



Твердохліб І. В.
к.т.н., старший викладач

*Вінницький
національний аграрний
університет*

Tverdokhlib I. V.

*Vinnitsia National
Agrarian University*

УДК 631.354.3

ДИНАМІКА РУХУ ЧАСТИНКИ В СИПКОМУ ЗЕРНОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

В статті наведені теоретичні дослідження динаміки руху частинок в сипкому зерновому середовищі. Збирання насінників люцерни потребує витирання вороху в стаціонарних машинах, наприклад в терковому пристрої з рухомим і нерухомим дисками. При розгляді процесу переміщення сипкого матеріалу були прийняті допущення, що транспортування відбувається у вигляді суцільного потоку, а частинки в процесі руху є пружними і зберігають свою форму та масу. Під час руху частинка вороху приймає участь в переносному, обертальному русі разом з рухомим диском і одночасно у відносному вздовж канавок бил нерухомого диска. насінневий ворох являє собою потік, в якому миттєва швидкість частинок є сумою трьох компонент швидкості: флуктуації, поступальної і обертової.

Для визначення частоти співудару частинок матеріалу сипкого середовища застосовується метод Аккермана-Шена згідно якого, частота прямо пропорційна напруженню зсуву і обернено пропорційна дисипації кінетичної енергії співудару частинки при одному контакті.

Дисипація кінетичної енергії співудару однієї частинки вороху за її одиничного контакту визначається за формулою Аккермана-Шена. Згідно гіпотези Гауса зв'язок між величинами нормального і дотичного імпульсів під час удару встановлюється згідно закону Кулона для тертя.

Отримана в результаті досліджень математична модель характеризує загальну сумарну кінетичну енергію взаємних переміщень частинок зернистого середовища і може бути використана для визначення раціональних параметрів теркового пристрою.

Ключові слова: *сипке середовище, ворох частинка, рух, переміщення, параметри.*

Постановка проблеми. Збирання деяких зернових та кормових культур потребує додаткового обробітку зернового або насінневого вороху для виділення вільного зерна (насіння). В значній мірі ця проблема стосується кормових культур, зокрема люцерни. Більшість технологій збирання насінників трав передбачає після зернового комбайну обробіток насінневого вороху на спеціальних стаціонарних машинах [1]. Один із можливих варіантів реалізації процесу витирання насіння з бобів люцерни – застосування спеціального теркового пристрою [2]. В цьому пристрої процес витирання відбувається завдяки дії на насінневий ворох рухомого і нерухомого дисків розташованих горизонтально. Обидва диски мають рифлену

поверхню, що створює повітряний потік, в якому знаходяться частинки вороху.

Для визначення раціональних конструктивних і режимних параметрів пристрою потрібно дослідити динаміки руху частинок вороху у міждисковому просторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Транспортування сипкого матеріалу в просторі робочого русла теркового пристрою може відбуватися у вигляді переміщення одиничних частинок витертого насіння вороху люцерни або їх відокремленої одна від одної групи під дією сил несучого повітряного потоку в вигляді аеросуміші [3], при цьому можливі два основні види режимів руху частинок: частинки сипкого матеріалу переносяться повітряним потоком за допомогою «стрибків» і суцільним потоком [4].



Режими руху потоку частинок сипкого матеріалу регламентують, як правило, його основні фізико-механічні властивості, головні з яких є щільність, крупність частинок, коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя тощо та рівномірності подачі сипких матеріалів в простір робочого русла [5].

Енергозатрати процесу транспортування під час пневматичного способу переміщення сипучого середовища в основному залежать від режимів руху потоку частинок сипкого матеріалу. Швидкість руху потоку є домінуючим фактором енергозатрат процесу транспортування, які мінімальні за хвильового та порційного руху матеріалу в аерованому стані [6].

Аналіз режимів руху потоків частинок сипких матеріалів показує, що вони супроводжуються взаємним переміщенням частинок, які мають дуже складний характер [7-8]. Для формалізації процесу переміщення сипкого матеріалу потрібно прийняти обмеження, що його транспортування відбувається у вигляді суцільного потоку, а частинки сипкого матеріалу в процесі руху зберігають свою форму та масу.

Мета дослідження. Зменшення енергозатрат процесу витирання і транспортування насінневого вороху люцерни

шляхом дослідження динаміки процесу руху окремих його частин.

Результати досліджень. В терковому пристрої внаслідок різних швидкостей поступального переміщення частинок масою m_n в просторі робочого русла теркового пристрою, вони мають відносну зсувну швидкість V_c , а внаслідок взаємних контактів (співударів) частинок, вони набувають додаткових компонентів поступальної швидкості V_n хаотичного переміщення, при цьому елемент масою m_n приймає участь в переносному обертальному русі разом з рухомим диском і одночасно у відносному – вздовж канавки бил.

Розглянемо процес співудару двох елементів масою m_n , які знаходяться в радіальній міжосьовій канавці біла на відстані R_n від осі обертання диска, який обертається з кутовою швидкістю ω_n , при цьому вважаємо, що матеріал частинок є пружним. Розрахункова схема процесу пружного співудару двох формалізованих сферичних частинок 1, 2 масою m_n наведена на (рис.1).

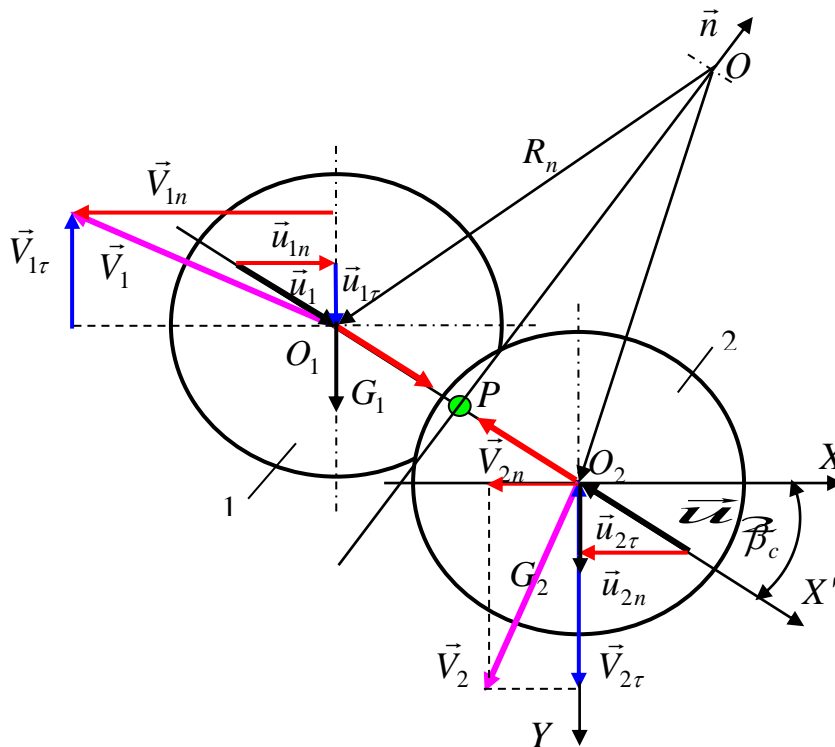


Рис. 1. Схема для розрахунку процесу співудару частинок матеріалу масою m_n



Явище співудару двох частинок 1 і 2 масою m_n відбувається переважно за косою співудару внаслідок взаємного обміну ударними масовими імпульсами (рис.1), при цьому виникають зсувні течії матеріалу, а напрямком векторів \vec{u}_1 і \vec{u}_2 швидкостей тіл співудару направлений під кутом β_c співудару до горизонтальної осі системи декартових координат.

Для рішення задачі зсувних течій, що виникають під час співудару двох частинок 1 і 2 масою m_n застосовуємо кінетичну теорію суцільних газів [9], при цьому згідно з теорією руху гранульованого середовища [10] відомо, що при зсуві потоку миттєва швидкість частинок являє собою суму трьох споріднених компонент швидкості: швидкість флуктуації, поступальну (усереднену) і обертову швидкість.

Згідно з положеннями [11] рівняння стану сипкого середовища під час його переміщення записано у вигляді:

$$p(x)\bar{\varepsilon}(x) = \chi \left(\frac{du}{dx} \right)^2. \quad (1)$$

Аналіз рівняння (1) показує, що добуток квадрата швидкості переміщення сипкого зернистого середовища $(du/dx)^2$ на коефіцієнт фізичної константи χ , який записано в правій частині, тотожній питомому значенню роботи, яка затрачена на переміщення шару частинок 1 і 2 масою m_n із розрахунку на 1 м². Ліва частина добутку аналогу гідростатичного тиску $p(x)$ на (пористість) зернистого середовища $\bar{\varepsilon}(x)$ тотожна за фізичним сенсом кінетичній енергії взаємних хаотичних переміщень частинок 1 і 2 масою m_n внаслідок переміщення сипкого зернистого середовища.

Для того, щоб між частинками 1 і 2 масою m_n відбувся контакт (співудар) кут співудару β_c (рис.1) згідно з [11] повинен знаходитися в межах інтервалу від 0 до $\pi/2$ рад.

Зважаючи на те, що рух частинки в потоці робочого руслу теркового пристрою має складний функціональний характер [12, 13], сумарну кінетичну енергію $\sum K_m$ взаємних переміщень частинок 1 і 2 масою m_n запишемо

у вигляді суми кінетичних енергій частинок масою m_n :

- у їх відносному поступальному переміщенні під час зсуву,
 - за їх хаотичного руху;
 - у поперечному масопереносі, тобто
- $$\sum K_m = K_V + K_X + K_{II}, \quad (2)$$

де $\sum K_m$ – кінетична енергія взаємних переміщень частинок середовища, Дж;

K_V , K_X , K_{II} – відповідно, кінетична енергія поступального переміщення, хаотичного переміщення, або флуктуації та поперечного масопереносу частинок 1 і 2 масою m_n сипкого середовища, Дж.

Кінетична енергія частинок в їх відносному поступальному переміщенні в направленні зсуву K_V , хаотичного переміщення або флуктуації K_X та поперечного масопереносу K_{II} частинок 1 і 2 масою m_n сипкого середовища згідно з [13] визначається із наступних виразів

$$\left. \begin{aligned} K_V &= \frac{1}{2} m_n (\Delta X)^2 \left(\frac{du}{dx} \right)^2; \\ K_X &= \frac{1}{2} m_n (u')^2; \\ K_{II} &= \frac{1}{4} m_n l_c u' \frac{du}{dx} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де m_n – маса частинки насіння люцерни, кг;

ΔX – різниця координат центрів частинок суміжних шарів сипкого середовища, м;

u' – швидкість флуктуації частинок (м/с).

Враховуючи, що:

$$- m_n = V_n \rho_v = \rho \pi d_n^3 / 6,$$

де $V_n = \pi d_n^3 / 6$ – об'єм i -ї частинки, м³;

d_n – діаметр i -ї частинки, м;

$$- \Delta X = b_1 - b_2,$$

де b_1 , b_2 – відповідна координата центра суміжних шарів (частинок), що співударяються між собою, м;

$$- u' = 2l_c \gamma_n,$$



де l_c – середня відстань між частинками відносно їх приведеної маси, м;

γ_n – середня частота співудару частинок сипкого середовища (1/с) та згідно з (3) можна записати

$$\left. \begin{aligned} K_V &= \frac{1}{12} \pi d_n^3 \rho_v (b_1 - b_2)^2 \left(\frac{du}{dx} \right)^2; \\ K_X &= \frac{1}{2} \frac{\pi d_n^3}{6} \rho_v (u')^2 = \frac{2\pi d_n^3}{3} \rho_v \gamma_n^2 l_c^2; \\ K_{II} &= \frac{1}{4} \frac{\pi d_n^3}{6} \rho_v l_c u' \frac{dV}{dx} = \frac{1}{12} \pi d_n^3 \rho_v \gamma_n l_c^2 \frac{du}{dx} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Середня частота співудару γ_n частинок матеріалу сипкого середовища згідно з [121] визначається за методом Аккермана-Шена, при цьому

$$\gamma_n = \frac{\tau}{E_k Z_n} \frac{du}{dx}, \quad (5)$$

де τ – напруження зсуву, Па;

E_k – дисипація кінетичної енергії співудару частинки при одному контакті, Дж;

Z_n – число частинок в одиниці об'єму шару, 1/м³.

Дисипація кінетичної енергії E_k співудару однієї частинки вороху насіння люцерни за її одиночного контакту визначається згідно з [14] за формулою Аккермана-Шена, тобто

$$E_k = \frac{1}{12} \pi d_n^3 \rho_v \left(\frac{1-k^2}{4} + \frac{f(1+k)}{\pi} - \frac{f^2(1+k)^2}{4} \right) (u')^2, \quad (6)$$

де k – коефіцієнт відновлення під час удару;

f – коефіцієнт тертя між частинками.

При цьому відомо, що згідно гіпотези Гауса [15] зв'язок між величинами дотичного та нормального імпульсів під час удару формується подібно закону Кулона для тертя

$$\Delta u = -u'f(1+k), \quad (7)$$

де Δu – зміна відносної дотичної швидкості в результаті удару, м/с.

Швидкість флуктуації u' частинок вороху люцерни масою m_n згідно з [15] характеризує коефіцієнт поперечної квазидифузії D_{kd}

$$D_{kd} = 0,5u'l_c. \quad (8)$$

При цьому коефіцієнт поперечної квазидифузії D_{kd} у свою чергу регламентує інтенсивність взаємного переміщення частинок сипкого середовища, при цьому інтенсивність переміщення частинок зростає пропорційно коефіцієнту поперечної квазидифузії D_{kd} та градієнту швидкості поступального руху насіння в напрямку швидкості зсуву du/dx .

Із залежності (7) визначаємо швидкість флуктуації частинок, тобто

$$u' = -\Delta u / f(1+k), \quad (9)$$

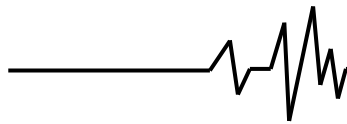
Підставивши значення (9) в залежність (6) одержимо формулу для визначення дисипації кінетичної енергії E_k співудару однієї частинки насіння люцерни за її одиночного контакту

$$E_k = \frac{(\Delta u)^2}{12} \pi d_n^3 \rho_v \left(\frac{1-k}{4f^2(1+k)} + \frac{1}{\pi f(1+k)} - \frac{1}{4} \right). \quad (10)$$

Згідно з (5) і (9) середня частота співудару γ_n частинок сипкого середовища буде визначається

$$\gamma_n = \frac{48f^2\tau(1+k)}{(\Delta u)^2 d_n^3 \rho_v [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)] Z_n} \frac{du}{dx}. \quad (11)$$

Підставивши значення середньої частоти співудару γ_n частинок насіння люцерни, або частинок сипкого зернистого середовища із рівняння (11) у залежність (4) одержимо:



$$K_X = \frac{2\pi l_c^2}{3d_n^3 \rho_v Z_n^2} \left(\frac{48f^2 \tau(1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)]} \right)^2 \left(\frac{du}{dx} \right)^2; \quad (12)$$

$$K_{II} = \frac{4\pi l_c^2 f^2 \tau(1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)] Z_n} \left(\frac{du}{dx} \right)^2. \quad (13)$$

Таким чином, сумарна кінетична енергія $\sum K_m$ взаємних переміщень частинок сипкого зернистого середовища, або частинок насіння люцерни після підстановки першого рівняння із

системи рівнянь (2) та рівнянь (12) і (13) у залежність (2) та після відповідного перетворення і спрощення виразу визначається за залежністю

$$\begin{aligned} \sum K_m &= \frac{1}{12} \pi d_n^3 \rho_v (b_1 - b_2)^2 \left(\frac{du}{dx} \right)^2 + \\ &+ \frac{2\pi l_c^2}{3d_n^3 \rho_v Z_n^2} \left(\frac{48f^2 \tau(1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)]} \right)^2 \left(\frac{du}{dx} \right)^2 + \\ &+ \frac{4\pi l_c^2 f^2 \tau(1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)] Z_n} \left(\frac{du}{dx} \right)^2 = \\ &= \frac{\pi}{12} \left(\frac{du}{dx} \right)^2 \left\{ \left[d_n^3 \rho_v (b_1 - b_2)^2 \right] + 8 \frac{l_c^2}{d_n^3 \rho_v Z_n^2} \left(\frac{48f^2 \tau(1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)]} \right)^2 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{48l_c^2 f^2 \tau(1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)] Z_n} \right\} = \\ &= \frac{\pi}{12} \left(\frac{du}{dx} \right)^2 \left\{ \left[d_n^3 \rho_v (b_1 - b_2)^2 \right] + \frac{48l_c^2 f^2 \tau(1+k)}{Z_n (\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)]} \times \right. \\ &\quad \left. \times \left[\frac{8}{d_n^3 \rho_v Z_n} \left(\frac{48f^4 \tau(1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)]} \right) + 1 \right] \right\}, \quad (14) \end{aligned}$$

або

$$\sum K_m = \frac{\pi}{12} \left(\frac{du}{dx} \right)^2 \left\{ \left[d_n^3 \rho_v (b_1 - b_2)^2 \right] + \frac{48l_c^2 f^2 \tau(1+k)}{Z_n (\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)]} \times \right. \\ \left. \times \left[\frac{8}{d_n^3 \rho_v Z_n} \left(\frac{48f^4 \tau(1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2(1+k)]} \right) + 1 \right] \right\}. \quad (15)$$

Отримана залежність (2.69) є математичною моделлю, яка характеризує загальну сумарну кінетичну енергію $\sum K_m$ взаємних переміщень частинок сипкого зернистого середовища, яка втрачається під час одно співудару двох сферичних частинок насінневого вороху люцерни у процесі їх

переміщення до периферії рухомого диска (або вихідного каналу теркового пристрою) залежно від компонентів швидкостей процесу співудару, фізико-механічних властивостей насіння люцерни та умов середовища удару.

Математична модель може бути використана для аналізу існуючого поняття «температури зернистого середовища» [15] та



в подальшому – для аналітично-емпіричного опису стану сипкого зернистого середовища у процесі переміщення частинок насіння люцерни в внутрішньому об'ємному просторі робочого руслу теркового пристрою.

Тоді, враховуючи залежність (1) відоме рівняння стану сипкого зернистого середовища $p(x)\bar{\epsilon}(x) = \chi(du/dx)^2$ під час переміщення частинок насіння люцерни можна записати в наступному вигляді:

$$p\bar{\epsilon} = \chi' \frac{\pi}{12} \left(\frac{du}{dx} \right)^2 \left\{ \left[d_n^3 \rho_v (b_1 - b_2)^2 \right] + \frac{48 l_c^2 f^2 \tau (1+k)}{Z_n (\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2 (1+k)]} \right\} \times \left\{ \left[\frac{8}{d_n^3 \rho_v Z_n} \left(\frac{48 f^4 \tau (1+k)}{(\Delta u)^2 [\pi(1-k) + 4f - \pi f^2 (1+k)]} \right) + 1 \right] \right\}, \quad (16)$$

де χ' – коефіцієнт фізичної константи, який тотожний питомому значенню роботи, затраченої на переміщення шару частинок із розрахунку на 1 м²;

$\bar{\epsilon}$ – середня пористість зернистого середовища.

Одержані залежності стану сипкого середовища (16) та (15) можуть бути використані для подальшого аналізу та обґрунтування параметрів технологічного процесу роботи теркового пристрою.

Висновки. Отримана математична модель для сумарної кінематичної енергії взаємних переміщень частинок сипкого зернистого середовища при їх переміщенні з слівударами в робочому просторі теркового пристрою. Результати досліджень можуть бути використані при визначенні раціональних параметрів роботи пристрою для витирання насінневого вороха люцерни.

Список використаних джерел

1. Спірін А.В. Перспективна технологія збирання насінників трав / А.В. Спірін, І.В. Твердохліб // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця : ВНАУ, 2016. – № 1 (93). – С. 25–27.
2. Tverdokhlib I.V. Theoretical studies on the working capacity of disk devices for grinding agricultural crop seeds / I.V. Tverdokhlib, A.V. Spirin // Inmateh. Agricultural Engineering. – Bucharest : National Institute of research-development for machines and installations designed to Agriculture and food industry, 2016. – Vol. 48. – No. 1 / 2016. – Pag. 43–52.
3. Barth W. Процессы, происходящие при транспортировке твердых и жидких частиц в газах с учетом процессов, возникающих при пневматической транспортировке / W. Barth // Chemie. -Ing.-Techn., 30. – 1958. – № 3. – S. 171–180.

4. Selger G. Конструкция сельскохозяйственных воздуходувок-транспортеров / G. Selger // Landtechn. Forsch., 1. – 1956. – № 1. – S. 2–10.

5. Гуцин В.М. Режимы движения аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе / В.М. Гуцин // Геотехнічна механіка. Міжвід. зб. наук. праць ін-ту геотехн. мех. НАН України. – Дніпропетровськ, 1999. – Вип. 13. – С. 71–76.

6. Гуцин В.М. Восстановление структуры движения аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе / В.М. Гуцин // Вестн. Нац. Техн. Ун-та Украины КПИ. Машиностроение. – К., 2000. – Вып. 38. – Т. 2. – С. 158–162.

7. Борщев В.Я. Анализ взаимодействия неэластичных несвязных частиц сферической формы в быстром сдвиговом потоке / В.Я. Борщев, В.Н. Долгунин, П.А. Иванов // Математические методы в технике и технологиях: XVII междунар. науч. конф., 2004 г. : тез. докл. – Кострома, 2004. – Т. 3. – С. 93–95.

8. Welshcof G. Pneumatische Forderung bei grossen fordergut-konzentrationen / G. Welshcof. – Dusseldorf : VDI- Verlag GMBH, 1962. – 492 S.

9. Ширко И.В. Статистическое исследование течений гранулированных сред / И.В. Ширко // Деп. ВИНТИ 12.04.1982. – № 1738-82.

10. Ширко И.В. Феноменологическая теория движения гранулированной среды, основанная на методах статической механики / И.В. Ширко, В.А. Сахаров // Теоретические основы химической технологии. – 1987. – Т. 21. – № 5. – С. 661–668.

11. Долгунин В.Н. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение /



В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев. – М. : Изд. Машиностроение-1, 2005. – 112 с.

12. Shen H.H. Constitutive Relationships for Fluid – Solid Mixtures / H.H. Shen, Ackermann N.I. // Dev. Eng. Mech. – ASCE, 1982. – Vol. 108. – P. 748.

13. Борщев В.Я. Анализ взаимодействия неэластичных несвязных частиц сферической формы в быстром сдвиговом потоке / В.Я. Борщев, В.Н. Долгунин, П.А. Иванов // Математические методы в технике и технологиях : XVII междунар. науч. конф., 3-5 окт. 2004 г. : тезисы докл. – Кострома, 2004. – Т. 3. – С. 93–95.

14. Ackerman N.I. Stresses in rapidly Fluid – Solid Mixtures / N.I. Ackerman, H.H. Shen // Dev. Eng. Mech. – ASCE, 1982. – Vol. 108. – P. 95-113.

15. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара / М. : Наука, 1977. – 224 с.

16. Dolgunin V.S. Segregation Modeling of particle rapid gravity flow / V.S. Dolgunin, A.A. Ukolov // Powder Technology. – 1995. – Vol. 83. – P. 95.

Список джерел в транслітерації

1. Spirin A.V. Perspektivna tehnolohiya zbyrannya nasynnykiv trav / A.V. Spirin, I.V. Tverdokhlib // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – Vinnytsya : VNAU, 2016. – № 1 (93). – S. 25–27.

2. Tverdokhlib I.V. Theoretical studies on the working capacity of disk devices for grinding agricultural crop seeds / I.V. Tverdokhlib, A.V.Spirin // Inmateh. Agricultural Engineering. – Bucharest : National Institute of research-development for machines and installations designed to Agriculture and food industry, 2016. – Vol. 48. – No. 1 / 2016. –Pag. 43–52.

3. Barth W. Protsessy, proyskhodyashchye pry transportyrovke tverdykh y zhydkykh chastyts v hazakh s uchetom protsessov, voznykayushchykh pry pnevmaticheskoy transportyrovke / W. Barth // Chemie. -Ihg.-Techn., 30. – 1958. – № 3. – S. 171–180.

4. Selger G. Konstruktsyya sel'skokhozyaystvennykh vozdukhoduvok-transporterov / G. Selger // Landtechn. Forsch., 1. – 1956. – № 1. – S. 2–10.

5. Hushchyn V.M. Rezhymy dvyzhenyya aэросмесей v pnevmotransportnom truboprovode / V.M. Hushchyn // Heotekhnichna mekhanika. Mizhvid. zb. nauk. prats' in-tu heotekhn. mekh. NAN Ukrainy. – Dnipropetrovs'k, 1999. – Vyp. 13. – S. 71–76.

6. Hushchyn V.M. Vosstanovlenye struktury dvyzhenyya aэросмесей v pnevmotransportnom truboprovode / V.M. Hushchyn // Vestn. Nats. Tekhn. Un-ta Ukrainy KPY. Mashynostroenye. – K., 2000. – Vyp. 38. – Т. 2. – S. 158–162.

7. Borshchev V.Ya. Analiz vzaymodeystviyya neэlastychnykh nesvyaznykh chastyts sferycheskoy formy v bystrom sdvyhovom potoke / V.Ya. Borshchev, V.N. Dolhunyn, P.A. Yvanov // Matematycheskiye metody v tekhnike y tekhnolohyyakh: XVII mezhdunar. nauch. konf., 2004 h. : tez. dokl.– Kostroma, 2004. – Т. 3. – S. 93–95.

8. Welshcof G. Pneumatische Forderung bei grossen fordergut-konzentrationen / G.Welshcof. – Dusseldorf : VDI- Verlag GMBH, 1962. – 492 S.

9. Shyrko Y.V. Statysticheskoe yssledovanye techenyy hranulyrovannykh sred / Y.V. Shyrko // Dep. VYNYTY 12.04.1982. – № 1738-82.

10. Shyrko Y.V. Fenomenolohycheskaya teorya dvyzhenyya hranulyrovannoy sredy, osnovannaya na metodakh statycheskoy mekhaniky / Y.V. Shyrko, V.A. Sakharov // Teoretycheskiye osnovy khymycheskoy tekhnolohyy. – 1987. – Т. 21. – № 5. – S. 661–668.

11. Dolhunyn V.N. Быстрые hravytatsyonnye techenyya zernystykh materialov: tekhnika yzmerenyya, zakonomernosty, tekhnolohycheskoe prymerenyye / V.N. Dolhunyn, V.Ya. Borshchev. – М. : Yzd. Mashynostroenye-1, 2005. – 112 s.

12. Shen H.H. Constitutive Relationships for Fluid – Solid Mixtures / H.H. Shen, Ackermann N.I. // Dev. Eng. Mech. – ASCE, 1982. – Vol. 108. – P. 748.

13. Borshchev V.Ya. Analiz vzaymodeystviyya neэlastychnykh nesvyaznykh chastyts sferycheskoy formy v bystrom sdvyhovom potoke / V.Ya. Borshchev, V.N. Dolhunyn, P.A. Yvanov // Matematycheskiye metody v tekhnike y tekhnolohyyakh : XVII mezhdunar. nauch. konf., 3-5 okt. 2004 h. : tezysy dokl. – Kostroma, 2004. – Т. 3. – S. 93–95.

14. Ackerman N.I. Stresses in rapidly Fluid – Solid Mixtures / N.I. Ackerman, H.H. Shen // Dev. Eng. Mech. – ASCE, 1982. – Vol. 108. – P. 95-113.

15. Panovko Ya.H. Vvedenye v teoryyu mekhanycheskoho udara / М. : Nauka, 1977. – 224 s.

16. Dolgunin V.S. Segregation Modeling of particle rapid gravity flow / V.S. Dolgunin, A.A. Ukolov // Powder Technology. – 1995. – Vol. 83. – P. 95.

**ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В
СЫПУЧЕЙ ЗЕРНОВОЙ СРЕДЕ**

Аннотация. В статье приведены теоретические исследования динамики движения частиц в сыпучей зерновой среде. Сбор семенников люцерны требует вытирания вороха в стационарных машинах, например, в терочном устройстве с подвижным и неподвижным дисками. При рассмотрении процесса перемещения сыпучего материала были приняты предположения, что транспортировка происходит в виде сплошного потока, а частицы в процессе движения являются упругими и сохраняют свою форму и массу. Во время движения частица вороха принимает участие в переносом, вращательном движении вместе с подвижным диском и одновременно в относительном вдоль канавок бил неподвижного диска. Семенной ворох представляет собой поток, в котором мгновенная скорость частиц является суммой трех компонент скорости: флуктуации, поступательного и вращающейся.

Для определения частоты соударения частиц материала сыпучей среды применяется метод Аккермана-Шена согласно которому, частота прямо пропорциональна напряжению сдвига и обратно пропорциональна диссипации кинетической энергии соударения частицы при одном контакте.

Диссипация кинетической энергии соударения одной частицы вороха за ее единичный контакт определяется по формуле Аккермана-Шена. Согласно гипотезы Гаусса связь между величинами нормального и касательного импульсов при ударе устанавливается согласно закону Кулона для трения.

Полученная в результате исследований математическая модель характеризует общую суммарную кинетическую энергию взаимных перемещений частиц зернистого среды и может быть использована для определения рациональных параметров терочного устройства.

Ключевые слова: сыпучая среда, ворох частица, движение, перемещение, параметры.

**DYNAMICS OF PARTICLE MOVEMENT IN
CUTTING GRAIN ENVIRONMENT**

Annotation. The article deals with theoretical studies of the dynamics of particles motion in a loose cereal environment. The harvesting of alfalfa seedlings requires wiping the husk in stationary machines, for example, in a grater device with movable and stationary disks. When considering the process of moving the bulk material, assumptions were made that the transport is in the form of a continuous flow, and the particles in the course of the movement are elastic and retain their shape and mass. During the movement, the trowel particle participates in the portable, rotational motion along with the rolling disc and simultaneously in the relative along the grooves beat the stationary disk. the seed trough represents a flow in which the instantaneous particle velocity is the sum of the three components of the velocity: fluctuation, translational and rotary.

The Ackerman-Shen method is used to determine the frequency of the particles of a floating material material, according to which, the frequency is directly proportional to the strain of the shear and is inversely proportional to the dissipation of the kinetic energy of the particle with one contact.

The dissipation of the kinetic energy of the bend of one particle of a heap for its single contact is determined by the Ackerman-Shen formula. According to Gauss's hypothesis, the connection between the values of normal and tangent impulses during the impact is established in accordance with the law of the Coulomb for friction.

The mathematical model obtained as a result of research characterizes the total total kinetic energy of mutual displacements of particles of a granular medium and can be used to determine the rational parameters of a grating device.

Key words: friable medium, particle flux, motion, displacement, parameters.