

ВЛИЯНИЕ ОСАЖДАЮЩЕГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА УМЕНЬШЕНИЕ СНОСА РАСПЫЛЕННЫХ КАПЕЛЬ

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния осаждающего воздушного потока на уменьшение сноса распыленных капель жидкости, на которые действует боковой воздушный поток.

Ключевые слова: *распыление, снос капель, боковой воздушный поток, осаждающий воздушный поток, движение капель.*

INFLUENCE OF PRECIPITATING AIRFLOW ON DRIFT REDUCTION OF ATOMIZED DROPLETS

The results of theoretical and experimental studies concerning drift reduction of atomized droplets of liquid, which are effected by the cross airflow, with a precipitating airflow are given.

Key words: *spray, drift droplets, cross airflow, precipitating airflow, droplets motion.*

УДК 631.362.333

ДО НАБЛИЖЕНОГО РОЗВ'ЯЗКУ РІВНЯНЬ РУХУ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ В БАРАБАННОМУ СКАЛЬПЕРАТОРІ

Л.М. Тіщенко, докт. техн. наук, проф., академік НААН,
С.А. Богданович, аспірант

*Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка*

Запропоновано наближений розв'язок рівнянь руху зернового вороху в барабанному скальператорі з урахуванням впливу вібрації на технологічний процес.

Ключові слова: *скальператор, циліндричне решето, зерновий ворох, вібрації, технологічний процес, моделювання.*

Проблема. У сучасних зерноочисних комплексах для попереднього очищення зернового вороху (ЗВ) широко застосовуються барабанні скальператори. Вони прості за конструкцією, технічно надійні, мало травмують зерно. Накладання вібрацій на обертальний

© Л.М. Тіщенко, С.А. Богданович.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

рух барабана скальператора покращує сегрегацію ЗВ і дає змогу підвищити питому продуктивність машини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Донедавна рух шару сипкого матеріалу по циліндричних робочих органах розглядали як рух матеріальної точки, окремої частини [1,2]. Використання такої моделі виправдане при дослідженні закономірностей руху тонкого шару, товщина якого порівняна з розмірами часток. Наявність значних спрощень дозволяє за допомогою звичайних диференціальних рівнянь теоретично визначати показники процесу: середню швидкість руху суміші, продуктивність решета й ін., однак при цьому вплив сегрегації не враховується. Особливо це важливо для процесу скальперування, де для просівання зернової фракції ЗВ визначальною є можливість проникнення зерна на поверхню решета, яка, перш за все, визначається сегрегацією ЗВ.

Для опису розвинених зсувних рухів ЗВ як сипкого середовища часто використовується теорія «швидких» рухів [3]. Наявність вібраційних впливів призводить до того, що сипке середовище поводить себе як в'язка рідина зі складним реологічним законом [4]. У таких умовах закономірності руху ЗВ у циліндричному решеті, що обертається з накладеною вібрацією, визначаються законами динаміки в'язкої рідини в припущенні виконання співвідношень Нав'є-Стокса [5].

Мета дослідження. Шляхом рішення рівнянь руху ЗВ в барабанному зерновому скальператорі теоретично встановити параметри, що визначають технологічний процес.

Результати дослідження. Визначивши тензор напружень з урахуванням умови нестисливості, а також граничних умов на вільній поверхні ЗВ і на поверхні решета, в [6] отримані рівняння, що описують процес руху з урахуванням прийнятих допущень.

Прийнята умова нестисливості середовища дає перше рівняння, що має в обраній системі координат вигляд:

$$\frac{dv_x}{dx} + \frac{dv_y}{dy} + \frac{dv_z}{dz} = 0. \quad (1)$$

Рівняння руху, що виражає другий закон механіки суцільного середовища:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \operatorname{div} \delta + \rho \vec{g}, \quad (2)$$

де ρ - щільність середовища (у нашому випадку величина постійна); \bar{g} - інтенсивність зовнішніх сил, що діють на середовище (тут рівна прискоренню вільного падіння); δ - тензор напружень, що має компоненти, обумовлені співвідношенням:

$$\delta = -P\bar{\delta} + \left(\lambda - \frac{2}{3}\mu \right) \text{div}\bar{v} + 2\mu\bar{V}, \quad (3)$$

де λ, μ - об'ємний і зсувний коефіцієнти в'язкості, що є функціями інтенсивності вібрації $j = a\omega^2$ (a, ω -відповідно амплітуда і частота вібраційних коливань), p - тиск, $\bar{\delta}$ - одиничний тензор, $\bar{v} = (v_1(x_1, x_2, x_3), v_2(x_1, x_2, x_3), v_3(x_1, x_2, x_3))$ - поле швидкостей суцільного середовища, V - тензор швидкостей деформацій.

Початкові умови записуються шляхом завдання початкового поля швидкостей, а граничні визначаються таким чином. На твердій стінці циліндричного решета отвори розглядаємо як деякі стоки з рівномірно розподіленою по поверхні S_0 щільністю, що визначають нормальну складову швидкості зернового потоку відповідно до закону фільтрації з деяким феноменологічним коефіцієнтом K_a . Дотичні складові напружень на S_0 повинні відповідати закону сухого тертя:

$$\bar{p}_n \cdot \bar{\tau} = -\frac{\bar{w}_\tau \cdot \bar{\tau}}{|\bar{w}_\tau|} (fp|_{S_0} + \lambda|\bar{w}_\tau|), \quad (4)$$

де \bar{p}_n - напруження на поверхні S_1 ; $\bar{\tau}$ - довільний одиничний вектор, дотичний до поверхні S_0 ; \bar{w}_τ - відносна дотична складова швидкості зерна біля внутрішньої поверхні решета.

На вільній поверхні виконується кінематична умова й динамічні умови відсутності напружень [6], які в скалярній формі відповідають трьом умовам у проекціях на нормаль \bar{n} і два одиничних різних дотичних до S_1 вектора τ_1 і τ_2 :

$$\begin{aligned} n_i \left(-p\delta_{ik} + \mu \left(\frac{\partial v_k}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) \right) n_k |_{S_1} &= 0; \\ \mu n_i \left(\frac{\partial v_k}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) \tau_{1k} |_{S_1} &= 0; \\ \mu n_i \left(\frac{\partial v_k}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) \tau_{2k} |_{S_1} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Для розв'язку задачі скористаємося наближеним методом інтегрального балансу [5].

Будемо розглядати стаціонарний процес руху потоку ЗВ. У цьому випадку розшукувані функції не залежать явно від часу t , а, отже, і частинні похідні за змінною t дорівнюють нулю. Розв'язок задачі розшукуємо у вигляді певної залежності від просторових змінних, що мають деякі невідомі параметри. Записуємо вихідну систему рівнянь в інтегральній формі, підставляємо в них представлені розшукувані функції, одержуємо систему рівнянь щодо введених невідомих параметрів. У деяких випадках вдається в такий спосіб знайти точне рішення, але, як правило, виходить наближене рішення, яке ближче до точного тоді, коли вибране представлення найбільше відповідає його характеру.

Позначимо через $S = S(z)$ поперечний перетин потоку ЗВ (рис. 1). Розглянемо елементарний геометричний об'єм ΔV між перетинами $S(z), S(z + dz)$, розташованими на відстані dz .

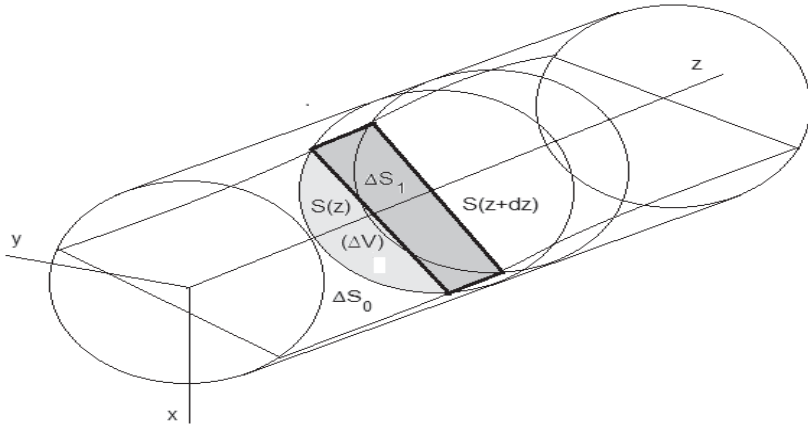


Рис. 1. Розрахункова схема циліндричного решета

Проінтегруємо за цим об'ємом ліву й праву частини математичного виразу умови нестисливості й застосуємо формулу Гаусса-Остроградського [7]. Одержимо інтегральну форму рівняння нестисливості у вигляді:

$$\oint_{\Delta\Sigma} \mathbf{v}_n dS = 0, \quad (6)$$

де v_n є нормальною складовою швидкості на $\Delta\Sigma$, а інтегрування ведеться по всій поверхні $\Delta\Sigma = \Delta S_0 + \Delta S_1 + S(z) + S(z + dz)$, або

$$\int_{\Delta S_0} v_r|_{S_0} dS + \int_{\Delta S_1} v_n|_{S_1} dS + \int_{S(z+dz)} v_z|_{S(z+dz)} dS - \int_{S(z)} v_z|_{S(z)} dS = 0. \quad (7)$$

Аналогічні дії виконаємо й з рівнянням руху (2). Інтеграл за об'ємом ΔV від лівої частини рівняння руху перетворимо, використовуючи відому теорему переносу й те, що рух є стаціонарним, до виду [8]:

$$\int_{\Delta V} \rho \frac{d\vec{v}}{dt} dV = \oint_{\Delta\Sigma} v_n \rho \vec{v} dS. \quad (8)$$

Тоді, використовуючи співвідношення Коші, одержимо наступне інтегральне співвідношення:

$$\oint_{\Delta\Sigma} (\vec{p}_n - \rho v_n \vec{v}) dS + \int_{\Delta V} \rho \vec{g} dV = 0. \quad (9)$$

Враховуючи склад поверхні $\Delta\Sigma$, останнє рівняння можна привести до виду

$$\begin{aligned} & \int_{\Delta S_0} (\vec{p}_r - \rho v_r \vec{v})|_{S_0} dS + \\ & + \int_{\Delta S_1} (\vec{p}_n - \rho v_n \vec{v})|_{S_1} dS + \\ & + \int_{S(z+dz)} (\vec{p}_z - \rho v_z \vec{v})|_{S(z+dz)} dS - \\ & - \int_{S(z)} (\vec{p}_z - \rho v_z \vec{v})|_{S(z)} dS + \int_{\Delta V} \rho \vec{g} dV = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

де \vec{p}_r, v_r - напруження на поверхні циліндра S_0 й радіальна складова швидкості на ній; \vec{p}_n, v_n - напруження на вільній поверхні S_1 й нормальна складова швидкості на ній; \vec{p}_z, v_z - напруження на $S(z)$ й z -ова складова швидкості в перерізах $S(z), S(z + dz)$.

Надалі буде потрібна тільки одна складова рівняння (10) – його проекція на вісь Oz .

Розглянемо поперечний перетин $S(z)$ циліндричного решета (рис. 2). Введемо орти \vec{e}_τ, \vec{e}_r (дотичний і нормальний до контуру C_0) й \vec{e}_z - орт осі Oz :

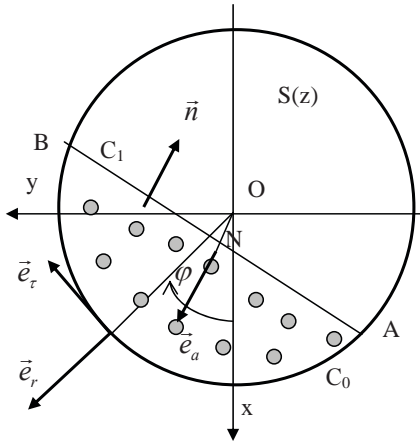


Рис. 2. Поперечний перетин циліндричного ґратта із ЗВ

$$\begin{aligned} \vec{e}_\tau &= (-\cos \varphi, \sin \varphi, 0) \\ \vec{e}_r &= (\cos \varphi, \sin \varphi, 0) \quad , \quad (11) \\ \vec{e}_z &= (0, 0, 1) \end{aligned}$$

де φ - полярний кут у площині перетину $S(z)$.

Величина $\vec{p}_r \cdot \vec{e}_z$ на S_0 визначається силою тертя згідно з формулою (4):

$$\vec{p}_r \cdot \vec{e}_z = -\frac{w_{rz}}{|w_{rz}|} \left(f p|_{S_0} + \lambda |w_{rz}| \right). \quad (12)$$

На поверхні S_1 напруження відсутні, а на поверхнях $S(z)$, $S(z + dz)$ маємо:

$$\vec{p}_z \cdot \vec{e}_z = -p + 2\mu \frac{\partial v_z}{\partial z}. \quad (13)$$

Множачи скалярно обидві частини рівняння (10) на \vec{e}_z й враховуючи граничні умови, одержимо співвідношення:

$$\begin{aligned} & - \int_{\Delta S_0} \left(\frac{w_{rz}}{|w_{rz}|} \left(f p|_{S_0} + |w_{rz}| \right) + \rho v_r v_z \right) dS - \\ & - \int_{\Delta S_1} \rho v_n v_z|_{S_1} dS + \int_{S(z+dz)} \left(-p + 2\mu \frac{\partial v_z}{\partial z} - \rho v_z^2 \right) dS - \\ & - \int_{S(z)} \left(-p + 2\mu \frac{\partial v_z}{\partial z} - \rho v_z^2 \right) dS + \int_{\Delta V} \rho \vec{g} \cdot \vec{e}_z dV = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Для подальшого будуть потрібні вирази одиничних векторів \vec{E}_z : дотичного до поверхні S_1 й \vec{n} нормального до неї. Для цього виконаємо наступне.

Нехай рівняння поверхні S_1 задане у вигляді (рис. 3):

$$y = F(x, z). \quad (15)$$

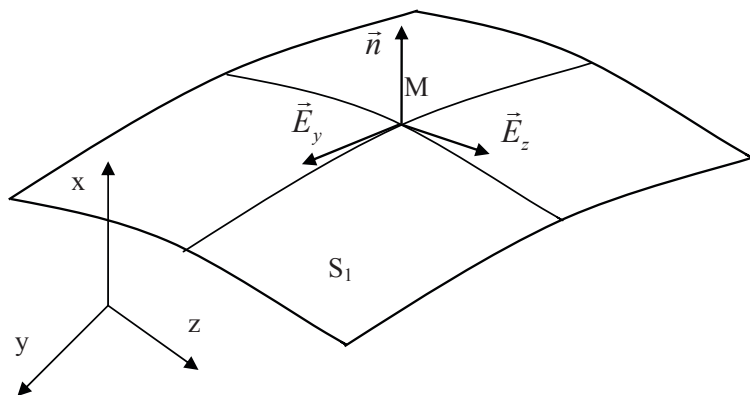


Рис. 3. До визначення нормалі до поверхні S_1

Тоді радіус-вектор довільної т. M цієї поверхні задається у вигляді:

$$\vec{r} = \vec{R}(x, z), \quad (16)$$

що відповідає параметрично заданій поверхні в просторі [9].

Вектори \vec{E}_y, \vec{E}_z дотичні до S_1 й нормальний \vec{n} до неї визначаються співвідношеннями:

$$\vec{E}_y = \frac{\partial \vec{R}}{\partial y} \left| \frac{\partial \vec{R}}{\partial y} \right|^{-1}, \quad \vec{E}_z = \frac{\partial \vec{R}}{\partial z} \left| \frac{\partial \vec{R}}{\partial z} \right|^{-1}, \quad \vec{n} = \vec{E}_y \times \vec{E}_z. \quad (17)$$

Величинами, які можуть визначитися із приведеного рішення, є компоненти вектора швидкості $v_x(x, y, z), v_y(x, y, z), v_z(x, y, z)$, тиск $p = p(x, y, z)$ і функція, що визначає вільну поверхню.

Висновок. Наближеним методом інтегрального балансу можна знайти параметри руху ЗВ у циліндричному решеті скальператора і визначити їх раціональні поєднання для підвищення ефективності технологічного процесу.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Летошнев М.Н.* О движении зерна внутри горизонтально вращающегося цилиндра. -»Труды ЛИМСХ», вып. УП. -Л., 1950, -С. 7-54.
2. *Василенко П.М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. - К.: УСХА, 1960. - 283 с.
3. *Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений:* Сб.

- ст.; пер. с англ. / сост. И.В. Ширко. -М.: Мир, 1985.
4. *Гольдштик М.А.* Процессы переноса в зернистом слое. /М.А.Гольдштик. -Новосибирск: СО АН СССР, Ин-т теплофиз., 1984. - 164 с.
 5. *Слеттери Дж. С.* Теория переноса импульса, энергии и массы в сплошных средах. / Дж.С.Слеттери - М.: Энергия, 1978.-448 с.
 6. *Тищенко Л.Н.* К исследованию факторов, влияющих на технологический процесс барабанного зернового скальператора /Л.Н.Тищенко, А.В.Миняйло, С.А.Богданович //Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. - Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2012. - Вип.131. - С.5-11.
 7. *Владимиров В.С.* Уравнения математической физики./ В.С.Владимиров - М.: Наука, 1988. - 512 с.
 8. *Тарапов И.Е.* Механика сплошной среды. В 3 ч. Ч.2: Общие законы кинематики и динамики. / И.Е.Тарапов - Харьков: Золотые страницы, 2002. - 516 с.
 9. *Погорелов А.В.* Лекции по дифференциальной геометрии. / А.В.Погорелов - Харьков: Изд-во Харьковск. госун-та, 1967. - 163 с.

К ПРИБЛИЖЕННОМУ РЕШЕНИЮ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА В БАРАБАННОМ СКАЛЬПЕРАТОРЕ

Предложен способ решения уравнений движения зернового вороха в барабанном скальператоре с учетом вибрационного воздействия на процесс

Ключевые слова: скальператор, цилиндрическое решето, зерновой ворох, вибрации, технологический процесс, моделирования.

AN APPROXIMATE SOLUTION OF TRAFFIC GRAIN MASS IN THE DRUM SKALPERATORE

We propose a method for solving the equations of motion of the grain pile in drum skalperatore considering the interventions on the process

Key words: drum skalperatore, grain pile, considering.