УДК 631.362.333

К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПРОСЕИВАНИЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕШЕТЕ СКАЛЬПЕРАТОРА

Богданович С. А., к.т.н., ст. преп.
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка

Для описания процесса сепарации зернового вороха в барабанном скальператоре предложено составить математическую модель процесса на основе законов динамики вязкой жидкости с учетом влияния сепарации.

Постановка проблемы. Для увеличения интенсивности процесса сепарации зернового вороха в барабанном скальператоре на вращательное движение барабана предлагается накладывать вибрации.

Анализ последних исследований. В скальператоре зерновой ворох разделяется на зерновую часть, которая незатрудненно проходит через отверстия цилиндрического решета, и крупные примеси, удаляемые сходом. Для описания равновесия зернового потока как многофазной среды применяют методы теории пластичности, для развитых сдвиговых движений используют теорию «быстрых» движений [1-2]. Вибрационное воздействие приводит к тому, что сыпучая среда проявляет себя как вязкая «жидкость» со сложным реологическим законом [3-4].

Основная часть. Рабочим органом скальператора является цилиндрический решетный барабан S_0, имеющий длину L и радиус R_0, и вращающийся вокруг горизонтальной оси с постоянной угловой скоростью Ω.

Введем декартову систему координат (x, y, z), ось Oz которой направим вдоль оси цилиндра (рис.1). Зерно поступает в барабан извне в начальной области цилиндра, что позволяет принять условие: расход зернового потока Q_1 и глубина засыпки при $z = 0$ являются заданными величинами.

Наложение вибраций интенсивностью $j = a\omega^2$ на вращательное движение барабанного решета приводит к тому, что среда в этих условиях подчиняется законам динамики вязкой среды, реологический закон которой аналогичен закону Навье-Стокса.

Принимаемое условие несжимаемости среды дает уравнение, имеющее в выбранной системе координат вид:

$$\frac{\partial \mathrm{v}_x}{\partial x} + \frac{\partial \mathrm{v}_y}{\partial y} + \frac{\partial \mathrm{v}_z}{\partial z} = 0 . \qquad (1)$$

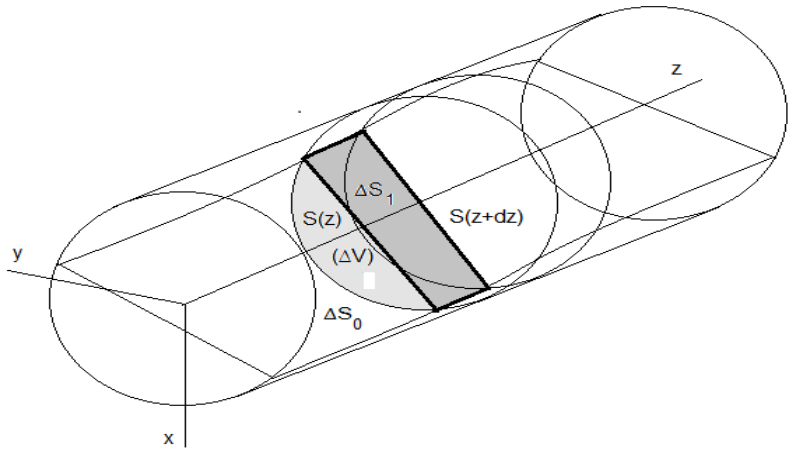

Рис. 1 – Расчетная схема скальператора

Уравнение движения, выражающее второй закон механики сплошной среды:

$$\rho \frac{d\vec{\mathrm{v}}}{dt} = div\,\hat{\sigma} + \rho\vec{g}\,, \tag{2}$$

где ρ - плотность среды (в данном случае величина постоянная);
$\vec{g}$ - интенсивность внешних сил, действующих на среду (в нашем случае равная ускорению свободного падения);
$\hat{\sigma}$ - тензор напряжений.

Если пренебречь влиянием тепловых процессов на динамику среды, то система уравнений (1),(2) является замкнутой системой и для ее решения достаточно задать начальные и граничные условия. Начальные условия состоят в задании начального поля скоростей, а граничные принимают следующий вид. На твердой стенке цилиндра отверстия рассматриваем как некоторые стоки с равномерно распределенной по поверхности S_0 плотностью, определяющими нормальную составляющую скорости зернового потока в соответствии с законом Дарси [5] с некоторым феноменологическим коэффициентом K_d.

Касательные составляющие напряжений на S_0 должны соответствовать закону сухого трения:

$$\vec{p}_n \cdot \vec{\tau} = -\frac{\vec{w}_\tau \cdot \vec{\tau}}{|\vec{w}_\tau|}\left(f\ p|_{S_0} + \lambda |\vec{w}_\tau| \right), \tag{3}$$

где $\vec{\tau}$ - произвольный единичный вектор, касательный к поверхности S_0.

На свободной поверхности выполняется кинематическое условие и динамические условия отсутствия напряжений, которые в скалярной форме соответствуют трем условиям в проекциях на нормаль $\vec{n}$ и два единичных различных касательных к S_1 векторов $\vec{\tau}_1, \vec{\tau}_2$:

$$n_i\left(-p\delta_{ik}+\mu\left(\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x_i}+\frac{\partial \mathrm{v}_i}{\partial x_k}\right)\right)n_k\Bigg|_{S_1}=0$$

$$\mu n_i\left(\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x_i}+\frac{\partial \mathrm{v}_i}{\partial x_k}\right)\tau_{1k}\Bigg|_{S_1}=0 \quad . \tag{4}$$

$$\mu n_i\left(\frac{\partial \mathrm{v}_k}{\partial x_i}+\frac{\partial \mathrm{v}_i}{\partial x_k}\right)\tau_{2\mathrm{E}k}\Bigg|_{S_1}=0$$

Вибрации, воздействующие на устройство, влияют на величину феноменологических коэффициентов (коэффициенты вязкости, трения и пр.) [6-8]. При увеличении интенсивности вибраций j коэффициенты трения и вязкости убывают, стремясь к некоторому асимптотическому значению [6]. Для решения задачи воспользуемся приближенным методом интегрального баланса, который заключается в следующем [9].

Будем рассматривать в дальнейшем стационарный процесс движения потока. В этом случае разыскиваемые функции не зависят явно от времени t, а, следовательно, и частные производные по переменной t равняются нулю.

Обозначим через $S=S(z)$ поперечное сечение зернового потока (рис.1). Рассмотрим элементарный геометрический объем ΔV, заключенный между сечениями $S(z), S(z+dz)$, расположенными друг от друга на расстоянии dz.

Проинтегрируем по данному объему левую и правую части уравнения и применим формулу Гаусса-Остроградского [10]. Получим интегральную форму уравнения несжимаемости в виде:

$$\oint \mathrm{v}_n dS = 0, \tag{5}$$

где v_n – нормальная составляющая скорости на $\Delta\Sigma$, а интегрирование ведется по всей поверхности $\Delta\Sigma$:

$$\int_{\Delta S_0} \mathrm{v}_r\big|_{S_0} dS + \int_{\Delta S_1} \mathrm{v}_n\big|_{S_1} dS + \int_{S(z+dz)} \mathrm{v}_z\big|_{S(z+dz)} dS - \int_{S(z)} \mathrm{v}_z\big|_{S(z)} dS = 0 . \tag{6}$$

Аналогичные действия произведем и с уравнением движения (2). Интеграл по объему ΔV от левой части уравнения преобразуем, используя известную теорему переноса и то, что движение является стационарным, к виду [11]:

$$\int_{\Delta V} \rho \frac{d\vec{\mathrm{v}}}{dt} dV = \oint_{\Delta\Sigma} \mathrm{v}_n \rho \vec{\mathrm{v}} dS. \tag{7}$$

Тогда, используя соотношение Коши [11], получим следующее интегральное соотношение:

$$\oint_{\Delta\Sigma} \left(\vec{p}_n - \rho \mathrm{v}_n \vec{\mathrm{v}}\right) dS + \int_{\Delta V} \rho \vec{g} dV = 0 . \tag{8}$$

Учитывая состав поверхности $\Delta\Sigma$, последнее уравнение можно привести к виду:

$$\begin{aligned}
&\int_{\Delta S_0} \left(\vec{p}_r - \rho \mathrm{v}_r \vec{\mathrm{v}}\right)\Big|_{S_0} dS + \\
&+\int_{\Delta S_1} \left(\vec{p}_n - \rho \mathrm{v}_n \vec{\mathrm{v}}\right)\Big|_{S_1} dS + \\
&+\int_{S(z+dz)} \left(\vec{p}_z - \rho \mathrm{v}_z \vec{\mathrm{v}}\right)\Big|_{S_{(z+dz)}} dS - \\
&-\int_{S(z)} \left(\vec{p}_z - \rho \mathrm{v}_z \vec{\mathrm{v}}\right)\Big|_{S_{(z)}} dS + \int_{\Delta V} \rho \vec{g} dV = 0
\end{aligned} \tag{9}$$

где $\vec{p}_r, \mathrm{v}_r$ - напряжения на стенке цилиндра S_0 и радиальная составляющая скорости на ней;

$\vec{p}_n, \mathrm{v}_n$ - напряжения на свободной поверхности S_1 и нормальная составляющая скорости на ней;

$\vec{p}_z, \mathrm{v}_z$ - напряжения на $S(z)$ и z -овая составляющая скорости в сечениях $S(z), S(z+dz)$.

Рассмотрим поперечное сечение $S(z)$ цилиндрического решета. Введем орты $\vec{e}_\tau, \vec{e}_r$: касательный и нормальный к контуру C_0 и $\vec{e}_z$- орт оси Oz

$$\begin{aligned}
&\vec{e}_\tau = (-\cos\varphi, \sin\varphi, 0) \\
&\vec{e}_r = (\cos\varphi, \sin\varphi, 0) \\
&\vec{e}_z = (0, 0, 1)
\end{aligned} \tag{10}$$

где φ – полярный угол в плоскости сечения $S(z)$.

Величина $\vec{p}_r \cdot \vec{e}_z$ на S_0 определяется силой трения согласно формуле (3):

$$\vec{p}_r \cdot \vec{e}_z = -\frac{w_{\tau z}}{|w_{\tau z}|}\left(f\ p\big|_{S_0} + \lambda |w_{\tau z}|\right). \tag{11}$$

На поверхности S_1 напряжения отсутствуют, на поверхностях $S(z)$, $S(z+dz)$ имеем:

$$\vec{p}_z \cdot \vec{e}_z = -p + 2\mu \frac{\partial \mathrm{v}_z}{\partial z}. \tag{12}$$

Умножая скалярно обе части уравнения (9) на $\vec{e}_z$ и, учитывая граничные условия согласно соотношениям Коши [11] и (3), получим соотношение:

$$\begin{aligned}
&-\int_{\Delta S_0} \left(\frac{w_{\tau z}}{|w_{\tau z}|}\left(f\ p\big|_{S_0} + |w_{\tau z}|\right) + \rho \mathrm{v}_r \mathrm{v}_z \right)\Bigg|_{S_0} dS - \\
&-\int_{\Delta S_1} \rho \mathrm{v}_n \mathrm{v}_z\big|_{S_1} dS + \int_{S(z+dz)} \left(-p + 2\mu \frac{\partial \mathrm{v}_z}{\partial z} - \rho \mathrm{v}_z^2 \right)\Bigg|_{S_{(z+dz)}} dS - \\
&-\int_{S(z)} \left(-p + 2\mu \frac{\partial \mathrm{v}_z}{\partial z} - \rho \mathrm{v}_z^2 \right)\Bigg|_{S_{(z)}} dS + \int_{\Delta V} \rho \vec{g} \cdot \vec{e}_z dV = 0
\end{aligned} \tag{13}$$

Вывод. Математическая модель процесса сепарации зерновой смеси на барабанном скальператоре может быть составлена с помощью законов динамики вязкой среды, реологический закон, которой аналогичен закону Навье-Стокса, а феноменологические коэффициенты, которого зависят от интенсивности вибраций. Влияние сепарации на процесс движения смеси учитывается с помощью закона фильтрации Дарси.

Список использованной литературы

1. Голованов Ю.В., Ширко И.В. Обзор современного состояния механики быстрых движений гранулированных материалов. В кн. Механика гранулир.сред. Теория быстрых движений. -М.: Мир. 1985. - с.86-146.
2. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. - М.: Наука. 1990. - 272с.
3. Сэвидж С. Гравитационное течение несвязанных гранулированных материалов. В кн. Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений. - М.: Мир.1985. - с.86-146.
4. Гольдштик М.А. Процессы переноса в зернистом слое. - Новосибирск: СО АН СССР.Ин-т теплофиз. 1984. - 163 с.
5. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. - ОГИЗ ГИТТЛ, М.-Л., 1947. - 214 с.
6. Цытович Н.А. Механика грунтов. - М.: Гос.издат. лит. по строительству, архитект. и стройматер. 1963. - 636 с.
7. Заика П.М. Динамика вибрационных очистительных машин. - М.: Машиностроение.- 1977. - 278 с.
8. 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.
9. Слеттери Дж. С. Теория переноса импульса, энергии и массы в сплошных средах. - М.: Энергия, 1978. -448 с.
10. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. - М.:Наука. 1988. - 512 с.
11. Седов Л.И. Механика сплошных сред. Т. 1. - М.: Наука. 1976. - 536 с.

Аннотация

ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПРОСІЮВАННЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ У ЦИЛІНДРИЧНОМУ РЕШЕТІ СКАЛЬПЕРАТОРА

Богданович С. А.

Для опису процесу сепарації зернового вороху у барабанному скальператорі запропоновано скласти математичну модель процесу на основі законів динаміки в'язкої рідини з урахуванням впливу сепарації.

Abstract

TO THE CONSTRUCTION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF GRAIN HEAP IN THE CYLINDRICAL SIEVE OF THE SCALPERATOR

S. Bogdanovich

To describe the process of grain heap separation in a drum scalperator, it is proposed to compile a mathematical model of the process based on the laws of the dynamics of a viscous fluid, taking into account the effect of separation.

УДК 631. 362

СЕПАРАЦІЯ НАСІННЄВОЇ СУМІШІ СОЇ НА МЕХАТРОННІЙ МУЛЬТИПЛОЩИННІЙ ВІБРАЦІЙНІЙ НАСІННЄОЧИСНІЙ МАШИНІ

Лук'яненко В. М., к.т.н., доц., Никифоров А. О., Галич І. В., Лук'яненко О. В., ст. викл-чі, Петрик А. П., асп.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Наведені результати експериментальних досліджень сепарації насіннєвої суміші сої на мехатронній мультиплощинній вібраційній насіннєочисній машині. За один пропуск отримано 82,5 – 88,7% кондиційного насіння сої від маси вихідного матеріалу.

Постановка задачі. Соя – один з найбагатших білком рослинних продуктів. Ця властивість дозволяє використовувати сою для приготування і збагачення різних блюд, а також в якості основи рослинних замінників продуктів тваринного походження. В останні роки вона набула в Україні велику популярність – її вирощують в усіх регіонах більшість сільськогосподарських господарств.

Отримання високих урожаїв сої, як і інших культур, повязано з використанням для посіву високоякісного посівного матеріалу.

При збиранні сої в бункер комбайну окрім якісного насіння сої потрапляє цілий ряд різноманітних домішок. Крім того при зрізанні і обмолочуванні сої частина врожаю травмується або розколюється на дві половинки. Через те, що травмоване насіння сої нездатне сформувати повноцінний росток, є необхідність в його відокремленні від основної насіннєвої маси.

На кафедрі якості, стандартизації та сертифікації ХНТУСГ ім. П. Василенка розроблена конструкція мехатронної мультиплощинної вібраційної насіннєочисної машини, використання якої забезпечує високу ефективність підготовки посівного матеріалу різних сільськогосподарських культур [1, 2, 3].