

УДК 631.362.36:51

## МЕХАНІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ В РОТАЦІЙНОМУ РОЗКИДАЧІ ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВОГО ПРИСТРОЮ

**А. Прилуцький**, канд. техн. наук,  
*ННЦ «ІМЕСГ»*

*У статті наведено результати теоретичних досліджень руху зернової суміші в ротаційному розкидачі пневмовідцентрового пристрою пневмовібрівідцентрових сепараторів зерна нового покоління.*

**Ключові слова:** *зернова суміш, коефіцієнт тертя, сегрегація, сепарація, оптимальні параметри.*

**Суть проблеми.** В широкорозповсюджених універсальних вібровідцентрових сепараторах типу БЦС застосовуються кільцеві пневмосепарувальні канали, які очищають зернову суміш від домішок за їх аеродинамічними властивостями перед постачанням на вібровідцентрові решета. Для введення зернової суміші в пневмосепарувальний канал застосовують ротаційний розкидач [1], привід якого здійснюється безпосередньо від ротора решітної частини, що спрощує конструкцію пневмосепарувального пристрою і підвищує надійність сепаратора.

Широкими дослідженнями [2, 3, 4] доведено, що розкидач повинен забезпечувати введення зернового матеріалу в пневмосепарувальний канал з заданими швидкістю і напрямком тонким шаром, який створюється розкидальною поверхнею і рівномірно розподіляється вздовж верхньої крапки розкидача, що забезпечує шорстка конічна поверхня з приводом від редуктора, а це призводить до ускладнення конструкції і зниження надійності сепаратора.

В безредукторному розкидачі швидкість обертання обмежена швидкістю обертання решітного ротора, а його розміри – розмірами пневмосепарувального каналу, що обумовило необхідність обґрунтування форми і параметрів такого розкидача, який задовольняв би вищевказаним вимогам. Як розкидач в сепараторах [1] застосовують ротаційний розкидач, який включає напрямний і розкидний конуси, між поверхнями яких встановлені радіально вертикальні лопатки, висота яких нижча розкидного конуса [5]. Використання методики розрахунку такого розкидача [4] не дозволяє забезпечити значне збільшення його продуктивності з дотриманням якості живлення пневмосепарувального каналу і використанням кінематичного режиму решітного ротора сепаратора, що є актуальним питанням, вирішення якого дозволить створити новий сепаратор з

продуктивністю блока (модуля) більшою в два рази в порівнянні з блоком відомих сепараторів, чого вимагає сільськогосподарське виробництво.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спроба удосконалити ротаційний розкидач до вібровідцентрових зернових сепараторів [6] за рахунок використання його розкидаючої поверхні з твірною, рівняння якої прийнято у вигляді:

$$z = A\rho^2 + B\rho,$$

де  $z$ ,  $\rho$  – відповідно вертикальна і горизонтальна координати точок твірної,  $A$  і  $B$  – постійні коефіцієнти.

Приведена механіко-математична модель такого розкидача дозволяє розраховувати його параметри в залежності від фрикційних властивостей зернової суміші і умов введення її в пневмосепарувальний канал. Але такий розкидач не спроможний забезпечити необхідну кількість подачі зернової суміші в пневмосепарувальний канал, що не відповідає вимогам збільшення продуктивності блока (модуля) сепаратора в два рази.

Дослідження [7] з обґрунтування параметрів дискового розподільника зерна для пневмосистеми з вертикальним кільцевим аспіраційним каналом були направлені на удосконалення блока (модуля) вібровідцентрових сепараторів зерна типу БЦС (вібровідцентрової машини первинного очищення МЗП-25). Результати досліджень забезпечили покращення якості сепарування з продуктивністю машини до 12 т/год і збільшенні її габаритів – висоти, що є неприйнятним для поставленої задачі.

Проведені дослідження і розроблення нової моделі пневмосепаруючої частини вібровідцентрового сепаратора [8,9] підтвердили можливість покращення якості пневмосепарування за рахунок виконання розкидальної конічної поверхні розкидача з гуми і відсутності на ньому лопаток, але продуктивність розкидача збільшити в два рази виявилось неможливим.

Дослідження з підвищення ефективності пневмовідцентрового сепаратора [10] за рахунок виконання розкидача з лопатками, встановлених в кілька рядів з різними кутами нахилу забезпечили незначне покращення якості сепарування при значному збільшенні висоти циліндричного кільцевого пневмосепарувального каналу.

Пропозиції [11, 12] щодо деяких змін конструкції розкидачів пневмосепарувальних каналів вібровідцентрових сепараторів, не задовольняють вимог як з покращення якості, так і зі збільшення їх продуктивності.

Запропонована конструкційно-технологічна схема сепаратора зерна [13], яка покладена в основу обґрунтування конструкційно-технологічної схеми зерночисного модуля універсальних сепараторів зерна нового покоління [14], використана в дослідно-конструкторській роботі зі створення такого модуля (блока) продуктивністю 50 т/год. Виробничі випробування підтвердили його ефективність в порівнянні з модулем (блоком) серійних

сепараторів типу БЦС: підвищена продуктивність в два рази та покращення якості сепарування.

Разом з тим, конструкція ротаційного розкидача сепаратора [13] також має вертикальні лопатки, встановлені за зоною ділянки диска, на який надходить зернова суміш, що не відповідає оптимальному транспортуванню зернової суміші від центра розкидача до верхньої крайки розкидальної конічної поверхні і не в повній мірі зменшує вплив контактування захоплюючих крайок з зернівками на їх травмування.

**Мета дослідження** – подальше удосконалення конструкційно-кінематичних параметрів і режимів роботи ротаційного розкидача пневмовідцентрового пристрою пневмовібровідцентрових сепараторів зерна нового покоління.

**Результати дослідження.** Удосконалена конструкційна схема ротаційного розкидача пневмовідцентрового пристрою і його зображення представлені на рис. Розкидач являє собою диск 2 на якому встановлений конус 1 напрямний розподільний, конус 3 розкидний та лопатки 4, крайки яких в зоні над поверхнею конуса 3 розміщені на відстані  $\delta$ . Внутрішня поверхня конуса 3 розкидного виконана з гуми.

Рух зернової суміші по поверхні горизонтального диска моделюється диференціальними рівняннями руху частинки в полярній системі координат:

$$\begin{aligned} \ddot{\rho} - \rho(\omega - \dot{\varphi})^2 &= -f_1 g \frac{\dot{\rho}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2 \dot{\varphi}^2}}; \\ \rho \ddot{\varphi} - 2\dot{\rho}(\omega - \dot{\varphi}) &= -f_1 g \frac{\rho \dot{\varphi}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2 \dot{\varphi}^2}}; \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання диска;

$\rho$  – радіальна координата, відстань від осі обертання диска до частинки;

$\varphi$  – кутове переміщення частинки в її відносному русі по поверхні диска;

$f_1$  – коефіцієнт тертя частинки по поверхні диска;

$g$  – прискорення земного тяжіння.

Початкові умови розв'язання системи рівнянь(1): при  $t=0$ ;  $\dot{\rho} = v_0$ ;  $\dot{\varphi} = 0$ . Кінцевою умовою є досягнення частинкою поточної радіальної координати  $\rho = r_d$ .

Подальший рух зернової суміші по поверхні диска 2 з встановленими на ньому радіально вертикальними лопатками моделюється рівнянням руху частинки вздовж лопатки:

$$\ddot{\rho} = \rho(\omega - \dot{\phi})^2 = f_1(g + 2\omega\dot{\rho}). \quad (2)$$

Кінцевою умовою є досягнення частинкою поточної радіальної координати  $\rho = r_{\text{дв}}$ , що є початковою умовою її руху по внутрішній конічній поверхні конуса 3, яка виконана з гуми і має коефіцієнт тертя зерна по ній  $f_2 > f_1$ .

Вплив стінки лопатки 4 на рух нижнього шару зернової суміші товщиною  $\delta$  зникає завдяки розміщенню нижньої крайки лопатки над поверхнею конуса 3.

Диференційні рівняння абсолютного руху частинки при абсолютній кутовій швидкості:

$$\theta = \omega - \dot{\phi} \quad (3)$$

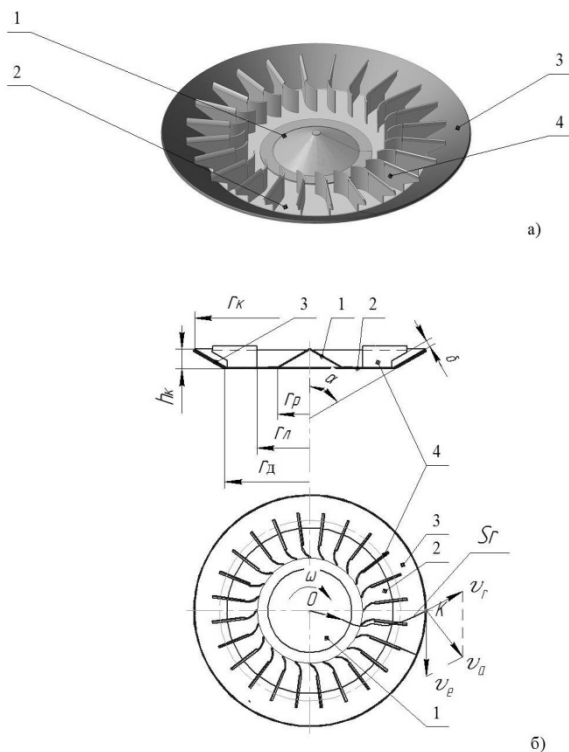
будуть мати такий вигляд:

$$\begin{cases} m(\ddot{\rho} - \rho\dot{\theta}^2) = -N_\rho - f_\rho \\ m(2\dot{\rho}\dot{\theta} + \rho\ddot{\theta}) = F_\theta \\ m\ddot{z} = N_z - F_z - mg \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{де } N = m(\rho\theta^2 \cos\alpha + g \sin\alpha + \frac{v_r^2}{\rho_k} \cos\alpha);$$

$$\begin{aligned} F_\rho &= f_2 N \cos\beta_\rho; \\ F_\theta &= f_2 N \cos\beta_\theta; \\ F_z &= f_2 N \cos\beta_z; \end{aligned}$$

– проєкції сили тертя частинки на координатні осі;



1 – конус напрямний розподільний; 2 – диск; 3 – конус розкидний; 4 – лопатка

Рисунок 1 – Зображення ротaційного розкидача зернової суміші (а)  
та його конструкційна схема (б)

$\beta_\rho, \beta_\theta, \beta_z$  кути між відповідними осями координат і складовими вектора сили тертя  $\vec{F}$ , величини косинусів яких:

$$\cos \beta_\rho = \frac{\dot{\rho}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2(\omega - \theta)^2 + z^2}};$$

$$\cos \beta_\theta = \frac{\rho(\omega - \theta)}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2(\omega - \theta)^2 + z^2}};$$

$$\cos \beta_z = \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2(\omega - \theta)^2 + z^2}};$$

$N_\rho$  і  $N_z$  – проєкції нормальної реакції поверхні на осі координат  $O\rho$  і  $Oz$ , величина яких:

$$N_\rho = -N \sin(90 - \alpha);$$

$$N_z = N \cos(90 - \alpha).$$

Початковими умовами для розв'язання системи рівнянь (4) є кінцеві умови розв'язання рівняння (2):  $\rho = r_0$ ;  $\theta = \omega$ ;  $Z=0$ .

Кінцевим результатом розв'язання системи рівнянь (4) є отримання абсолютної швидкості  $V_a$ , величини кутів напрямку вектора цієї швидкості  $V_a$  до осей циліндричної системи координат  $O\rho\theta z$ .

Абсолютну величину швидкості знаходяться за формулою:

$$V_a = \sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2\theta^2 + \dot{z}^2},$$

а косинуси кутів  $\gamma_\rho, \gamma_\theta, \gamma_z$  між відповідними осями координат і складовими вектора швидкості  $\vec{V}_a$  дорівнюють:

$$\cos \gamma_\rho = \frac{\dot{\rho}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2\theta^2 + \dot{z}^2}};$$

$$\cos \gamma_\theta = \frac{\rho\theta}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2\theta^2 + \dot{z}^2}};$$

$$\cos \gamma_z = \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2\theta^2 + \dot{z}^2}}.$$

Оскільки ротаційний розкидач повинен сприяти внутрішньому перерозподілу частинок зернової суміші з тим, щоб важчі притискувались до поверхні конуса 3 розкидача, а більш легкі "спливали" на поверхню шару зернової суміші, що, як відомо відбувається при пошаровому русі частинок, то коефіцієнт зовнішнього тертя зерна по поверхні конуса 3 повинен бути більшим коефіцієнта внутрішнього тертя зернової суміші. Таким чином забезпечується активне введення зернової суміші в аеродинамічний конічний стоковий потік з попереднім розподілом частинок по товщині шару, що в подальшому забезпечує підвищення ефективності пневмосепарування.

## Висновки

1. Обґрунтована удосконалена конструкційна схема ротаційного розкидача, яка забезпечує гарантовану подачу зернової суміші в повітряному каналі пневмосепарувального пристрою.

2. Розроблена механіко-математична модель руху зернової суміші дозволяє розраховувати параметри розкидача в залежності від фрикційних властивостей зернової суміші і необхідних умов її активного введення в пневмосепарувальний канал.

3. Змінюючи геометричні параметри розкидача, можна отримати необхідні параметри швидкості і напрямку руху частинок. Оптимальний параметр розкидача – максимальна величина швидкості введення частинок зернової суміші в пневмосепарувальний канал.

## Література

1. Сепаратор виброцентробежный зерноочистительный А1-БЦС-100/Паспорт. Облполиграфиздат. Житомир, 1990.

2. Гончаров Е.С. Сепарация зерна воздухом/ Е.С. Гончаров // Работы молодых учёных. Механизация и электрификация сельского хозяйства. М. "Колос" 1968, с.131-141.

3. Гончаров Е.С. Центробежно-пневматический сепаратор для зерновых материалов/ Е.С. Гончаров, Н.И. Трабельковский // Тракторы и сельхозмашины, 1968, №6, с. 26-28.

4. Гончаров Е.С. Резерви удосконалення пневматичної сепарації зернових матеріалів / Е.С. Гончаров// Механізація і електрифікація сільського господарства, 1971, №18. - с. 30-37.

5. Зерноочистительная машина: Авторское свидетельство СССР на изобретение №889142 МПК В07В1/26/ Е.С. Гончаров - 2691452/29-03, Заявлено 14.12.78, опубликовано 15.12.81, Бюл. №46. - 4 с.

6. Гончаров Е.С. Механико-математическая модель ротационного разбрасывателя зерна/ Е.С. Гончаров, Н.Т. Махинько// Механизация и электрификация сельского хозяйства. Республиканский межведомственный тематический-научно-технический сборник. Вып 62, К, "Урожай", 1985.-с. 25-29.

7. Андреев В.Л. Обоснование параметров дискового распределителя зерна для пневмосистемы с вертикальным кольцевым аспирационным каналом/ В.Л. Андреев, В.В. Шилин// Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Межвузовский сборник научных трудов - Киров: Вятская ГСХА, 2004.-Вып.4 - с. 163-174.

8. Прилуцький А.Н. До обґрунтування шляхів підвищення інтенсифікації процесу і конструкційної схеми пневмосепаруючої частини вібровідцентрового сепаратора зерна/ А.Н. Прилуцький, С.П. Степаненко, Ю.Г. Коваль// Механізація і електрифікація сільського господарства. Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 94. - Глеваха, 2010. - с. 216-219.

9. Сепаратор зерна: Патент України на корисну модель №60985 МПК В07В1/00/ С.П. Степаненко, А.Н. Прилуцький, Ю.Г. Коваль (Україна) - № и 2010 04775, заявлено 21.04.2010, опубліковано 11.07.2011. Бюл. №13. - 3 с.

10. Швидя В.О. Підвищення ефективності пневмівідцентрового сепаратора та обґрунтування параметрів робочих органів: автореферат дисертації кандидата технічних наук: 05.05.11 "Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва/ Швидя Віктор Олександрович - Глеваха, 2012 – 8 с.

11. Сліпченко М.В. Обґрунтування параметрів процесу і розробка пневмосепаруючого пристрою вібровідцентрових зернових сепараторів: автореферат дисертації кандидата технічних наук: 05.05.11 "Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва" // Сліпченко Максим Володимирович - Харків, 2013.-20 с.

12. Відцентровий розкидний пневмосепаруючий пристрій зерносепаратора: Патент України на винахід № 100794 МПК В07В9/00/Д.А. Дерев'яненко (Україна) - №а 2011 08984, заявлено 18.07.2011, опубліковано 25.01.2013, Бюл. №2. – 4 с.

13. Сепаратор зерна пневмовібровідцентровий: Патент України на корисну модель №; 79941 МПК В07В1/26/ А.Н. Прилуцький (Україна) - №и 2012 12172, Заявлено 23.10.2012, опубліковано 13.05.2013, Бюл. №9. – 4 с.

14. Прилуцький А.Н. Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми зерночисного модуля універсальних сепараторів зерна нового покоління / А.Н. Прилуцький // Механізація та електрифікація сільського господарства. Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 99.- Глеваха, 2014. -с. 341-350.

### **Аннотація**

*Обоснована усовершенствованная конструктивная схема ротационного разбрасывателя зерновой смеси пневмосепарующего устройства виброцентробежных сепараторов зерна.*

*Разработана механико-математическая модель движения зерновой смеси в таком разбрасывателе, позволяющая обеспечить необходимые параметры скорости и направления движения частиц при подачи её в воздушный канал пневмосепарирующего устройства.*

### **Summary**

*Substantiated improved structural scheme of rotational spreader cereal mixture pneumoseparating device vibrocentrifugal grain separators.*

*Mechanics and a mathematical model of the motion of the cereal mixture in a spreader is developed to provide necessary parameters of speed and direction of motion of particles in its submission to the air passage pneumoseparating device.*