

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗЕРНА
В НАСЫПИ СПИРАЛЬНЫМ ВИНТОМ**

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: перемещение, ворошение зерна, нормальная реакция, дифференциальные уравнения, скорость перемещения зерна.

Работа посвящена теоретическим и практическим исследованиям параметров устройства для вертикального перемещения зерна в насыпи. В результате проведенных исследований получены оптимальные параметры устройства вертикального перемещения зерна, геометрические характеристики спирали.

Введение

При хранении зерна в насыпи протекают физиологические, биохимические и микробиологические процессы, которые происходят при разных условиях. Основные задачи хранения зерна включают в себя: отсутствие потерь зерна; предотвращение ухудшения качества зерна; снижение затрат труда и средств.

После уборки урожая при перевозке и хранении теряется от 5 % до 25 % зерна в зависимости от технического оснащения элеваторов и общей культуры организации хранения. Вследствие этого изучение условий хранения, а также разработка и использование новых средств механизации зерна

во время хранения является актуальной задачей.

Объекты и методы исследований

Пусть зерно располагается на винтовой поверхности спирали, установленной в насыпи и вращающейся вокруг своей оси с угловой скоростью ω (рисунок 1) [1, 2]. При движении зерно отбрасывается к периферии и прижимается к внешним слоям насыпи зерна и к витку спирали. На рис. 1 изображены силы, действующие на единичное зерно во время перемещения: G – сила тяжести, N ; N_2 – сила, действующая со стороны насыпи на зерно, N ; N_1 – сила воздействия на зерно поверхности спирали, N ; $f_1 N_1$ – сила трения зерна о спиральный винт, N ;

$f_2 N_2$ – сила трения перемещаемого зерна о зерно в насыпи.

Нормальная реакция N_1 , действующая на единичное зерно со стороны витка спирали, составляет угол α с осью z (рис. 2), сила трения скольжения направлена в сторону, обратную движению, и располагается на линии вектора ν , т. е.

$$F_1 = f_1 \cdot N_1, \quad (1)$$

где f_1 – коэффициент трения частицы о спираль.

Нормальная реакция N_2 , действующая на частицу со стороны вертикальных цилиндрических слоев зерновой массы, лежит на радиусе спирали, а сила трения имеет направление, обратное вектору абсолютной скорости, и составляет с осью φ угол β ,

$$F_2 = f_2 \cdot N_2, \quad (2)$$

где f_2 – коэффициент трения единичного зерна о слой зерновой массы. Развернем винтовую линию на плоскость M , касательную к спирали (рис. 2). Запишем уравнения движения единичного зерна в начальный момент времени:

$$\begin{cases} \sum z = 0 \\ \sum \varphi = 0 \\ \sum \rho = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

При подъеме зерно участвует в движениях: а) относительном – вдоль витка спирали; б) переносном – вместе с витком спирали; в) абсолютном, по некоторой винтовой траектории. Соответствующие угловые скорости будут: ω' ; ω и $\omega - \omega'$.

Рассмотрим задачу об осевой скорости перемещения зерна в вертикальном направлении. Дифференциальные уравнения, описывающее действие сил на единичное зерно при его перемещении вертикальным спиральным винтом, имеют следующий вид [3]:

$$\begin{cases} N_1(\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) - ma \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - G - f_2 N_2 \cdot \frac{a \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)}{\nu} = 0; \\ mr \omega_0^2 + mr \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - N_2 - 2mr \omega_0 \frac{d\varphi}{dt} = 0, \\ f_2 N_2 \frac{a \left(\frac{d\varphi}{dt} - \omega \right)}{\nu} - N_1 (f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) - mr \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = 0; \end{cases} \quad (4)$$

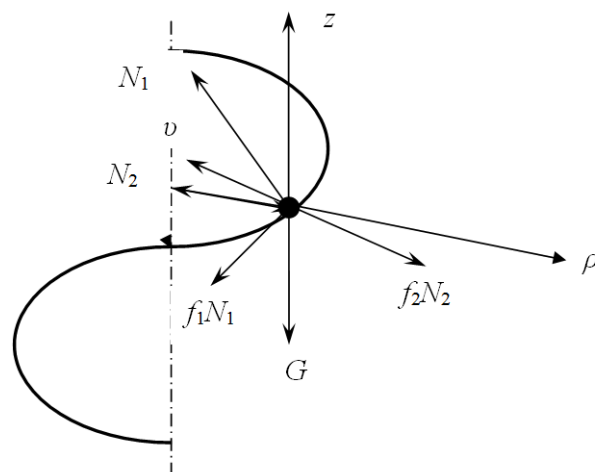


Рис. 1 – Силы, приложенные к зерну, расположенному на поверхности спирального винта

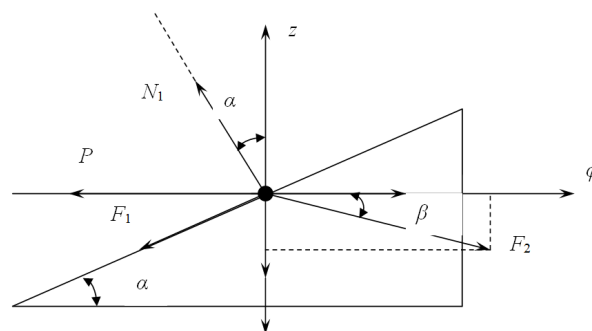


Рис. 2 – Развертка винтовой линии на касательную к ней плоскость

где m – масса единичного зерна, кг; a – ускорение единичного зерна, m/c^2 .

После решения системы уравнений (4) получаем [4, 5, 6]:

$$\frac{du}{dt} = -\frac{bg}{r} - \frac{f_2 u^2 (u + bc\omega)}{\sqrt{u^2 + c^2 (u + \omega)^2}}, \quad (5)$$

$$u = \frac{d\varphi}{dt} - \omega;$$

$$b = \cos^2 \alpha (tg \alpha + f_1);$$

$$c = tg \alpha = \frac{a}{r},$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; r – внешний радиус спирали, м.

Решая уравнение (5) путем разложения в ряд Тэйлора по степеням t , при усло-

вию ограничения пятью членами и с учетом того, что

$$\frac{du}{dt} = 0, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega_c, \quad \text{получим:}$$

$$\frac{u^2(u + bc\omega)}{\sqrt{u^2 + c^2(u + \omega)^2}} + \frac{bg}{rf_2} = 0$$

Это уравнение может быть заменено приближенным квадратным уравнением следующего вида:

$$u^2 + bc\omega u - \frac{bg}{rf_2} = 0,$$

которое представляется весьма удобным для практических расчетов, поскольку корень его является верхней границей для u , а метод последовательных приближений позволяет определить значение u с необходимой точностью.

Определим угол наклона винтовой линии устройства, при котором осевая скорость перемещаемого зерна достигает своего максимального значения, [7, 8, 9]. Осевая скорость зерна

$$v_1 = r\omega_c \operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{и } \omega_c = \omega + u,$$

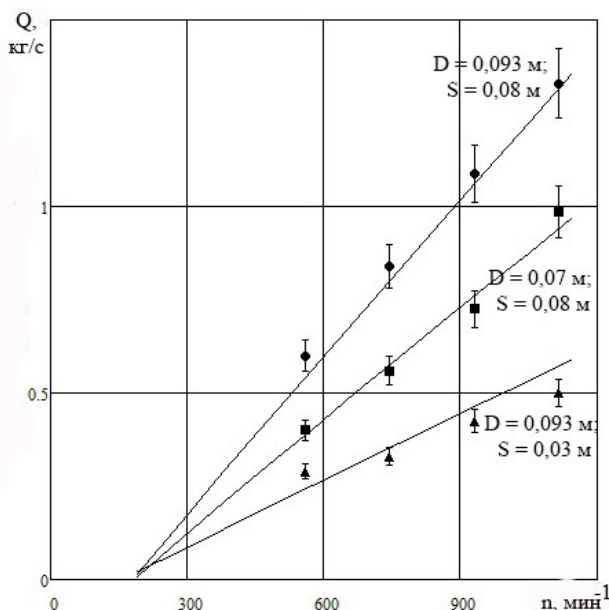


Рис. 3 – Зависимость пропускной способности устройства Q от частоты вращения n спирального винта

поэтому

$$u = -\frac{bc\omega}{2} - \sqrt{\frac{b^2c^2\omega^2}{4} + \frac{bg}{rf_2}}$$

После подстановки соответствующих значений и преобразований получаем [10, 11]:

$$v_1 = r\omega \left[\operatorname{tg} \alpha - \frac{1}{2} \sin^2 \alpha (\operatorname{tg} \alpha + f_1) - \sqrt{\frac{1}{4} \sin^4 \alpha (\operatorname{tg} \alpha + f_1)^2 + \frac{g}{rf_2 \omega^2} \sin \alpha (\operatorname{tg} \alpha + f_1)} \right]. \quad (6)$$

Результаты исследований

Вычисление первой производной скорости и приравнение ее к нулю

$$\frac{dv_1}{d\alpha} = 0$$

после упрощений приводит к формуле, удобной для практического применения

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = f_1 + \frac{2g}{rf_2 \omega^2}. \quad (7)$$

Уравнение (7) позволяет определить оптимальные параметры устройства для вертикального перемещения зернового материала в насыпи, геометрические характеристики спирали с учетом физико-механических свойств перемещаемого материала для получения максимальной осевой скорости и максимальной пропускной способности устройства.

По результатам теоретических и практических исследований получена зависимость пропускной способности устройства для вертикального перемещения зерна в насыпи от частоты вращения спирального винта при различных конструктивных параметрах устройства (рис. 3).

На рисунке 3 показаны три линии, которые получены при различных значениях диаметра спирали D и ее шага S . Из рисунка следует, что для достижения оптимальной пропускной способности устройства для вертикального перемещения зерна необходимо использовать спиральный винт, в котором шаг спирали S равен, или на 10 % меньше, чем её диаметр D .

Выводы

Отношение шага винтовой линии спирали S к ее диаметру D при конструировании устройства для вертикального перемещения зерна следует выбирать в пределах $0,9...1$. Сопоставление данных, полученных экспериментальным и теоретическим путем, показало, что сходимость результатов составляет 93 %. Это свидетельствует о том, что предложенные теоретические зависимости являются справедливыми. Следовательно, устройство для вертикального перемещения зерна в насыпи при оптимизированных параметрах полностью соответствует предъявляемым к нему требованиям.

Библиографический список

1. Губейдуллин, Х.Х. Теория перемещения частицы винтовым элементом по плоскости / Х.Х. Губейдуллин, Н.М. Семашкин, И.И. Шигапов // Аграрная наука. – 2015. – № 1. – С. 29-32.
2. Начальные скорости движения частицы материала при перемещении спиральным винтом / Ю.М. Исаев, Х.Х. Губейдуллин, Н.М. Семашкин, И.И. Шигапов // Аграрная наука. – 2014. – № 10. – С. 28 - 30.
3. Васильев, В.Ф. Водометные движители / В.Ф. Васильев. - МАДИ (ГТУ); М., 2006. – 45 с.
4. Губейдуллин, Х.Х. Нахождение рабочей площади винтовой поверхности / Х.Х. Губейдуллин, Н.М. Семашкин, И.И. Шигапов // Аграрная наука. – 2015. – № 2. – С. 30-32.
5. Исаев, Ю.М. Теоретическое описание перемещения частицы винтовой поверхностью по плоскости / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, В.А. Злобин // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы VI Международной научно-практической конференции. - Ульяновск, УГСХА, 2015. - С. 44-47.
6. Скатывание зерна со спирально-винтовой поверхности транспортера / Ю.М. Исаев, О.П. Гришин, А.А. Настин, Н.М. Семашкин, А.В. Шуреков // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 7. – С. 47.
7. Вращение сосуда с жидкостью под углом наклона / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, О.П. Гришин, Е.В. Гришина // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 7. – С. 26.
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. Исаев, Ю.М. Основы гидродинамического расчета зернового движителя / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 3 (13). – С. 117-121.
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. Параметры поперечного колебания спирального винта / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Н.Н. Назарова, О.П. Гришин, А.О. Кошкина // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 3. – С. 77-78.