

Д.І. Петренко, канд. техн. наук, О.М. Васильковський, доц., канд. техн. наук,
С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, А.М. Кириченко, доц., канд. техн. наук,
М.С. Терещенко, магістрант

Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування геометричних параметрів пруткового циліндричного барабана відцентрово-пневматичного сепаратора

Проаналізовано напрями підвищення ефективності пневмосепарації. Представлено результати теоретичних досліджень впливу геометричних параметрів пруткового барабану відцентрово-пневматичного сепаратора на якість процесу розділення зернової суміші на фракції.

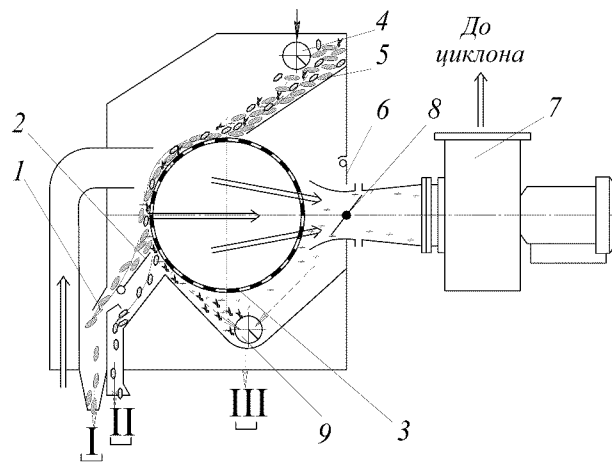
пруткова навивка, відцентрово-пневматичний сепаратор, геометричні параметри, теоретична якість розділення

На сьогоднішній день все більшого поширення при післязбиральній обробці зерна набувають пневмосепараційні системи з застосування активних силових полів, оскільки можливості інтенсифікації процесу сепарації з використанням лише гравітаційних сил майже вичерпані. Спостерігається тенденція до використання штучних силових полів високої напруженості (розділення на скальператорах і в тріерах при показнику кінематичного режиму, що перевищує одиницю, застосування понадкритичних швидкостей витання і ін.).

З огляду на це, перспективним напрямом підвищення ефективності пневмосепарації є використання комплексної дії на зерновий матеріал відцентрових сил інерції і сили повітряного потоку. При цьому обробка відбувається в один шар та застосовуються понадкритичні швидкості повітряного потоку, що дає можливість якісно розділити зернову суміш на фракції, оскільки кожна частка повноцінно взаємодіє з повітряним потоком і ефект очищення визначається лише різницею аеродинамічних властивостей матеріалу [1, 2].

Приклад такої системи – відцентрово-пневматичний сепаратор ЗАВ 40.02.000 (рис. 1) [3], в якому зерновий матеріал розділяється на фракції за рахунок взаємодії горизонтального повітряного потоку (створюється вентилятором 7) і відцентрової сили інерції (створюється обертанням сітчастого барабану 3).

Відмітимо, що використання в конструкції пневмоканалу активного робочого органу у вигляді циліндричного барабану, що обертається, дозволяє забезпечити при інших «ідеальних» умовах практично необмежену продуктивність сепаратора. Однак вказаний сепаратор має ряд недоліків: зростання аеродинамічного опору сітчастого барабану при збільшенні його частоти обертання, наявність поперечних перетинків сітчастого профілю, що перешкоджає стабільному руху часток по його поверхні і призводить до незадовільної обробки компонентів зернової суміші повітряним потоком. Вказані недоліки усуваються встановленням циліндричного барабану з прутковою навивкою круглого профілю [4] (рис. 2).



○ Насіннева фракція ○ Товарне зерно
 ◀ Легкі домішки - Пил ⇒ Повітря

1 – заслінка; 2 – подільник; 3 – сітчастий барабан; 4 – механізм подачі; 5 – скатна дошка;
 6 – заслінка стабілізатора; 7 – вентилятор; 8 – регульовальна заслінка; 9 – шнек відходів;
 I, II, III – виходи фракцій

Рисунок 1 – Схема відцентрово-пневматичного сепаратора ЗАВ 40.02.000

На процес сепарації зернового матеріалу в удосконаленому сепараторі впливають режими роботи і геометричні параметри пруткового барабану.

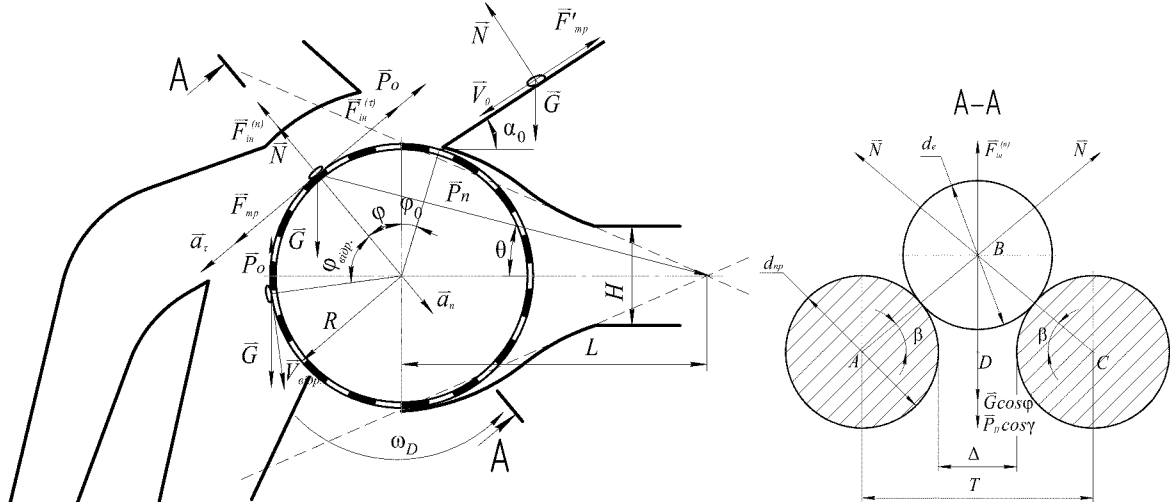


Рисунок 2 – Розрахункова схема об'єкту досліджень

Прутковий циліндричний барабан має наступні геометричні параметри: діаметр барабана D , розмір щілини між прутками Δ та діаметр прутків $d_{пр}$.

Вплив цих параметрів барабану на процес переміщення і розділення зернового матеріалу визначається шляхом знаходження закону руху частки по його зовнішній поверхні.

При русі зернової частки по поверхні циліндричного решета на неї діють наступні сили (рис. 2):

$G = mg$ – сила ваги, направлена вертикально вниз, Н;

$F_{in}^{(n)} = \frac{mV^2}{R}$ – відцентрова сила, направлена перпендикулярно до швидкості руху частки в сторону опуклості траєкторії руху, Н;

$F_{in}^{(t)} = m \frac{dV}{dt}$ – тангенційна складова сили інерції, направлена по дотичній до

траєкторії руху зернини в сторону, протилежну прискоренню, Н;

N – сили реакції прутків, направлені перпендикулярно до поверхні дотику зернини з прутком барабана на зовні (рис. 2, розріз А-А), Н;

$F_{mp} = fN$ – сили тертя (дві сили), направлені по дотичній до траєкторії руху зернини в бік:

- руху зернини, якщо $V - \omega_D R < 0$;

- протилежну рухові зернини при $V - \omega_D R \geq 0$;

$P_{\Pi} = mk_{\Pi} U^2$ – аеродинамічна сила, направлена в бік руху повітряного потоку, Н;

$P_o = mk_{\Pi} V^2$ – сила опору повітря, направлена в бік протилежний рухові зернини, Н;

де k_{Π} – коефіцієнт парусності частки, m^{-1} ;

m – маса частки, кг;

U – швидкість повітряного потоку, м/с;

V – швидкість руху зернини, м/с;

ω_D – кутова швидкість обертання барабана, s^{-1} ;

m – маса зернини, кг;

g – прискорення сили ваги, m/s^2 ;

φ – кут, що визначає положення частки на барабані, град;

f – коефіцієнт тертя ковзання;

R – радіус барабана, м.

Диференційне рівняння руху частки по поверхні барабана матиме вигляд:

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{G} + \vec{F}_{mp} + \vec{F}_{in}^{(n)} + \vec{F}_{in}^{(\tau)} + \vec{N} + \vec{P}_{\Pi} + \vec{P}_o, \quad (1)$$

або в проекціях на осі рухомої системи координат (до відриву зернини від барабана):

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = mg \sin \varphi - 2fN \text{sign}(V - \omega_D R) - mk_{\Pi} U^2 \sin \gamma \text{sign}\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - mk_{\Pi} V^2, \\ m \frac{V^2}{R} = mg \cos \varphi - 2N \sin \beta + mk_{\Pi} U^2 \cos \gamma. \end{cases} \quad (2)$$

Вирішивши систему рівнянь (2) і після відповідних перетворень отримуємо закономірність переміщення частки по зовнішній прутковій поверхні циліндричного барабану [5]:

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{b_1 e^{-a\varphi} + a_1 \sin \varphi + a_2 \cos \varphi - 2b e^{-a\varphi} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{f_1(k_d + \sin \varphi) + \cos \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} e^{a\varphi} d\varphi}} = \sqrt{\frac{g}{R}} t. \quad (3)$$

Умова відриву зернини від барабана приймає вигляд:

$$\cos \varphi - \frac{R}{g} \varphi^2 + b \frac{k_d + \sin \varphi}{\sqrt{1 + k_d^2 + 2k_d \sin \varphi}} < 0, \quad (4)$$

$$\text{де } a_1 = 2 \frac{a - f_1}{1 + a^2}, \quad a_2 = -2 \frac{f_1 a + 1}{1 + a^2}, \quad b = \frac{k_{\Pi} U^2}{g}, \quad a = 2(k_{\Pi} R - f_1), \quad f_1 = \frac{f}{\sin \beta} \text{sign}(\omega - \omega_D),$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{d_{np} + \Delta}{d_{np} + d_e} \right)^2};$$

$$k_d = \frac{R}{L} - \text{безрозмірний параметр барабана, } L = l_1 + l_2;$$

l_1 – відстань між віссю обертання циліндричного барабана та вхідним колектором повітряного каналу, м;

l_2 – довжина сліду повітряного потоку при розширенні каналу, м;

d_{np} – діаметр прутка навивки, м;

d_e – еквівалентний діаметр зернини, м;

Δ – зазор між прутками, м.

Оскільки діаметр прутків здійснює вплив на характер руху часток по поверхні барабана, проаналізуємо графічно залежності (3, 4) для різних значень діаметра прутка (рис. 3).

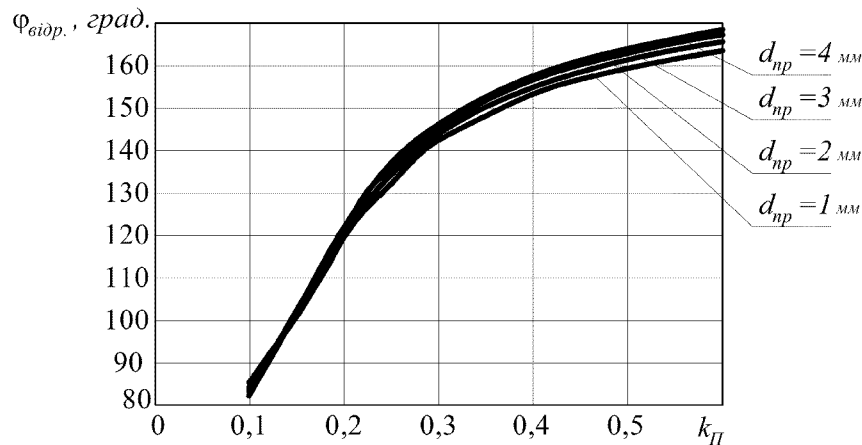


Рисунок 3 – Залежності кута відриву часток від коефіцієнтів парусності зерноsumіші для різних діаметрів прутків циліндричного барабана

Аналізуючи графічні залежності (рис. 3) зазначимо, що зміна діаметра прутка незначно (в межах $1^\circ - 3^\circ$) впливає на кут відриву часток зерноsumіші від барабана. Тому при виборі раціонального значення діаметра прутка потрібно керуватись технологічними особливостями виготовлення циліндричного барабана та забезпеченням максимальної величини живого перерізу каналу, який формується прутками і визначається як:

$$k_{жс} = 1 - \frac{d_{np} \cdot z_{np}}{B}, \quad (5)$$

де B – ширина пруткового барабана, м;

z_{np} – кількість прутків, шт.

Розглянемо вплив діаметра барабана на кут відриву часток (рис. 4) для зернової маси, що характеризується значеннями $k_{\Pi} = 0,07 \dots 0,18$ – для повноцінного, $k_{\Pi} = 0,14 \dots 0,32$ – для некондиційного насіння та $k_{\Pi} = 0,23 \dots 0,55$ для смітних домішок. Якість процесу сепарації відцентрово-пневматичним сепаратором визначається зоною перетину інтегральних кривих розподілу некондиційного насіння $P_i^{(ц.зерн.)}$ та домішок $P_i^{(дом.)}$.

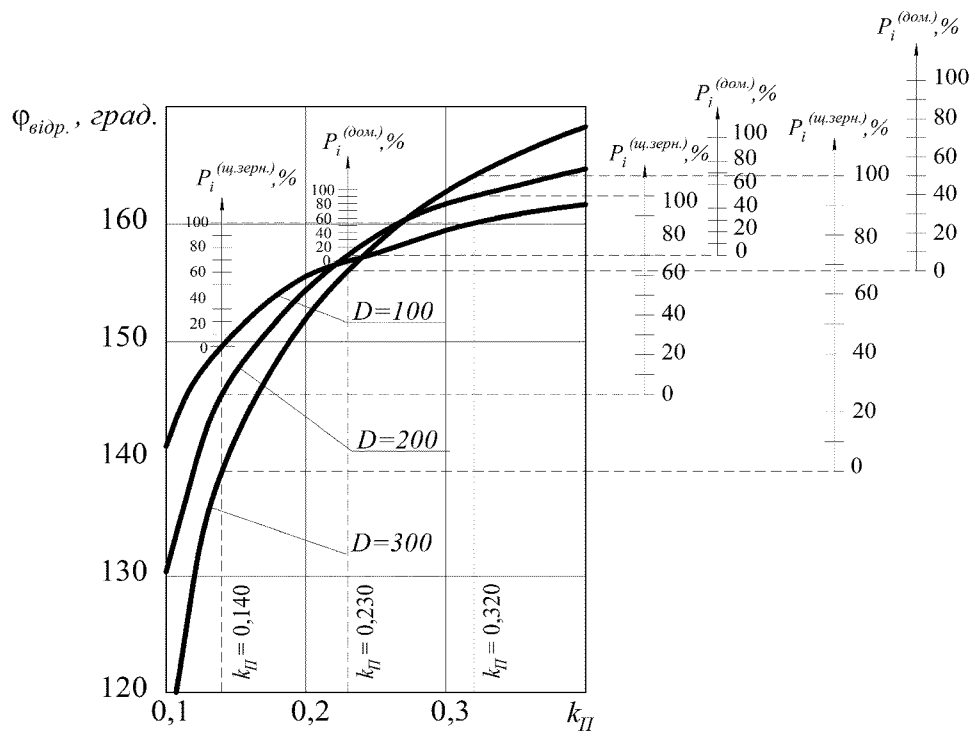


Рисунок 4 – Залежність кута відриву часток $\varphi_{\text{відр.}}$ від коефіцієнтів парусності зерноsumіші $k_{\text{П}}$ для різних діаметрів циліндричного барабана з прутковою поверхнею D

При збільшенні діаметра барабана (рис. 4) підвищується якість процесу сепарації внаслідок зменшення зони перекриття кутів відриву некондиційного насіння і домішок, тобто менша кількість домішок може потрапити до фракції чистого насіння і, відповідно, менша кількість насіння може потрапити у відходи. Так при зміні D від 100 мм до 300 мм зона перекриття зменшується на $1^\circ - 3^\circ$. При цьому збільшуються розміри повітряного каналу, габарити сепаратора і, як наслідок – зростає енергоємність процесу.

При зменшенні діаметра циліндричного барабана спостерігається зменшення діапазону кутів відриву часток в зоні перекриття, при цьому унеможливується точне регулювання якості процесу очищення встановленням подільника у відповідне положення.

Отже, при виготовленні пруткового барабана необхідно керуватись принципом «зменшення габаритів і металомісткості до рівня забезпеченості якості процесу пневмосепарації згідно агро вимог».

Список літератури

1. Безручкин И. П. Исследование аэродинамических свойств зерен в вертикальном потоке / И.П.Безручкин // Сельскохозяйственная машина. – 1936. – № 3. – С.16–22.
2. Машины для послеуборочной поточной обработки семян : Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов : [под ред. Тица З. Л.]. – М. : Машиностроение, 1967. – 446 с.
3. Безручкин И. П. Очистка зернового материала центробежно-пневматическим сепаратором : Исследование рабочих процессов и органов машин для уборки зерновых культур и послеуборочной обработки зерна / И. П. Безручкин, Е. Г. Баженов, В. В. Попов // Труды ВИСХОМ. – Москва. – 1969. – Вып. 57. – С. 301–320.
4. Пат. 24546 U Україна, МПК В07В 4/00. Відцентрово-пневматичний сепаратор / Васильковський О.М., Петренко Д.І.; заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет. – №u200613442; заявл. 18.12.06; опубл. 10.07.07, Бюл. № 10.
5. Васильковський О. М. Математична модель роботи відцентрово-пневматичного сепаратора зерна / О.М. Васильковський, В. В. Гончаров, Д. І. Петренко, С. М. Лещенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Вип. 10. Т.8. –Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 94–104.

Д. Петренко, А. Васильковский, С. Лещенко, А. Кириченко, М.Терещенко

Обоснование геометрических параметров пруткового цилиндрического барабана центробежно-пневматического сепаратора

Проанализированы пути повышения эффективности пневмосепарации. Представлены результаты теоретических исследований влияния геометрических параметров пруткового барабана центробежно-пневматического сепаратора на качество процесса разделения зерновой смеси на фракции.

D. Petrenko, A. Vasytkovskyi, S.Leschenko, A. Kirichenko, M.Tereschenko

Justification of the geometric parameters of bar cylindrical drum centrifugal-pneumatic separator

Analyzed directions of improve air separation. The results of theoretical investigations of the influence geometrical parameters deformed bar drum centrifugal-pneumatic separator for the separation process quality grain mixture into fractions.

Одержано 08.10.12