічних властивостей насіння потрібно визначати коефіцієнт парусності перед коефіцієнтом аеродинамічного опору, тому що саме цей

показник є найбільш інформативним і фігурує в довідковій літературі по насінню. Тому силу опору визначаємо зі співвідношення [1, 3]

де  $k_n$  – коефіцієнт парусності, величина якого визначається експериментально для насіння всіх сільськогосподарських культур.

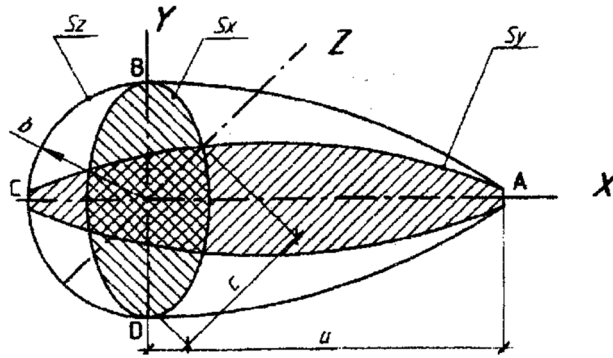


Рис. 2. Форма будови насінини огірка

Проекції сили опору  $R_x$   $R_y$  на осі координат визначаються виразами

Параметри	Одиниці вимірювання	Тип насінин		
		№ 1	№ 2	№ 3
		a	мм	7,17
b	мм	2,39	2,66	2,93
c	мм	2,81	3,1	3,56
$S_x$	мм <sup>2</sup>	10,55	12,95	16,38
$S_y$	мм <sup>2</sup>	21,1	25,93	32,91
$S_z$	мм <sup>2</sup>	35,81	44,5	54,17
$\tau$	г	0,047	0,058	0,070

Проекція відносно швидкості насінини на осі  $x$  та  $y$  визначається з плану швидкостей (рис. 1) із урахуванням значення швидкості потоку за виразом

$$; \tag{7}$$

$$- \tag{8}$$

Силу опору в розгорненому вигляді визначаємо з відношення (8), підставляючи значення відносної швидкості насінини в повітряному потоці з виразу (4).

Таким чином, у силу опору визначаємо зі співвідношення

$$- \tag{9}$$

Величина бічних сил, що діють на насінину, відповідно до теореми Н. Е. Жуковського, пропорційна відношній швидкості набігаючого потоку  $\vec{u}_{от}$  та циркуляції  $\Gamma$ , тобто

$$\vec{\Pi} = \rho \vec{u}_{от} \Gamma. \quad (10)$$

де  $\rho$  – густина повітря.

Циркуляція швидкісного поля визначається криволінійним інтегралом

$$\Gamma_1 = \oint u_{0x} dx + u_{0y} = \int_0^{2\pi} \{u_{0x}[x(\alpha), y(\alpha)]\dot{x}(\alpha) + u_{0y}[x(\alpha), y(\alpha)]\dot{y}(\alpha)\} d\alpha. \quad (11)$$

де  $u_{0x}$ ,  $u_{0y}$  – проекція відносної швидкості насінини;

$\alpha$  – кутова координата точки контуру обтікання (кут Ейлера, кут повороту насінини).

Циркуляцію швидкості  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  повітряного потоку по контуру насінини огірка визначаємо криволінійним інтегралом за методикою Ф. Г. Зуєва [1, 3] для випадку циркуляції швидкості:

$$\Gamma_1 = C \frac{\pi}{2} (a^2 + b^2) = \frac{\pi V_{\max}}{14 b_0^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2) \quad (12)$$

$$\Gamma_2 = \pi (a^2 + b^2) \omega. \quad (13)$$

Тоді з рівняння (10), підставляючи значення проекції відношніх швидкостей насінини (8), (9) та циркуляції швидкості  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  повітряного потоку (12), (13) отримуємо значення проекцій бокових сил відповідно на осі координат

$$\Pi_{1x} = \frac{\rho \pi}{14} (a^2 + b^2) \frac{V_{\max}}{b_0^{1/7} x^{6/7}} \left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]; \quad (14)$$

$$\Pi_{1y} = \frac{\rho \pi}{14} (a^2 + b^2) \frac{V_{\max}}{b_0^{1/7} x^{6/7}} u_x; \quad (15)$$

$$\Pi_{2x} = \pi \rho (a^2 + b^2) \omega \left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]; \quad (16)$$

$$\Pi_{2y} = \pi \rho (a^2 + b^2) \omega u_x. \quad (17)$$

Оскільки напрямки дії сил проходять через центр маси насінини то величина моменту, що діє на насінину визначається силою аеродинамічного опору та плечем її прикладання відносно центра мас.

З урахуванням значення сили опору (9) сумарний момент сил, що діє на насінину дорівнює

$$M = l_c R = l_c m k_n \left\{ \left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]^2 + u_x^2 \right\}, \quad (18)$$

де  $l_c$  – плече сили опору відносно центру мас насінини.

З векторної системи рівнянь (4) з урахуванням значень проекцій сил опору (5) і (6), проекцій відношніх швидкостей насінини (7), (8), проекцій бічних сил на осі координат (14) – (17) та моменту сили опору (18) отримуємо систему рівнянь руху насінини в проекціях на осі координат для першої половини каналу, що буде записано нижче.

При потраплянні насінини у верхню частину потоку (зміна координати центра маси насінини  $x > b_0$ ) деякі сили змінюють свій напрямок (рис. 2) тому в рівняннях (10) перед виразом цих сил знак повинен бути змінений на протилежний. Змінюється напрямок складових  $\Pi_{1x}$  та  $\Pi_{2x}$  бічних сил. Проекція сили  $\vec{\Pi}_2$  на вісь  $Y$  змінює знак при зміні напрямку кутової швидкості

або знака проекції відносної швидкості на вісь X, а проекція  $\vec{\Pi}_2$  на вісь X змінює знак при зміні знака  $\omega$ . Напрямок моменту сил при  $x > b_0$  змінюється на протилежний, напрямок сили опору, що діє впродовж осі X, визначається знаком  $u_x$ . на відрізку  $b_0 < x < 2b_0$  необхідна швидкість повітряного потоку описується рівнянням

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{du_x}{dt} = -k_n \sqrt{\left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]^2 + u_x^2} u_x + \\ + \frac{\rho}{m} \frac{\pi V_{\max}}{14 b_0^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2) \left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right] + \\ + \frac{\rho}{m} \pi (a^2 + b^2) \omega \left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]; \\ \frac{du_y}{dt} = k_n \sqrt{\left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]^2 + u_x^2} + \left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right] + \\ + \frac{\rho}{m} \frac{\pi V_{\max}}{14 b_0^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2) u_x + \frac{\rho}{m} \pi (a^2 + b^2) \omega u_x - g; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{l_c m}{J} k_n \left\{ \left[ V_{\max} \left( \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]^2 + u_x^2 \right\}. \end{array} \right. \quad (19)$$

$$\vec{V} = V_{\max} \left( 1 - \frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \vec{i} \quad (20)$$

Початкові умови рішення даного рівняння для забезпечення квазі-стаціонарного повітряного потоку для рівномірного перемішування насіння повинні бути такими

$$t=1, x=0, y=0, u_x=u_{xH}, u_y=u_{yH}, \omega_H=0.$$

### Висновки

1. Обґрунтовано й досліджено математичну модель руху насінини огірка в повітряному потоці, на основі якої встановлені співвідношення геометричних та аеродинамічних параметрів окремо взятих насінин, що уможлиблює обґрунтування параметрів роботи вентиляційної установки для створення квазістаціонарного повітряного потоку в масі насіння для його рівномірного перемішування під час передпосівної оптичної стимуляції.

2. У результаті численних дослідів математичної моделі, оптимізовано такі параметри: довжину вентиляційного каналу та технологічні режими: кут і швидкість обертання насінини, швидкість повітряного потоку залежно від виду насіння.

### Список літератури

1. Безручкин И. П. Исследование аэродинамических свойств семян методом свободного падения в воздушной среде / И. П. Безручкин // Сельскохозяйственная машина. – 1936. – № 1. – С. 22–31.

2. Бутаков С. Е. Воздуховоды и вентиляторы. Аэродинамика вентиляторных установок / С. Е. Бутаков // М.-Свердловск : Машгиз, 1958. – 350 с.

3. Гортинский В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Колос, 1980. – 304 с.

4. Дзядзио А. М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А. М. Дзядзио, А. С. Кеммер. – М. : Колос, 1967. – 295 с.

5. Зуев Ф. Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф. Г. Зуев. – М. : Колос, 1976. – 344 с.

6. Летошнев М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчёт, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – М.-Л. : Сельхозлит., 1955. – 764 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СЕМЯН В КВАЗИ-СТАЦИОНАРНОМ ПОТОКЕ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ**

*А. И. Романенко, Л. С. Червинский*

*Аннотация. Обоснованы параметры воздушного канала и режимы работы пневматического смесителя. Разработана математическая модель процесса перемешивания семян при их предпосевной обработке.*

*Ключевые слова: аэродинамические параметры, режим работы, процесс облучения, семена.*

## **SIMULATION OF MIXING OF SEED IN THE QUASI-STEADY-STATE FLOW UPON OPTICAL STIMULATION**

*A. Romanenko, L. Chervinskiy*

*Annotation. The parameters of the air channel and modes pnevmozmishuvacha. A mathematical model of the process of mixing the seeds with the preplant seed treatment.*

*Key words: aerodynamic parameters, operation mode, irradiation process, the seeds.*

УДК 681.513

## **АНАЛІТИЧНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІД-РЕГУЛЯТОРІВ**

*Ю. В. Шуруб, кандидат технічних наук  
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

*Анотація. Проведено дослідження та обґрунтування можливостей застосування аналітичних методів визначення параметрів налаштування регуляторів систем автоматичного керування технологічними процесами. Визначено області застосування різних типів регуляторів.*

© Ю. В. Шуруб, 2015