

обслуговування апаратів переробної промисловості, а також повинні проектувати та розробляти сучасні технології з використанням найновіших інформаційно-програмних засобів, робототехнічних новинок (1), володіти та вміти використовувати фундаментальні знання з комп'ютерних технологій, моделювання складних комп'ютерних та робототехнічних систем, їх оптимізації, навички з ІТ-технології (2).

Підготовка спеціаліста повинна об'єднати елементи робототехніки, інженерної графіки, 3D моделювання, програмування (зокрема об'єктно-орієнтованого), дизайну (як інженерного мистецтва), електроніки, математичні та механічні розрахунки тощо. Методологія цього питання складається із таких етапів, як постановка проблеми, обговорення, дизайну проекту, будови, тестування й розвитку-проективання. У свою чергу, такий підхід через вивчення й застосування науки й технології, творчості та дизайну створює безліч нових інноваційних проектів.

Таким чином, сьогодні студент, а завтра спеціаліст переробної промисловості за допомогою роботизації, як головного орієнтира в роботі цієї галузі розвине перехід від пропозиції окремих машин до розробки і випуску комплексів машин з роботизовано системою, ліній, які комплексно вирішують питання використання сільхозсировини, скорочення втрат при її переробці, зберіганні, доставці продукції. Впровадження в переробній та харчовій промисловості маніпуляторів, машин і обладнання, що управляється з допомогою мікропроцесорної техніки, стає вже сьогоднішнім.

#### **Список літератури:**

1. Мітяшкіна Т. Ю. Інтерактивне навчання у сфері нарисної геометрії, інженерної і комп'ютерної графіки // Теорія та методика навчання та виховання. - 2012. - Вип. 32. - С. 107-115. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkhnpu\\_ttmniv\\_2012\\_32\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkhnpu_ttmniv_2012_32_14).

2. Мітяшкіна Т. Ю. , Лук'янов І.М. Конкурс студентських робіт із STEAM проектів [Електронний ресурс]. <http://www.khntusg.com.ua/uk/node/1548>

3. Ігор Старенький. Що таке STEAM-освіта і чому вона така популярна [Електронний ресурс]. <https://life.pravda.com.ua/columns/2019/03/26/236224/>

**УДК 631.362.36**

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯНЬ ТУРБУЛЕНТНОГО РУХУ ПНЕВМОВИХРЕВОГО СЕРЕДОВИЩА В КОНІЧНІЙ АСПІРАЦІЙНІЙ КАМЕРІ СЕПАРАТОРА**

**Степаненко С. П., д.т.н., с.н.с., Попадюк І. С., пров. інженер**

*(Національний науковий центр «Інститут механізації та  
електрифікації сільського господарства»)*

Рівняння турбулентного руху будуються на основі рівнянь Нав'є-Стокса за допомогою усереднення [1-3, 8-9]: по ансамблю, за часом, простором.

При усереднених швидкостях, тиску і прискорення можна записати:

$$u = \bar{u} + u', \quad v = \bar{v} + v', \quad w = \bar{w} + w', \quad p = \bar{p} + p',$$

Якщо записати дельта Кронекера, то можна скласти рівняння турбулентного руху середовища у вигляді Рейнольдса:

- у векторній формі:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \nabla \mathbf{u}) = \nabla \cdot (-p \delta_{ij} + \mathbf{K}) + \mathbf{F},$$

- у координатній формі:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \left( u \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) = \frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial (K_x)}{\partial x} + \frac{\partial (K_x)}{\partial y} + \frac{\partial (K_x)}{\partial z} + F_x,$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho \left( v \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) = \frac{\partial p_y}{\partial x} + \frac{\partial (K_y)}{\partial x} + \frac{\partial (K_y)}{\partial y} + \frac{\partial (K_y)}{\partial z} + F_y,$$

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho \left( w \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right) = \frac{\partial p_z}{\partial x} + \frac{\partial (K_z)}{\partial x} + \frac{\partial (K_z)}{\partial y} + \frac{\partial (K_z)}{\partial z} + F_z,$$

де  $\mathbf{F}$  - вектор зовнішніх сил;  $\mu_T = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$  - турбулентна в'язкість;  $\varepsilon = \varepsilon_p$  - коефіцієнт турбулентної дисипації;  $c_\mu$  - теплоємність дисипації кінетичної енергії;  $T$  - відноситься до турбулентної складової потоку.

До даних рівнянь необхідно додати рівняння нерозривності [4-7]:

- у векторній формі:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

- у координатній формі:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0$$

Для вирішення наведеної системи рівнянь, необхідно додати три додаткових диференціальних рівнянь зв'язку: кінетичної енергії розсіювання, турбулентної стисливості середовища і зміни тиску турбулентної складової.

Чисельне рішення рівнянь в часткових похідних з використанням методу скінченних елементів (FEM) дозволяє отримати розподіл компонент швидкостей і тисків в турбулентному потоці вихрового середовища.

При цьому до наведених рівнянь необхідно додати граничні і початкові умови. В граничні умови входять всі геометричні параметри досліджуваної області і вихідні значення режимів руху на виходах (outlet) і входах (inlet), а також кінематичні умови рухомих і нерухомих поверхонь і умови ковзання по ним досліджуваного середовища. Ці граничні параметри визначають умови перебігу для конкретного завдання [8-9].

Граничні умови на стінці обертальної тарілки були прийняті у вигляді ковзного контакту з в'язким прилипанням (noslip), який описувався функціями:

$$u_{dx} = \Phi w_{dx}; \quad u_{dz} = \Phi w_{dz}; \quad u_{dy} = 0,$$

де  $\Phi$  - коефіцієнт в'язкого прилипання.

Щільність середовища на виході з верхньої частини конуса:  $\rho_0 = 1,345 \text{ кг/м}^3$ . Статичний тиск в нижній частині виходу з конуса  $P_{out2} = 100000 \text{ Па}$ , і щільність виходячого потоку  $\rho_H = 2,995 \text{ кг/м}^3$ .

Параметри всмоктуваного в конус через сопла повітря (рис. 1):  $P_{inl} = 100000 \text{ Па}$ , густина повітря  $\rho_{inl} = 1 \text{ кг/м}^3$ , інші параметри відповідно до вбудованих моделей середовищ: повітря і двофазної суміші повітря з твердими зернівками.



Рисунок 1 – Схема перфорованого конуса з обертальним робочим органом (диском)

Початкові умови:  $\mathbf{u}|_{t=0} = 0$ ,  $p|_{t=0} = 100000 \text{ Па}$ ,  $T = 273 \text{ К}$ .

Реалізація чисельного рішення з використанням методу скінченних елементів проводилася в середовищі ComsolMultiphysics з використанням пакета Fluid Flow і підпаketу Turbulent Flow (k -e) (рис. 2).

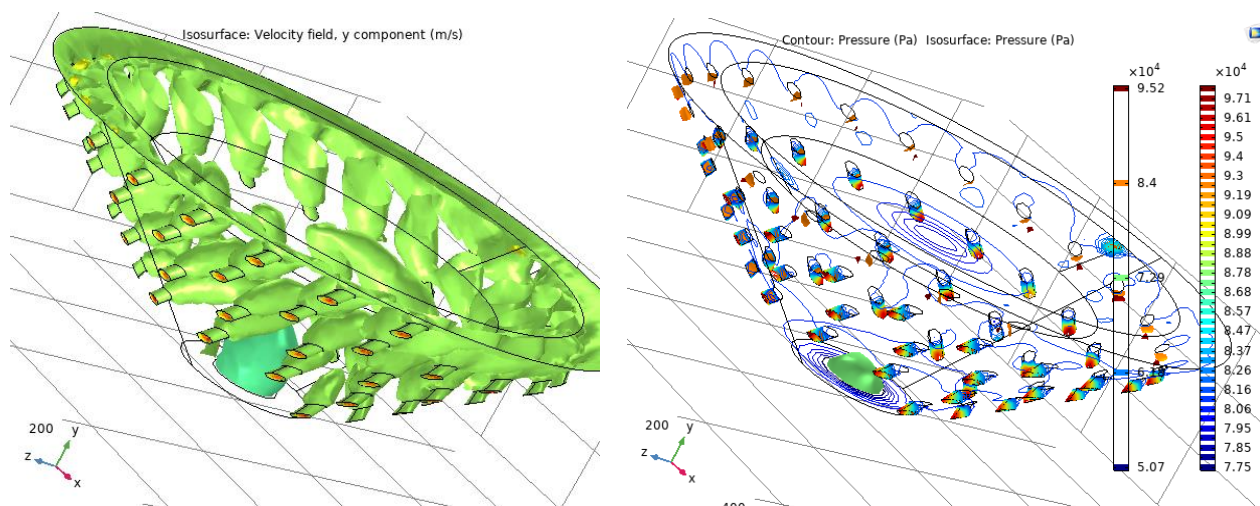


Рисунок 2 - Графічна інтерпретація розподілу вектора швидкості  $\mathbf{u}_y$  (а) та графічна інтерпретація розподілу тиску в конічній пневмовихровій аспіраційній камері (б) за умов  $G_0 = 0.06 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $U_0 = 6.3 \text{ м/с}$

Таким чином, сформульована математична модель у вигляді системи рівнянь та на основі аналізу дії сил на зернівку, яка переміщується у сипкому пневмовихровому середовищі за умови того, що зернівка здійснює обертальний

рух і одночасні гармонічні коливання у вертикальній площині, отримана графічна інтерпретація розподілу вектора швидкості та розподілу тиску. Проведено математичне моделювання руху сипкого пневмовихрового середовища, що дало змогу визначити раціональні параметри пневмовихрової камери: кути нахилу струменів до осей координат; нормальні складові розподіленої швидкості впадаючого потоку; діаметр робочого органу та пневмовихрової камери.

### Список літератури

1. Stepanenko S.P., & Kotov B.I. **2020**. Pneumonitis fractionation of grain materials in air streams of variable structure. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. Vol.11, No 1, 127-132 **DOI:**<https://doi.org/10.31548/machenergy.2020.01.127-132>

2. Stepanenko S. **2012**: Osobennosti modelirovaniya processov separacii zerna v uslovijah zernotoka hozjajstva / S. Stepanenko // Motrol, Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Vyp. 3, t. 14. – 148–157.

3. Stepanenko S.P., & Kotov B.I. **2018**. Pneumonitis Fractionation of Grain Materials in Air Streams of Variable Structure. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2. p. 69-74.*

4. Rogovskii, I., Titova, L., Trokhaniak, V., Trokhaniak, O., Stepanenko S. **2020**. Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. 2020. Vol. 13(62). N.1. pp.117-128. **DOI:**[10.31926/but.fwi.2020.13.62.1.11](https://doi.org/10.31926/but.fwi.2020.13.62.1.11)

5. Rogovskii I.L., Stepanenko S.P., Novitskii A.V., Rebenko V.I. **2020**. The mathematical modeling of changes in grain moisture and heat loss on adsorption drying from parameters of grain dryer. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 548 (2020) 082057. Vol. 13. pp.1-7.

**DOI:**<https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082057>

6. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Solomka O.V., Popyk P.S., Stepanenko S.P., Shvidia V.O. **2019**. Experimental studies on drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH - Agricultural Engineering* . Jan-Mar 2019, Vol. 57 Issue 1, p141-146. 6p.

7. Rogovskii, I., Titova, L., Trokhaniak, V., Trokhaniak, O., Stepanenko S. **2019**. Experimental study in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. *In: Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, vol. 12 (61), No. 1 – 2019. pp. 117-128.

8. Степаненко С.П., Котов Б.І. **2020**. Основні теоретичні положення сепарації зернового матеріалу в повітряних каналах з нерівномірною швидкістю повітряного потоку Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 50. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – С. 122-133.

**DOI:**<https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.122-133>

9. Степаненко С.П., Котов Б.І. 2021. Теоретичне визначення закономірностей плоского руху зернівки в нерівномірному повітряному потоці горизонтального пневмоканалу аеродинамічного сепаратора Механізація та електрифікація сільського господарства: [Загальнодержавний збірник]. – 2021. - Вип. №13 (112). / [ННЦ“ІМЕСГ”]. – Глеваха, 2021. – С. 106-115.

DOI:<https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-13-11>

УДК 631.928

## АНАЛІЗ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ СОНЯШНИКА ДЛЯ СІВБИ НА БАЗІ ТОВ «ЗОРЯ»

Колодій О.С., к.т.н., доц., Іващенко О.А., бакалавр

*(Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного)*

Для забезпечення високих та стійких зборів якісної промислової сировини олійних культур та освоєння нових сортів за 3-5 років необхідно удосконалити систему насінництва, прискорити переведення його на промислову основу, Ефективність удосконалення та розробки технічних засобів та технологій виробництва промсировини та методів оцінки якостей насіннєвого матеріалу значною мірою залежить від комплексної розробки питань насіння, пов'язаних з біологічними та фізико-механічними властивостями насіння.

Знання фізико-механічних властивостей насіння має велике практичне значення. Їх величини та межі мінливості залежать від біологічних особливостей, культури та умов вирощування.

Фізико-механічні властивості сім'янок соняшнику у зв'язку з їхньою технологічною оцінкою. Через нераціональну переробку має косіння високоолійних сортів соняшника щорічно втрачається близько 70 тис. тонн олії, оскільки відбувається адсорбція олії плодовою оболонкою. Однією з причин є відставання рівня технології переробки промсировини від результатів робіт селекціонерів на підвищення олійності сім'янок нових сортів.

В результаті селекції технологічні властивості сировини змінилися за характером руйнування та відділення лушпиння. Перед технологами постали два питання: пошук можливості поділу сировини до обрушення на три типи; виявлення - можливості пред'явлення вимог до селекціонерів про зменшення ступеня неоднорідності насіння за технологічними властивостями [1-4].

Розміри насіння соняшнику знаходяться в межах: довжина 5-25 мм; ширина 4,3-10 мм; товщина 4-7 мм в залежності від сорту насіння і агротехнічних умов. Маса 1000 насінин соняшнику знаходиться в межах 40-100г в залежності від сорту і умов вирощування. В. В. Белобородов, провівши дослідження, показав, що критична швидкість насіння соняшнику в залежності від абсолютної маси і розмірів насінин знаходиться в межах 3,2-8,9 м/с. Також