

Тищенко Л. Н.
Миняйло А. В.
Богданович С. А.

*Харьковский
национальный
технический
университет
сельского хозяйства
имени Петра
Василенко*

УДК 631.362.333

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС БАРАБАННОГО ЗЕРНОВОГО СКАЛЬПЕРАТОРА

Накладення вібрацій на обертальний рух горизонтального циліндричного решета дозволяє значно підвищити його продуктивність. Досліджений вплив вібрації на технологічний процес попереднього очищення зернового вороху на решеті барабанного скальператора.

Imposition of vibrations on rotatory motion of horizontal cylindrical sieve allows considerably to promote his productivity. Influence of vibration on the technological process of pre-cleaning of corn lots is investigational on the sieve of drum scalperator.

Постановка проблемы. Машины с горизонтально расположенными вращающимися решетными барабанами, несмотря на большие габариты по сравнению с машинами других типов, производятся многими производителями, например заводами «Вибросепаратор» (г.Житомир), Карловским машиностроительным, компаниями «Cimbria» (Дания), «Denis» (Франция), «Хейд» (Австрия) и др., и с успехом используются переработчиками зерна [1].

Часто такие машины используются при предварительной очистке для удаления крупных примесей из зернового вороха (ЗВ), поступающего от комбайна (скальперирование). Для повышения удельной производительности барабанных скальператоров применяются различные средства, одним из наиболее действенных является наложение вибраций на вращательное движение барабана.

Анализ последних исследований. В теории сельскохозяйственных машин вопросы движения сыпучей смеси во вращающихся цилиндрах рассматривались в работах, связанных с изучением процессов в триерах и цилиндрических решетках: Г.Д. Терскова [2], П.М. Василенко [3], М.Н. Летошнева [4], М.В. Киреева [5], Д.И.Мазоренко [6] и др.

В указанных работах определялось: движение одиночной частицы и слоя перемещаемого материала в зависимости от частоты вращения; подъем частицы и слоя материала до момента отрыва от внутренней поверхности барабана; скорость осевого

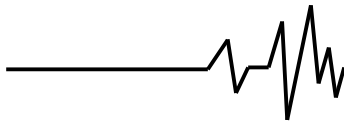
перемещения материала. Наличие большого количества упрощений позволяло с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений теоретически определять такие важные показатели процесса как средняя скорость движения смеси, производительность решета и др. Однако влияние сегрегации зернового материала на указанные параметры при этом не учитывалось.

Для описания поведения сыпучей среды применяют методы теории пластичности, для развитых сдвиговых движений используют теорию «быстрых» движений [7]. Вращательное движение в сочетании с вибрационными воздействиями приводит к тому, что сыпучая среда проявляет себя как вязкая жидкость со сложным реологическим законом [8].

В работе [9] исследованы факторы, влияющие на процесс движения зернового слоя во вращающемся горизонтальном цилиндрическом решете при наложении вибраций. Математическое описание такого движения выполнено в соответствии с законами динамики вязкой жидкости.

Цель исследования. Определение влияния параметров вибрации на процесс движения ЗВ в барабанном скальператоре с учетом сегрегации.

Основная часть. Под воздействием малых вибрационных движений внутри барабана скальператора происходят сложные динамические процессы. При определенной интенсивности этих воздействий внутри среды возникают мгновенные растягивающие усилия,



которые приводят к нарушению контакта между ее зернами. Возникает хаотическое движение сталкивающихся между собой частиц, аналогичное движению атомов или молекул газа. Это явление приводит к тому, что среда в этих условиях подчиняется законам динамики вязкой среды, реологический закон которой аналогичен закону Навье-Стокса, феноменологические коэффициенты которого зависят от интенсивности вибраций. Так тензор

напряжений σ в декартовой системе координат (x_1, x_2, x_3) с учетом условия несжимаемости имеет вид [10]:

$$\sigma = -p\delta + 2\mu V_{ik}, \quad (1)$$

где μ - объемный коэффициент вязкости; p - давление; δ - единичный тензор; V_{ik} - тензор скоростей деформаций, равный:

$$V_{ik} = \begin{pmatrix} \frac{\partial v_1}{\partial x_1} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_2}{\partial x_1} + \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_1} + \frac{\partial v_1}{\partial x_3} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_2}{\partial x_1} + \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right) & \frac{\partial v_2}{\partial x_2} & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_3} \right) \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_1} + \frac{\partial v_1}{\partial x_3} \right) & \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_3} \right) & \frac{\partial v_3}{\partial x_3} \end{pmatrix} \quad (2)$$

В работе [9] получена в общем виде математическая модель процесса с учетом второго закона механики сплошной среды и условия ее несжимаемости:

$$\rho \frac{dv}{dt} = \text{div} \sigma + \rho \vec{g},$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

при граничном условии:

$$\vec{p}_n \cdot \vec{\tau} = - \frac{\vec{w}_\tau \cdot \vec{\tau}}{|\vec{w}_\tau|} \left(f p|_{S_0} + \lambda |\vec{w}_\tau| \right), \quad (4)$$

где \vec{p}_n - напряжения на боковую поверхность решета; $\vec{\tau}$ - произвольный единичный вектор, касательный к поверхности S_0 ; \vec{w}_τ - относительная касательная составляющая скорости частицы у стенки

Влияние вибрации на движение зернового потока во вращающемся барабане скальператора определяли расчетным путем по разработанному алгоритму с применением пакета Matlab, дающим возможность разработки средств визуализации процесса вычислений [11].

Для сравнимости результатов расчеты производили при параметрах соответствующих технологическому процессу скальператора А1Б3О: R_0 - радиус барабана (цилиндрического решета), $R = 0,5\text{м}$; ρ -

плотность зерновой смеси, $\rho = 800\text{кг/м}^3$; f - коэффициент трения скольжения, $f = 0,4$; K_d - коэффициент фильтрации, $K_d = 0,00001 \text{ с}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$; Ω - частота вращения барабана, $\Omega = 2 \text{ рад/с}$; L - длина барабана, $L = 1,2\text{м}$; w_0 - начальная скорость движения смеси в осевом направлении, $w_0 = 0,31\text{м/с}$; u_0 - начальная скорость движения проходовой фракции ЗВ к поверхности решета, $u_0 = 0,1 \text{ м/с}$; h_0 - начальное расстояние от оси вращения барабана до свободной поверхности зернового потока, $h_0 = 0,01\text{м}$; α_0 - начальный (в месте подачи смеси) угол наклона линии пересечения свободной поверхности с плоскостью $z = \text{const}$, $\alpha_0 = 0,01 \text{ рад}$, λ - коэффициент гидравлического сопротивления, $\lambda = 20 \text{ кг/(с м}^2)$.

Рассмотрим движение ЗВ в цилиндрическом решете, которое равномерно вращается без приложения вибраций. На рис.1 приведены графики полученные при параметрах, приведенных выше, с выбором: амплитуда $a = 0\text{м}$, частота колебаний $n = 0\text{Гц}$. Видно, что высота зернового потока вдоль цилиндрического решета уменьшается (рис.1,а). Что соответственно приводит к уменьшению площади поперечного сечения потока S (рис.1, б). Осевая составляющая w скорости потока вдоль барабана меняется слабо (рис.1, в), а составляющая u , отвечающая за просеивание зерна через отверстия решета, уменьшается (рис.1, в). Последнее можно объяснить уменьшением давления p в слое при уменьшении его высоты.

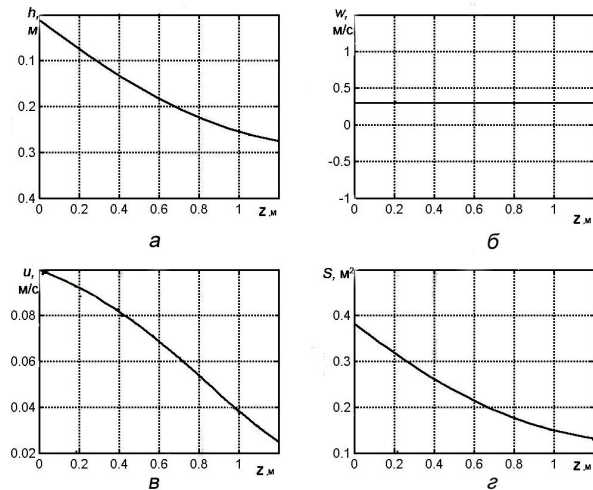


Рис. 1. Зависимости расстояния h от оси вращения до свободной поверхности высоты зернового слоя (а), осевой составляющей его скорости потока (б), поперечной составляющей скорости преходовой проходовой фракции к поверхности решета (в) и площади поперечного сечения зернового потока (г) по длине цилиндрического решета от места загрузки (решето, совершает только вращательное движение)

Из рис. 1 также видно, что после прохождения по решету на расстояние $z = 1,2\text{ м}$, соответствующее среднему значению длины барабана скальператора А1Б3О-1, высота зернового потока уменьшается примерно на $0,28\text{ м}$, а площадь поперечного сечения потока – на $0,24\text{ м}^2$. То есть, зерновая масса уменьшается на 63%. Сходовая фракция ЗВ (крупные примеси) составляет в среднем около 20% всей его массы. Это значит, что на указанной длине зерновая часть полностью не просеется. Расчеты показывают, что для полного удаления необходимо иметь длину решета не меньше 6 м .

На рис.2 показано изменение тех же параметров движения зернового потока в барабанном скальператоре при наложении на вращательное движение его барабана продольных вибраций с амплитудой $a = 0,003\text{ м}$ и частотой $n = 20\text{ Гц}$ (остальные параметры – без изменений). Из рисунка видно, что при одинаковых условиях наложение вибрации ускоряет процесс просеивания зерновой части вороха через решето. Его зерновая фракция может быть просеяна на длине решета около $0,7\text{ м}$.

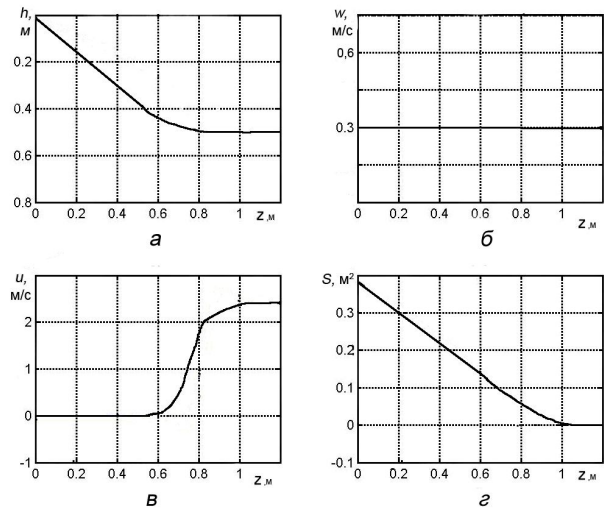


Рис. 2. Зависимости параметров движения зернового потока: h (а), w (б), u (в), S (г) по длине цилиндрического решета от места загрузки (к вращающемуся решету приложена вибрация)

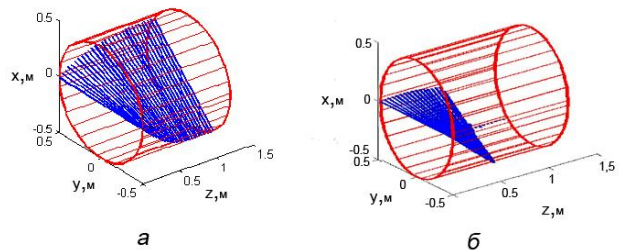


Рис. 3. Положение свободной поверхности зернового потока для решета, совершающего только вращательное движение (а) и при наложении вибрации (б)

На рис.3 изображено расположение свободной поверхности зернового потока внутри барабана при только его вращении (рис. 3, а) и при наложении вибрации на вращательное движение барабана (рис. 3, б). Вращающийся барабан увлекает за собой зерновой поток, что приводит к поднятию одной стороны поверхности. Наложение вибрации снижает как коэффициент внутреннего трения ЗВ, так и коэффициент трения ее о поверхность решета. Поэтому поднятие стороны свободной поверхности в этом случае незначительное.

На рис.4 показаны проекции линий тока зернового потока на плоскость xOy для разных значений: в начале ($z = 0,1\text{ м}$), в середине ($z = 0,6\text{ м}$) и вблизи конца ($z = 1\text{ м}$) цилиндрического решета скальператора без приложения вибрации (только вращение) (рис. 4, а) и с приложением вибраций (рис.4, б).

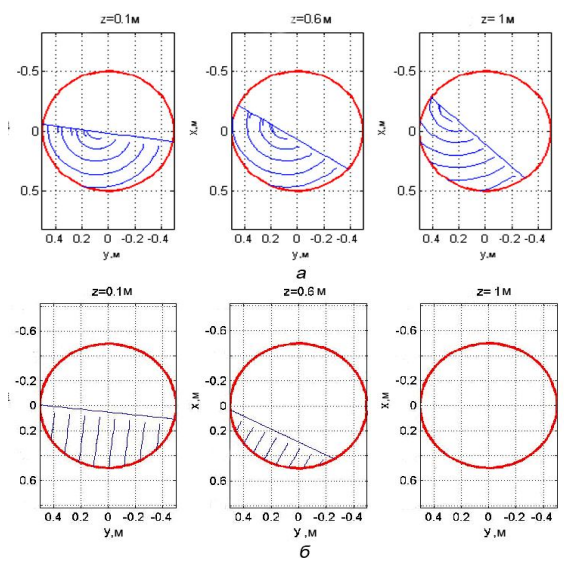
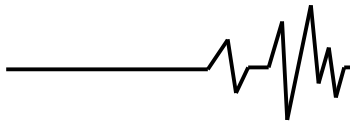


Рис. 4. Проекции линий тока зернового потока при различных расстояниях z от начала подачи: а – при только вращательном движении решета; б- с приложением вибрации

Видно, что линии тока пересекают поверхность цилиндра. Это соответствует состоянию просеивания зерна через решето. Однако при только вращательном движении решета это пересечение неблагоприятно для просеивания зерновой фракции вороха.

На рис.5 представлено распределение линий уровня для выхода Q_2 сходовой фракции через правое сечение цилиндра ($z = L$) и эффективности процесса скальперирования η в зависимости от амплитуды a и частоты n колебаний вибрационного движения. Приведенные графики можно рассматривать как номограммы для определения необходимых параметров вибрации при заданной эффективности скальперирования.

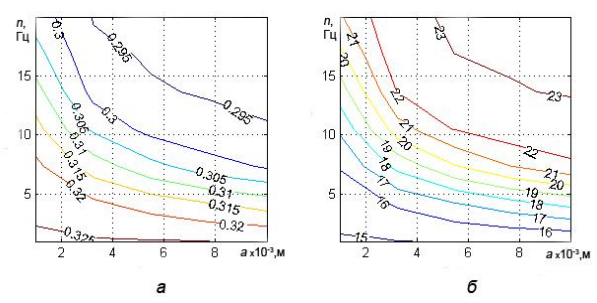


Рис. 5. Линии уровня выхода Q_2 (кг/с) сходовой фракции 3В (а) и эффективности процесса скальперирования η (б) в зависимости от амплитуды a и частоты n вибрации

Выбрав прямую, параллельную оси абсцисс, соответствующую фиксированному значению частоты колебаний n , по пересечению с линией уровня заданной эффективности скальперирования можно определить необходимую амплитуду колебаний или, наоборот - при фиксированном значении амплитуды можно выбрать частоту колебаний, которая обеспечит заданную эффективность. Таким образом, передвигаясь по соответствующей линии уровня можно определить значения частоты и амплитуды колебаний, отвечающие какому-либо оптимизирующему критерию. Например, выход сходовой фракции равный 0,3кг/с можно получить при сочетании $a=0,004$ м и $n=12$ Гц и при эффективности скальперирования 22%. Следует отметить, что указанные параметры получены при определенных значениях параметрах процесса, приведенных выше.

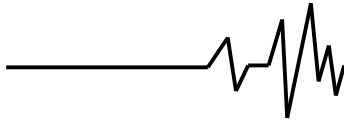
Анализ графиков рис. 5 показывает, что с увеличением амплитуды колебаний до определенного предела (8...10мм) эффективность скальперирования увеличивается. Аналогичным образом изменяются параметры Q_2 и η и при изменении частоты колебаний n . Если по техническим условиям задана эффективность сепарирования, то двигаясь по соответствующей линии уровня, можно определить соответствующие значения a и n , отвечающие какому либо оптимизирующему критерию.

Выводы

1. Наложение вибрации на вращательное движение цилиндрического решета позволяет изменить параметры движения зернового слоя в решете таким образом, что эффективность сепарирования скальператора повышается.
2. Увеличение до некоторой величины амплитуды и частоты колебаний способствует повышению эффективности скальперирования. Дальнейшее увеличение этих параметров мало влияет на технологический процесс.
3. Полученные номограммы позволяют выбрать значения амплитуды и частоты колебаний отвечающие оптимальным значениям выхода сходовой фракции и эффективности сепарирования.

Литература

1. Верещинский А.П. Сито-воздушный сепаратор «ЛУЧ-ЗСО» - лучшее решение в



технике очистки зерна./ А.П.Верещинский // Хлебопродукты. - 2010. - №4. - С.32-33.

2. Терсков Г.Д. Движение зерен по вращающемуся цилиндру. / Г.Д.Терсков // Сельхозмашина. - 1938. - № 8, 9. - С.1-6.

3. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. - Киев: УСХА, 1960. - 283 с.

4. Летошнев М.Н. О движении зерна внутри горизонтально вращающегося цилиндра./ М.Н. Летошнев// Труды ЛИМСХ. - Л. - 1950 - Вып.VII. - С. 7-54.

5. Киреев М.В. К анализу работы цилиндрического решета./ М.В. Киреев // Записки ЛСХИ. -Л. - 1961. - Т.85. - С. 211-219.

6. Мазоренко Д.И. Теоретические и экспериментальные исследования вибрационно-центробежного сепаратора с пространственным движением оси вращения ротора для очистки семян риса от трудноотделимых сорняков: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Харьков, 1971. – 183 с.

7. Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений: Сб. ст.; пер. с англ. / сост. И.В. Ширко. - М.: Мир, 1985. – 289 с.

8. Гольдштик М.А. Процессы переноса в зернистом слое. /М.А.Гольдштик. - Новосибирск: СО АН СССР.Ин-т теплофиз., 1984. - 164 с.

9. 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.

10. Седов Л.И. Механика сплошных сред. Т.1./ Л.И Седов. - М.: Наука, 1976. - 536 с.

11. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 6.x.: Программирование численных методов./ Ю.Л Кетков, А.Ю. Кетков, М.М Шульц - СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 672 с.