

Б.І.Котов, д.-р. техн. наук; С.П.Степаненко, асп.

Національний Науковий Центр "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства"

Теоретичні передумови інтенсифікації вібропневматичного розділення зернових матеріалів на решетах

Наведено теоретичні дослідження щодо уточнення механізму взаємодії розпушувача із шаром сипкого середовища, що здійснює коливальний рух.

сепарація, розділення, віброзрідений шар, вібропневматика, розпушення

Успішне вирішення проблеми збільшення виробництва зерна безпосередньо пов'язане із потребою нарощування виробничих потужностей засобів післязбиральної обробки зерна і в першу чергу, зерноочисної техніки.

Інтенсивні потоки свіжезібраного зерна (комбайнового збирання) потребують швидкого і якісного очищення в першу чергу від дрібних та крупних смітєвих домішок підвищеної вологості (в т.ч. і недостигле зерно). Так, як саме вони значно зменшують стійкість зберігання зерноматеріалів. Тому при попередньому очищенні машини повинні мати максимальну продуктивність (що перевищує продуктивність машин в наступних ланках в 2-2,5 рази). Машини попереднього очищення, які використовуються в господарствах не забезпечують вирішення цієї проблеми.

Аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку зерноочисних машин [1, 2] показав, що збільшення продуктивності машин плоскорешітного типу відбувається в основному шляхом збільшення площі робочих поверхонь – решіт, кількість її ярусів і відповідно маси та габаритів обладнання. Разом з тим, в працях [3, 4] показано, що проблема підвищення продуктивності може вирішуватись шляхом інтенсифікації внутрішарових процесів (сегрегації, розшарування) і просіювання самих решіт.

Мета роботи – визначення і обґрунтування напрямків підвищення продуктивності плоскорешітних машин при збільшенні товщини шару зерна при його одночасному механічному розпушуванні.

Питання підвищення просіювання решіт при малих навантаженнях (завантаженнях) добре вивчені і достатньо висвітлені в літературі. Питанню підвищення продуктивності решіт і їх просіюванню присвячена дана стаття.

Розглянемо процес сепарації зерна у шарі при завантаженнях коли шар зерна має товщину в десять і більше зерен.

Зерноматеріал, що складається з "проходових" та "непроходових" частинок розташовується на початку решета, таким чином, що їх розподілення за товщиною шару рівномірне.

При відсутності інтенсивного переміщення на поверхні решета скупчуються важкі крупні частинки, які "перекривають" отвори і значно зменшують поглинальну здатність решета.

Інтенсивність перемішування із збільшенням відстані від поверхні решета безперервно зменшується.

Для інтенсифікації процесу сепарації (розшарування і просіювання) необхідно забезпечити умови для швидкого спливання крупних частинок до поверхні шару і занурення дрібних частинок до поверхні решета.

Далі будемо вважати, що час спливання крупної частинки дорівнює часу занурення дрібної частинки, та як показано в [5] умови спливання і занурення частинок однакові.

На швидкість спливання частинок крім ступеню розрихлення шару, що визначається його порозністю, впливає відносна швидкість пошарового руху частинок, яка зменшується за висотою шару в напрямку руху “від поверхні решета”, відповідно до зменшення амплітуди коливань шару за законом [6]

$$A = A_0 \sqrt{\frac{h_0}{x}} \cdot e^{-(x-h_0) \cdot \varphi \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega}, \quad (1)$$

де величина $\varphi \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega$ - є коефіцієнт затухання;

ε - порозність шару;

ω - частота коливань;

h_0 - відстань від решета до частинки в певний проміжок часу;

X – відстань від решета до частинок середовища;

A - амплітуда коливань.

Відповідно до (1) при збільшенні частоти коливань та швидкості повітряного потоку, який приводить до збільшення ε_0 , ступінь зменшення амплітуди коливань за висотою шару збільшується. Таким чином, використання повітряного розпушування шару зерна на частотах коливань, що забезпечують оптимальне просіювання матеріалу не може інтенсифікувати шарове просіювання проходових частинок.

Для вирівнювання швидкості відносного пошарового руху і частинок в шарі за висотою матеріалу, підвищення імпульсної передачі енергії від віброзріджувача і пористості шару на всій товщині шару доцільно використовувати механічні побудники (рис.1).

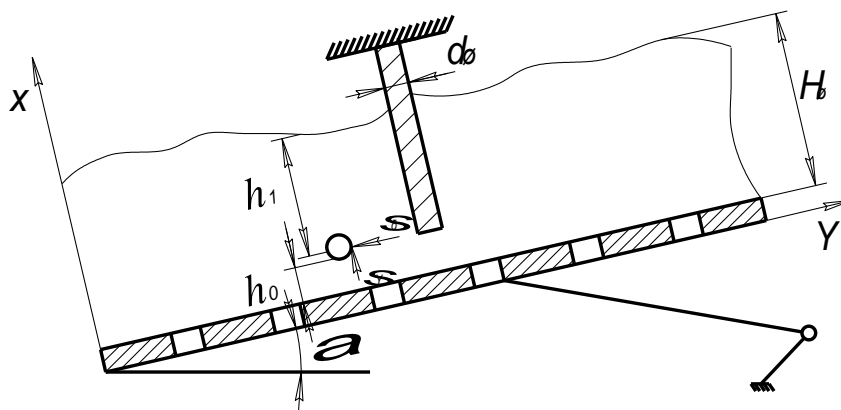


Рисунок 1 - Схема дії механічного побудника на віброзріджений зерновий шар

Так при розташуванні у шарі зерна, що здійснює коливальний рух (наприклад, за гармонічним законом) нерухомих (відносно шару зерна) шипів (штифтів) діаметром, який приблизно дорівнює розміру зернівок і висотою h , тобто сипкому середовищу, що його омиває відбуваються розриви, суцільності шару з утворенням каналів, в які провалюються дрібні частинки, з одночасним зміщенням крупних сходових частинок від отворів решета. при цьому за рахунок напруження, що виникає у площадці під дією тиску зерна на штифт, відбувається видавлювання частинок із шару до його поверхні.

Таким чином частинки великих розмірів будуть рухатись до поверхні шару. При цьому “підйомна” – виштовхуюча сила, що діє на частинки малих розмірів недостатня для подолання опору (щеплення) і вони будуть просіюватись по каналах, які утворені в сипкому середовищі штифтами.

Розглянемо механізм дії виштовхуючої сили, на частинку (у формі кулі), розміри якої більш за розміри частинок “постілі” тобто частинок з яких складається шар зерна.

При русі шару зерна відносно нерухомого штифта (миттєве переміщення при коливанні опорної поверхні) у зоні розташування штифта відбуваються миттєві змінення внутрішніх напружень; викликаний зовнішнім побудником контакт частинок між собою, як показано в [4, 8] короткочасний, а напруження в різних точках шару неоднакове, що і забезпечує ковзання зернівок між собою, та їх перерозподіл у просторі. Коли в результаті зміщення стовпчика зернівок (рис.2) в сипкому середовищі утворився канал (порожнеча), то під дією силового поля (вібрації) в канал потрапляють зернинки, що знаходились на межі цього каналу.

При цьому дрібні та важкі частинки проникають в канал з верхньої зони шару, а крупні, або легкі частинки із нижньої зони. При подальших коливаннях сипкого середовища і відповідно напружень (при взаємодії штифта з зерном) частинки, які потрапили в канал можуть знову переміщуватись. Наявність вібрацій і повітряного потоку гальмує переміщення дрібних частинок, але сприяє “спливанню” крупних.

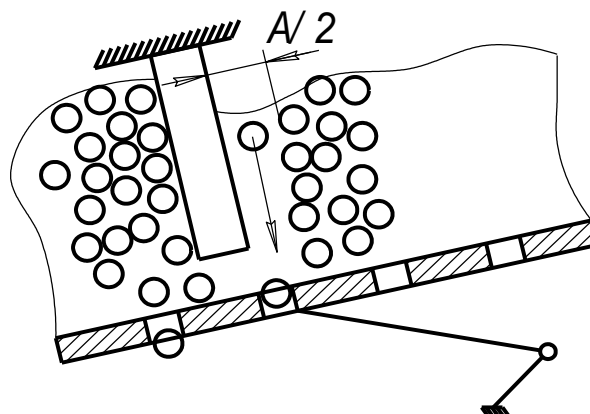


Рисунок 2 - Схема утворення каналу в сипкому середовищі, шипом під дією силового поля

Припускаючи, що виникають нормальні напруження стиснення, максимальні значення яких виникають при русі решета відносно штифта вперед або назад, а частинка у формі кулі діаметром більшої за частинки шару, але набагато меншими висоти шару H , визначимо можливість і умови, що забезпечують “спливання” легкої кулі.

Відповідно до (рис. 2) та відомих [7] залежностей напруженого стану сипкого середовища напруження стиснення можна визначити відомими співвідношеннями:

здвож вісі X

$$\sigma_x = h_1 \cdot \rho_q \cdot q; \quad (2)$$

здвож вісі Y

$$\sigma_y = h_1 \cdot \rho_q \cdot q \cdot \mu^2, \quad (3)$$

де h_1 - глибина розташування частинки;

ρ_q - динамічна густина середовища;

μ - коефіцієнт бокового тиску;

q - прискорення вільного падіння.

Відповідно до рис.1.
$$h_1 = H_{uw} - h_0 - \frac{d_{uw}}{2} (1 + \cos \alpha).$$

Коефіцієнт бокового тиску
$$\mu = t_q \left(\frac{\pi}{4} + \frac{f_1}{2} \right),$$

де f_1 - кут внутрішнього тертя.

При перевищенні величини бокового тиску буде відбуватися зміщення частинки і виштовхуванням її на поверхню шару, вздовж площини спрямованої під кутом $\left(\frac{\pi}{4} + \frac{f_1}{2} \right)$ до вектору напруженості σ_x . Після зупинки шару зерна на решеті, та його руху в протилежний бік, тиск σ_y стане меншим, рівновага буде порушена і почнеться зміщення дрібної частинки від поверхні шару до решета і цей процес буде відбуватися до досягнення рівноваги.

Під періодичною взаємодією штифта із шаром (при різних напрямках руху останнього) частинки сипкого середовища будуть зміщуватись в різних напрямках і площинах, відповідно перерозподіляться шляхом періодичного заповнення порожнечі утворюваної штифтом під дією сил інерції коливального руху решета.

Враховуючи, що напруження стиснення в напрямку нормальному до поверхні кулі визначається добуток: $\sigma_0 = \sigma_x (\cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha)$, а σ_x та σ_y - співвідношеннями (2), (3) остаточно визначимо:

$$\sigma_0 = h_1 \cdot \rho_q \cdot q \cdot (\cos^2 \alpha + \mu^2 \sin^2 \alpha), \quad (4)$$

де α - кут між вектором нормальної напруженості і вісі руху кулі.

Загальний тиск сипкого середовища під дією силового поля інерції коливного руху на шар, занурену кулю діаметром d знайдемо із очевидного співвідношення:

$$Q = \int_0 \sigma_0 dS, \quad (5)$$

де елементарна площа елемента кулі, яка визначається

$$dS = 2\pi \frac{d^2}{4} \sin \alpha \cdot d\alpha. \quad (6)$$

Інтегруючи (5) в межах $(0 \div \pi)$ з урахуванням (6) можна отримати значення виштовхуючої сили, зумовленої взаємодією штифта і рухомого шару зерна.

$$\begin{aligned} Q &= \frac{3}{4} \pi \frac{d^3}{8} \cdot \rho_q q \left[\frac{3}{5} + \frac{2}{5} \mu^2 \right] \\ Q &= \frac{4}{3 \cdot 8 \cdot 5} \pi d^3 \cdot q \cdot \rho_q (3 + 2\mu^2), \quad (7) \\ Q &= \frac{V_K}{5} \rho_q \cdot q (3 + 2\mu^2); \end{aligned}$$

де V_K - об'єм кульової частинки.

Величину динамічної густини шару зерна при наявності коливань за гармонічним законом $I = A \sin \omega t$, де A, ω - амплітуда та частота коливань можна визначити відповідно до [8] із співвідношення:

$$\rho_q = \frac{\rho_H}{q} \sqrt{\left(1 - \frac{A\omega \sin \beta}{q} \right)^2 + \left(\frac{A\omega \cos \beta}{q} \right)^2}, \quad (8)$$

де $\rho_H = \rho_H (1,0 + 0,2f_1)$

де ρ_H - насипна щільність шару зерна в полі сили тяжіння.

Конкретизуємо схему динамічної взаємодії частинок, що знаходяться у віброзрідженому шарі при дії на нього повітряного потоку і наявності занурених в шар нерухомих штифтових розрихлювачів. На частинку діють: сила ваги частинки

$-G = m \cdot g = \rho \cdot \frac{\pi d^3}{6} \cdot q$; сила Архімеда $F_A = \rho_r (1 - \varepsilon) \cdot \frac{\pi d^3}{6} q$; сила опору частинки у

вібров'язкому середовищі (за умов Стокського руху) $-R_c = 3\pi \cdot d \cdot K_\mu \rho_r (1 - \varepsilon) \cdot V_r$ (де

V - швидкість відносного руху частинки); сила повітряного потоку $R_n = 0,5 \cdot 13\sqrt{d} \cdot \varepsilon^{-1,15} \cdot \rho_n \cdot S \cdot V_n^2$ (де S - площа міделівого перерізу, V_n - швидкість

повітря; сила інерції коливального руху $I = m \left(1 - \frac{\rho_H}{\rho_r}\right) A \omega^2 \sin \omega t$; виштовхуюча сила

$Q = \frac{\pi \cdot d^3}{30} \cdot \rho_q \cdot q (3 + 2\mu^2)$. Відповідно до схеми силової взаємодії частинки, середовища і опорної поверхні рівняння руху частинки буде мати вигляд:

$$m\bar{a} = \bar{G} + \bar{F}_A + \bar{R}_c + \bar{R}_n + \bar{I} + \bar{Q}. \quad (9)$$

Отримані рівняння відрізняються від відомих наявністю складової, що враховує дію розрихлювача.

Проектуючи сили на вісі відповідної системи координат ХОУ рівняння (9) зводиться до системи двох диференціальних рівнянь другого ступеня (аналогічних наведеним у [9]), розв'язок яких за початкових умов $X_{|t=0} = 0$; $\dot{X}_{|t=0} = V$; $\bar{Y}_{|t=0} = 0$; $\dot{Y}_{|t=0} = V_{x0}$ відносно \dot{X} та \dot{Y} буде мати вигляд:

$$V_{x,y} = \frac{P_{x,y}}{K_{x,y}} + E \sin \omega t + F \cos \omega t + (V_{0x,y} - F - \frac{P_{x,y}}{K_{x,y}}) e^{-\frac{K_{x,y}}{m} t}; \quad (10)$$

$$\begin{aligned} P_{x,y} &= [(m - m_0)g + K_{nx} V_n^2 + K_f m_g g] \cdot \cos \alpha \\ P_y &= [(m - m_0)g + K_{ny} V_n^2 + K_f m_g g] \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (11)$$

$$E_{x,y} = \frac{K_{x,y} \cdot M \cdot \sin}{K_{x,y}^2 + (m \cdot \omega)^2}; F_{x,y} = \frac{A \omega M}{K_{x,y}^2 + (m \cdot \omega)^2}; M = m \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_r}\right) A \omega^2$$

Показником, що характеризує ступінь інтенсифікації розпушування шару зерна і його "просіюваність" може служити коефіцієнт ефективної (уявленої) розпушеності (за аналогією із коефіцієнтом вібров'язкості).

Співставляючи вираз для швидкості занурення (спливання) частинки в сипке середовище (10) з відомим [5] виразом вільного падіння кулі у в'язкій рідині

$$V_x = \frac{(\rho_r - \rho_n)g}{3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d}, \quad (12)$$

де μ - коефіцієнт в'язкості рідини, знайдемо за аналогією ефективний коефіцієнт в'язкості

$$\mu_B = \frac{(\rho_r - \rho_n)g}{3 \cdot \pi \cdot d \cdot \left[\frac{P}{K} \left(1 - \exp\left(-\frac{K}{m}\right)\right) + E \sin \omega t + F \cos \omega t + (V_0 - F) \exp\left(-\frac{K}{m}\right) \right]}. \quad (13)$$

З аналізу виразів (10) і (13) встановлено, що при фіксованій амплітуді коливань швидкості спливання збільшується із підвищенням частоти коливань решета. Наявність штифтового розпушувача підвищує інтенсивність перемішування частинок шару і відповідно просіюваності зернового шару для дрібних частинок.

Застосування нерухомих штифтових розпушувачів у зерновому шарі, що знаходиться на решеті, який здійснює коливальний рух відносно штифтів дозволяє зменшити ефективну в'язкість віброзрідженого шару і відповідно повноту виділення дрібної фракції.

Список літератури

- 1 Котов Б.І, Волошин М.І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасінеочисної техніки // Загальний міжвідомчий науково-технічний збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин". Кіровоград.2001.Вип.31. С.110-111.
- 2 Котов Б.І., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г. Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння. // Всеукраїнський науково-технічний журнал "Виобробачи в техніці і технологіях". Вип.3 (35).- Вінниця:ВДАУ, 2004.- С.61-63.
- 3 Тищенко А.М. Кинетика интенсификации процессов виброцентробежного сепарирования зерновых смесей. Науковий вісник НАУ.2005. вип.80.-С.155-165.
- 4 Полуэктов Н.И. Исследование центрифугирования семенных смесей. Автореф. дисс.канд.техн. наук. Саратов 1961.С.17.
- 5 Блехман И.И., Хайман В.Я. О теории разделения сыпучих смесей. Известия АН СССР.Механика. Вып.№5.- С.21-30.
- 6 Бочкарев А.И. Исследование сепарации семян виброцентрифугированием. Автореф. дис.докт.техн.наук. Волгоград 1970.- 38 с.
- 7 Прокофьев И.П. Давление сыпучего тела и расчет подпорных стенок. М. Стройиздат.1947.С.141
- 8 Зенков Р.П. Механика насыпных грузов. М.Машиностроение. 1964.- 250 с.
- 9 Котов Б.І., Степаненко С.П.,. Механіко-математична модель руху твердої частинки у віброзрідженому шарі зерна // Загальний міжвідомчий науково-технічний збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин". Випуск 34. – Кіровоград: КДТУ, 2004.– 110с.

Приведены теоретические исследования по уточнению механизма взаимодействия рыхлителя с шаром сыпучей среды, которая совершает колебательные движения.

Theoretical researches on clarification of mechanism of co-operation of rihlatelya with the ball of friable environment which accomplishes fluctuating motions are resulted.

Одержано 10.07.05.