

# ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.331.022

А.А. Бричагина,  
В.К. Евтеев

## ДВИЖЕНИЕ СЕМЯН И ГРАНУЛ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В БУНКЕРЕ СЕЯЛКИ

Проведенные нами теоретические исследования показали, что если рассматривать высеваемый материал как сплошную несжимаемую среду ( $\rho = \text{const}$ ), то для описания движения семян зерновых культур и гранул минеральных удобрений, в том числе в рабочих органах посевных машин, становится возможным применение дифференциальных уравнений движения вязкой жидкости (уравнения Навье-Стокса). Уравнения Навье-Стокса образуют замкнутую систему совместно с уравнением неразрывности [1].

Задавшись начальными условиями (во-первых, система находится в поле земного тяготения; во-вторых, в данный момент времени движение сыпучего материала в живом сечении потока является установившимся равномерным), после преобразования уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности получим:

$$\mu \left( \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} \right) = g\rho + \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (1)$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с;

$$\frac{\partial u_z}{\partial x}, \frac{\partial u_z}{\partial y} \text{ – угловые скорости вращения}$$

бесконечно малого отрезка, соединяющего две частицы среды относительно осей  $x, y$ ;

$$\frac{\partial p}{\partial z} \text{ – градиент давления вдоль оси } z.$$

Для случая, описываемого полученным уравнением, можно применить уравнение Бернулли для потока при установившемся равномерном и плавноизменяющемся движении вязкой жидкости [2].

Движение семян зерновых культур и гранул минеральных удобрений через выходное отверстие бункера при  $d < 0,1 H$  можно рассматривать как истечение сплошной среды через малое незатопленное отверстие в тонкой стенке, где  $d$  – диаметр выходного отверстия;  $H$  – глубина погружения центра тяжести отверстия под свободной поверхностью (рис.) [3].

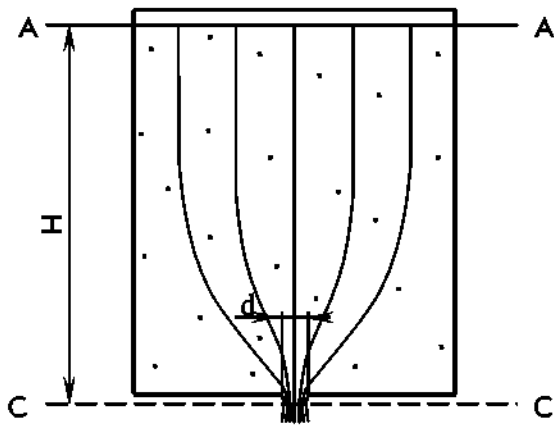


Рис. Движение сплошной среды через малое незатопленное отверстие в тонкой стенке

При этом высеваемый материал можно уподобить жидкости Шведова, реологическое уравнение которой имеет вид:

$$\tau = \tau_0 \pm \mu \left( \frac{du}{dn} \right)^m, \quad (2)$$

где  $\tau$  – касательное напряжение, Па;

$\tau_0$  – начальное напряжение сдвига, Па;

$du/dn$  – градиент скорости по нормали к направлению движения;

$m$  – показатель степени.

На частицы высеваемого материала,двигающиеся к отверстию из бункера, действуют силы инерции, которые вызывают изменение вектора скорости по направлению, вследствие чего за отверстием образуется сжатие струи, максимальное на расстоянии примерно  $0,5 d$ . Сжатие струи оценивается коэффициентом сжатия  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega}, \quad (3)$$

где  $\omega_c$  – площадь сжатого живого сечения;

$\omega$  – площадь отверстия.

В сжатом сечении струи движение может быть принято плавно изменяющимся. Это позволяет для сечений А-А (свободная поверхность сыпучего материала) и С-С (сжатое сечение) применить уравнение Бернулли. Горизонтальную плоскость сравнения проведем через сжатое сечение. Тогда

$$H + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + h_w, \quad (4)$$

где  $p_0$  и  $p_c$  – гидростатическое давление в выбранных точках в сечениях А-А и С-С,  $p_0 = p_c = p_{ат}$ ;

$p_{ат}$  – атмосферное давление;

$v_0$  и  $v_c$  – средняя скорость движения сплошной среды соответственно в сечениях А-А и С-С, так как площадь резервуара намного больше площади выходного отверстия, можно считать  $v_0 = 0$ ;

$\alpha_0$  и  $\alpha_c$  – коэффициенты Кориолиса в сечениях А-А и С-С;

$h_w$  – потери напора на участке между сечениями А-А и С-С (в данном случае местные потери при истечении из отверстия с острой кромкой).

$$h_w = \zeta_{ок} \frac{v_c^2}{2g}, \quad (5)$$

где  $\zeta_{ок}$  – коэффициент сопротивления при истечении через отверстие с острой кромкой.

Решая уравнение (4), получим, что скорость истечения и расход семян и минеральных удобрений через выходное отверстие бункера определяются по закону истечения жидкости:

$$v_c = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (6)$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}, \quad (7)$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости;

$\mu$  – коэффициент расхода.

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{ок}}}, \quad (8)$$

$$\mu = \varepsilon \varphi. \quad (9)$$

Сжатие струи можно полагать весьма незначительным ( $\varepsilon \approx 1$ ), поэтому  $\mu \approx \varphi$ .

Для данной задачи наибольший интерес представляет зависимость коэффициентов истечения  $\mu$ ,  $\varphi$  и  $\varepsilon$  от числа Рейнольдса [4]. В рассматриваемом случае целесообразно использовать  $Re^*$  – обобщенный критерий Рейнольдса:

$$Re^* = \frac{Re}{1 + (1/6) Sen}, \quad (10)$$

где  $Sen = \tau_0 d / \mu v$  – число (критерий) Сен-Венана (Ильюшина) – характеристика пластических свойств материала.

Анализируя формулы (6) и (7), можно сказать, что для обеспечения равномерного движения семян и гранул минераль-

ных удобрений из бункера и, в дальнейшем, из высевающего аппарата, необходимо уменьшить влияние высоты материала в бункере на скорость истечения и расход. С этой целью в конструкции сеялки целесообразно использовать дополнительные устройства, стабилизирующие величину напора между выходным отверстием бункера и рабочей камерой высевающего аппарата.

Таким образом, для описания движения семян зерновых культур и гранул минеральных удобрений в бункере посевной машины можно применить положения сплошной среды: закон вязкостного трения Ньютона, дифференциальные уравнения Навье-Стокса и уравнение неразрывности сплошной среды.

Полученные выводы были подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями процесса дозирования

семян и гранул минеральных удобрений высевающим аппаратом с микропроцессорным управлением.

#### **Библиографический список**

1. Катыльмов А.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А.В. Катыльмов, В.А. Любартович. Л.: Химия. Ленингр. отд., 1990. 240 с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. М.: Наука, 1973. 847 с.
3. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): учебник для студентов гидротехн. вузов. 4-е изд., доп. и перераб. / Р.Р. Чугаев. Л.: Энергоиздат, 1982. 672 с.
4. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. 2-е изд. перераб. и доп. / А.Д. Альтшуль. М.: Недра, 1982. 224 с.

