

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВОРОШЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

Исаев Юрий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математика и физика»

Семашкин Николай Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и физика»

Кошкина Анастасия Олеговна, аспирант кафедры «Математика и физика»,
ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА
432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8 (84231) 55-95-49,
e-mail: emotion.snm@mail.ru

Ключевые слова: ворошение зерна, скорость движения устройства, скорость перемещения зерна, давление в сопле.

Работа посвящена обоснованию параметров устройства для ворошения зернового материала в зерноскладах. В результате проведенных теоретических исследований устройства для ворошения зернового материала определены скорость перемещения устройства по насыпи зерна, скорость движения зерна внутри устройства, а также давление в сопле устройства при выходе зерна.

Введение

Зерно, являясь «живым» организмом, требует постоянного внимания во время его хранения. В связи с этим возникает множество проблем, связанных с его перемещением, наличием соответствующих средств механизации, с большими материальными затратами и т.п. Одним из основных показателей при хранении зерна является его влажность, так как самонагревание зерна внутри насыпи нарушает процесс его хранения. Для предотвращения этого процесса нужно использовать сушку зерна, активное вентилирование, т. п. Одним из лучших способов предотвращения самонагревания зерна и последующей его порчи является перемешивание всего бурта зерна устройством для ворошения зерна с рабочим органом в виде спирального винта.

Объекты и методы исследований

Для изучения процесса перемешивания определим силу, которую требуется придать устройству для ворошения для его перемещения в толще зерна [1]. Принцип действия устройства для ворошения (рисунок 1) заключается в следующем. Устройство помещают на бурт зерна и включают электродвигатель. Затем рабочий орган внедряют в толщу зерна и устанавливают устройство в

вертикальное положение. Зерно захватывается спирально-винтовым рабочим органом с нижней части бурта и перемещается вверх вдоль корпуса устройства, а затем удаляется из него через выходное сопло.

Примем, что давление в потоке на выходе из сопла равно атмосферному давлению p_0 . Применяя закон количества движения, можно записать выражение для силы тяги:

$$F = m(u - u_0), \quad (1)$$

где m – массовая скорость, кг/с; u – скорость перемещения зерна в устройстве, м/с; u_0 – скорость перемещения устройства для ворошения зерна, м/с.

Массовая скорость зерна m на основании уравнения неразрывности в уравнении (1) может быть вычислена как произведение:

$$m = \rho u_i S_i, \quad (2)$$

где ρ – насыпная плотность зернового материала, кг/м³; u_i – скорость зерна на выходе из сопла, м/с; S_i – площадь сечения сопла устройства, м².

Согласно сделанному выше допущению, скорость зерна на выходе из сопла должна быть равна скорости u , что подтверждается экспериментальными исследованиями [2]. На основании уравнения не-

разрывности потока для любого i -того сечения в перемещаемом потоке зерна можно записать:

$$m = \rho v_i S_i = \rho Q, \quad (3)$$

где Q – пропускная способность устройства, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Примем, что $v_i = v$, и приведем уравнение (1) к виду

$$F = m(v_i - v_0) \quad \text{или} \quad F = \rho Q(v_i - v_0). \quad (4)$$

Рассмотрим движение зерна в устройстве и найдем, используя уравнение Бернулли, выражение для перепада давления в устройстве. Для участка от точки на поверхности спирального винта до сечения непосредственно перед выходным соплом имеем [3, 4, 5]:

$$p_1 + \rho v_1^2 / 2 = p_0 + \rho v_0^2 / 2 - \Delta p_1, \quad (5)$$

где p_1 – давление непосредственно перед соплом, Па; v_1 – скорость зерна на поверхности спирального винта, $\text{м}/\text{с}$; Δp_1 – потери давления на рассматриваемом участке, Па.

Для участка от сопла до точки на бесконечности за соплом устройства получим:

$$p_2 + \rho v_2^2 / 2 = p_0 + \rho v_0^2 / 2 - \Delta p_2, \quad (6)$$

где p_2 – давление в точке, находящейся в бесконечности за соплом, Па; v_2 – скорость зерна при выходе из сопла, $\text{м}/\text{с}$; Δp_2 – потери давления на участке за соплом, Па.

Принимая во внимание, что $v_1 = v_2$, перепад давления

$$p_2 - p_1 = \rho v_i^2 / 2 - \rho v_0^2 / 2 - \Delta p_{\Sigma}, \quad (7)$$

где Δp_{Σ} – суммарные потери давления в устройстве, Па.

Перепад давлений равен давлению на выходе зерна из сопла устройства:

$$H = (p_2 - p_1) / \gamma, \quad (8)$$

где γ – удельный вес зерновой насыпи, $\text{Н}/\text{м}^3$.

В этом случае выражение для определения скорости зерна на выходе из сопла примет вид:

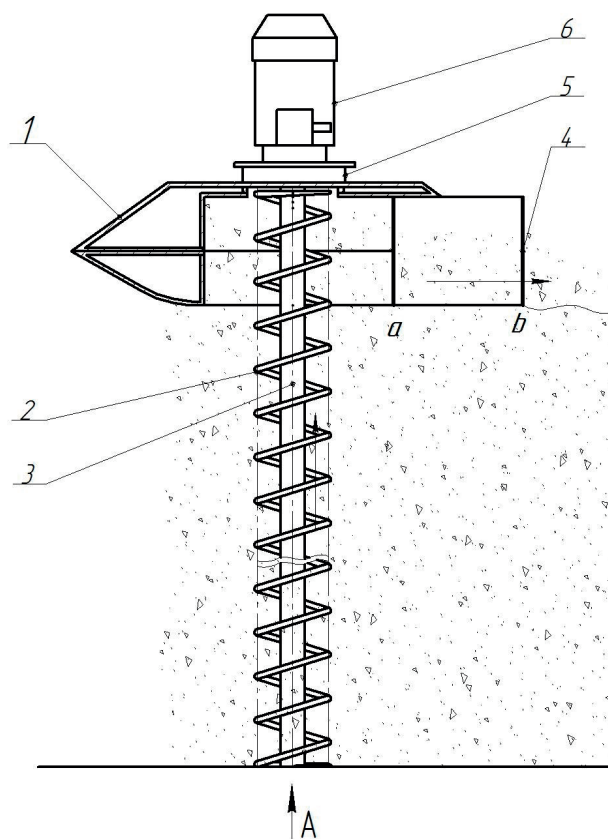


Рис. 1 – Схема устройства для ворошения зернового материала: 1 – корпус; 2 – спиральный винт; 3 – вал; 4 – выходное сопло; 5 – редуктор; 6 – электродвигатель

$$v_i = (2gH + v_0^2 + 2\Delta p_{\Sigma} / \rho)^{1/2}. \quad (9)$$

Рассмотрим выражение для определения скорости зерна в сечении сопла с учетом того, что гидравлические потери можно разделить на потери на входе в заборный канал, потери перед соплом и потери в сопле. При этом считаем, что для потерь давления перед соплом и потерь на подъем зерна спиральным винтом характерной является скорость v_0 , а для потерь в сопле – скорость выбрасываемого из сопла зерна. Тогда выражение для напора может быть преобразовано к виду [6, 7, 8]

$$H = v_i^2(1+q_c)/2g - v_0^2(1-q_0)/2g + l, \quad (10)$$

где q_c – коэффициент потерь в сопле; q_0 – коэффициент потерь на входе в сопло; l – расстояние, на которое выбрасывается зерно из сопла, м.

На основании выражения (10) ско-

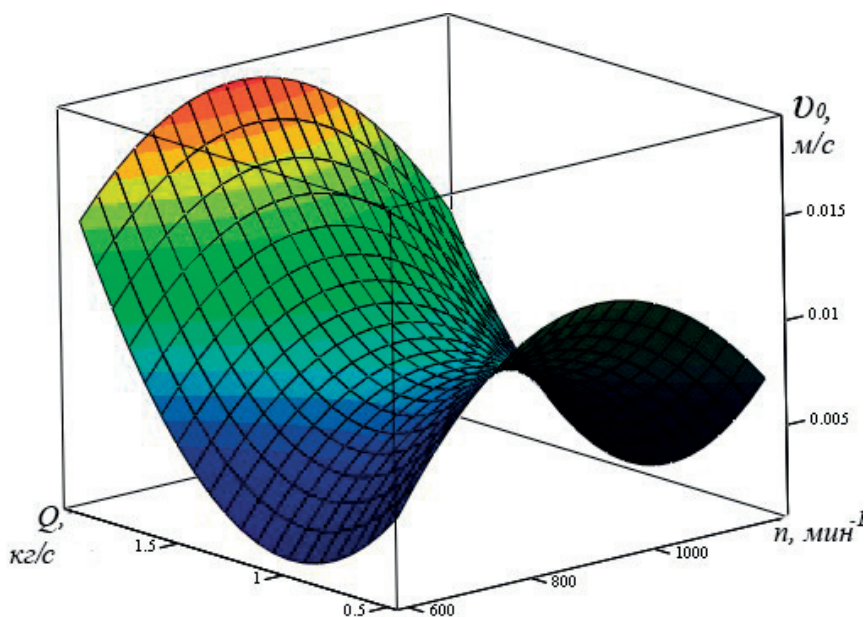


Рис. 2 – Зависимость скорости перемещения устройства v_0 от частоты вращения n рабочего органа и пропускной способности Q

рость зерна в сечении сопла, необходимая для определения величины скорости в уравнении (1), может быть представлена в виде

$$v_i = \{ [2g(H-l) + v_0^2(1-q_0)] / (1+q_c) \}^{1/2}. \quad (11)$$

Разработка устройства для ворошения связана с обеспечением ряда технических требований: получением максимально возможной пропускной способности, минимальной массы и габаритов, сохранение качества перемещаемого зерна [9, 10, 11].

Результаты исследований

Для исследования процесса перемещения зерна было изготовлено устройство со следующими параметрами: длина спирального винта $L = 2$ м; шаг спирали $s = 0,06$ м; частота вращения спирального винта $n = 900 \text{ мин}^{-1} = 15 \text{ с}^{-1}$; насыпная плотность зерна пшеницы $\rho = 740 \text{ кг/м}^3$; диаметр спирального винта $D = 0,06$ м; диаметр вала спирального винта $d = 0,02$ м; высота сопла $h = 0,25$ м; длина сопла в сечении а: $c_1 = 0,26$ м, длина сопла в выходном сечении б: $c_2 = 0,49$ м. Площади во всех проходных сечениях: сечение устройства в плоскости крепления

спирального винта $S_1 = \pi(D^2 - d^2) / 4 = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; площадь сопла в сечении а:

$S_2 = h \cdot c_1 = 0,065 \text{ м}^2$; площадь сопла в сечении б: $S_3 = h \cdot c_2 = 0,23 \text{ м}^2$ (рис. 1).

В результате исследований получены значения скорости перемещения устройства в толще зернового материала, определена его пропускная способность, а также рациональная частота вращения спирального винта, влияющая на процесс ворошения зерна (рис. 2).

Анализ приведенной на рисунке 2 поверхности отклика показал, что устройство для ворошения зернового материала начинает перемещаться в толще зерна

при достижении частоты вращения рабочего органа $n = 600 \text{ мин}^{-1}$. Оптимальная линейная скорость перемещения устройства 7 мм/с достигается при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$, при этом пропускная способность составила $1,09 \text{ кг/с}$.

Выводы

Сравнение теоретических исследований и экспериментальных данных показало, что сходимость результатов теоретических и экспериментальных составляет не менее 95 %. Это означает, что предложенная методика исследований устройства для ворошения зерна является достоверной, а предлагаемое устройство вполне оправдывает своё назначение – ворошение зерна, исключаящее его самосогревание и порчу. При этом удельные энергозатраты на ворошение зерна не превысили $1,117 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)/кг}$.

Библиографический список

1. Пат. 148573 Российская Федерация. Устройство для ворошения зерновой насыпи / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Т.А. Джабраилов, А.И. Мельников, В.Г. Константинов; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина».- опубл. 10.12.14, Бюл. № 34.
2. Исаев, Ю.М. Обоснование процесса

перемещения семян спирально-винтовым рабочим органом / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Н.Н. Назарова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2011.- № 1.- С.97-99.

3. Васильев, В.Ф. Водометные движители / В.Ф. Васильев.- М.:МАДИ (ГТУ), 2006. – 45с.

4. Спирально-винтовые устройства в сельском хозяйстве / Ю.М. Исаев, Х.Х. Губейдуллин, И.И. Шигапов, Н.М. Семашкин // Научный вестник Технологического института филиала Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2013.- № 11.- С.116-123.

5. Режимные параметры перемещения частицы материала в вертикальном погрузчике / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, О.П. Гришин, Е.В. Гришина // Современные наукоемкие технологии. - 2012. - № 9.- С.46.

6. Воронина, М.В. Параметры спирально-винтового транспортера для сыпучих материалов / М.В. Воронина, Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин // Фундаментальные исследования. - 2007. - № 12.- С.262-263.

7. Влияние активного слоя на перемещение зерна в спирально-винтовом транспортере / Ю.М. Исаев, М.В. Воронина, Н.М. Семашкин, В.А. Злобин // Успехи современного естествознания. - 2008. - № 8.- С.65-66.

8. Оптимальные условия вертикального перемещения частицы / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, О.Г. Евстигнеева, А.О. Кошкина // Международный журнал экспериментального образования. - 2013. -№ 3. - С.76-77.

9. Влияние заборной части пружинного транспортера на движение зернового материала / М.В. Воронина, Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, А.В. Шуреков // Фундаментальные исследования. - 2008. - № 3. - С.65.

10. Исаев, Ю.М. Струйное распыливание жидкости в протравливателе / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Е.В. Минибаева // Успехи современного естествознания. - 2012. -№ 2. - С.111-112.

11. К вопросу о вертикальном перемещении сыпучего материала / Ю.М. Исаев, Х.Х. Губейдуллин, Н.М. Семашкин, О.П. Гришин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2012.- № 4. - С.122-126.