

ет четко выраженный максимум, соответствующий размеру комка в 3 мм, т.е. доля комков такого размера самая большая. Полученный аэродинамическим способом эффективный размер комков почвы 2,8 мм (табл.), практически совпадает с максимумом на классически построенном полигоне частот. Расхождение между предлагаемым и классическим методом в данном случае не превышает 6,7 %.

Выводы. Полученный в результате использования предложенного метода оценки качества крошения почв эффективный размер комка почвы незначительно отклоняется от значения максимума на полигоне распределения комков по размерам, полученным классическим просеиванием через набор сит (расхождение не превышает 6,7 %). Это позволяет использовать удельную поверхность комков и пористость для количественной оценки качества крошения почвы, сравнения почвообрабатывающих орудий между собой, а также и выбора наиболее подходящего из них для конкретного типа почв.

Библиографический список

1. Алексеев, В.В. Аэродинамический метод получения основной гидрофизической характеристики почв / В.В. Алексеев, И.И. Максимов // Почвоведение. 2013, № 7. - С. 822-828.
2. Сысуев, В.А. Получение основной гидрофизической характеристики почв на основе идеализированных моделей / В.А. Сысуев, И.И. Максимов, В.В. Алексеев, В.И. Максимов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук № 5, 2013. - С. 66-63.
3. Алексеев, В.В. Энергетическая оценка механического воздействия на почву почвообрабатывающих машин и орудий / В.В. Алексеев, И.И. Максимов, В.И. Максимов, И.В. Сякаев // Аграрная наука Евро-Северо-Востока № 3 (28), Киров, 2012. - С. 70-72.
4. Алексеев, В.В. Уточненная оценка уплотненного состояния почв / В.В. Алексеев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова № 5, Саратов, 2013. - С. 49-51.

УДК 639.349

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ СПИРАЛЬНО-ВИНТОВОГО УСТРОЙСТВА С ПЕРЕМЕННЫМ ШАГОМ

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

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

Злобин Вадим Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Математика и физика»

Назарова Наталья Николаевна, инженер кафедры «Математика и физика»

Сотников Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и средства механизации в агробизнесе»

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8 (84231) 55-95-49,

e-mail: isurmi@yandex.ru

Ключевые слова: спиральный винт, переменный шаг, частица, сила трения, коэффициент трения скольжения, угол наклона устройства, угловая и осевая скорости.

Получено выражение для определения угла между нормальной реакцией поверхно-

сти витка спирали и осью, перпендикулярной к винтовой линии, приведены выражения для определения перемещения, скорости и ускорения частицы транспортируемого материала в аксиальном направлении. Получены зависимости угловой скорости частицы от углового перемещения, позволяющие изучить её фазовую траекторию, а также от коэффициента отставания от времени.

Введение. В настоящее время инженерно-технические средства для посева мелкосеменных культур, применяемые в сельскохозяйственных предприятиях, не соответствуют предъявляемым агротехническим требованиям и нуждаются в модернизации. Одно из направлений совершенствования устройств для мелкосеменного высева заключается в использовании в них вращающихся спирально-винтовых рабочих органов с переменным шагом.

Цель исследования. Для проектирования и расчета спирально-винтовых устройств с переменным шагом необходимо располагать данными о характере функциональной связи между их параметрами и кинематическими характеристиками перемещаемого материала и отдельных частиц.

Материалы и методы исследований. Рассмотрим наклоненное к горизонту под углом δ спирально-винтовое устройство (рисунок 1). При этом будем полагать, что кожух неподвижен, а спиральный винт вра-

щается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью ω [1, 2].

Если в начальный момент времени частица материала находится в нижней точке кожуха, то через некоторый отрезок времени она под действием силы трения, возникающей между частицей и поверхностью спирального винта, начнет движение по криволинейной траектории, отклоняясь от своего первоначального положения одновременно вверх и вдоль оси кожуха в направлении вращения спирального винта [3].

К движущейся частице приложены силы: $G = mg$ – сила тяжести, Н; N_2 – нормальная реакция поверхности кожуха, Н; N_1 – нормальная реакция поверхности витка спирали, Н; $f_2 N_2$ – сила трения частицы о внутреннюю поверхность кожуха; $f_1 N_1$ – сила трения частицы о поверхность витка спирали.

Направления сил N_1, N_2, G, G_1, G_2 , за исключением силы трения частицы о внутреннюю поверхность кожуха, известны. Угол ϑ между нормальной реакцией поверхности витка спирали и осью, перпендикулярной к винтовой линии (рис. 2), зависит от геометрических характеристик спирального винта, цилиндрического кожуха и размера частиц перемещаемого материала в устройстве [4]:

$$\theta = \arcsin \left(\frac{(r_0 - r_2 + d / 2 - r_1)}{(r_1 + d / 2)} \right) \quad (1)$$

где r_0 – внутренний радиус цилиндрического кожуха, м; r_2 – радиус спирального винта, м;

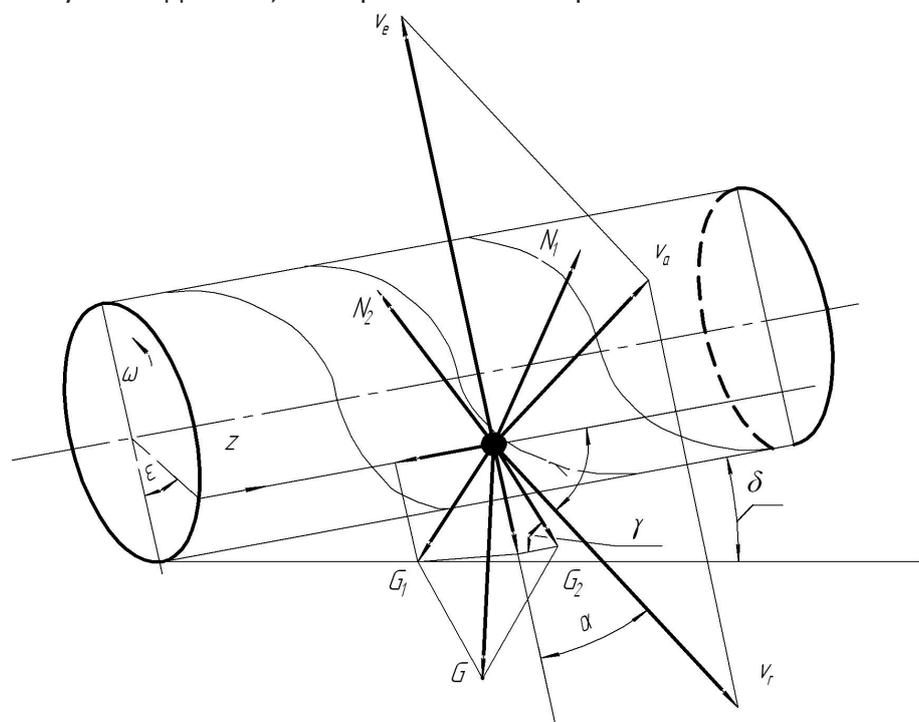


Рис. 1 – Схема сил, приложенных к частице в наклонном спирально-винтовом устройстве с переменным шагом

d – диаметр проволоки спирали, м; r_1 – радиус частицы, м.

Для определения направления силы трения $f_2 N_2$ необходимо знать положение касательной к траектории движения частицы по внутренней поверхности кожуха, поскольку эта сила направлена по касательной в сторону, обратную направлению скорости ее движения. Следовательно, направление данной силы трения будет меняться с изменением направления скорости движения частицы.

Привяжем движущуюся частицу материала к цилиндрическим осям координат $Or, O\varphi, Oz$, приняв левую систему отсчета. Тогда дифференциальные уравнения движения частицы в проекциях на оси координат можно описать, при условии, что $N_2 > 0$ [5, 6], следующими выражениями:

$$\begin{cases} m(\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) = mg \cos \gamma - N_2 + N_1 \sin \theta, \\ m(2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi}) = N_1 \sin \alpha \cos \theta + f_1 N_1 \cos \alpha - mg \sin \gamma \cos \lambda - f_2 N_2 \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{\dot{z}^2 + r^2\dot{\varphi}^2}}, \\ m\ddot{z} = N_1 \cos \alpha \cos \theta - f_1 N_1 \sin \alpha - mg \sin \gamma \sin \lambda - f_2 N_2 \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{z}^2 + r^2\dot{\varphi}^2}}, \end{cases} \quad (2)$$

где m – масса частицы, кг; \dot{r}, \ddot{r} – первая и вторая производная от перемещений частицы по оси Or соответственно; γ – угол наибольшего ската плоскости, касательной к образующей кожуха, проходящей через движущуюся частицу, град.; $\dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ – первая и вторая производная от перемещений частицы по оси $O\varphi$ соответственно; α – переменный угол наклона винтовой линии спирального винта к плоскости его поперечного сечения, град.; f_1 – коэффициент трения частицы о поверхность спирального винта; λ – угол между направлением составляющей силы тяжести по линии наибольшего ската и направлением оси спирального винта, град.; \dot{z}, \ddot{z} – первая и вторая производная от пе-

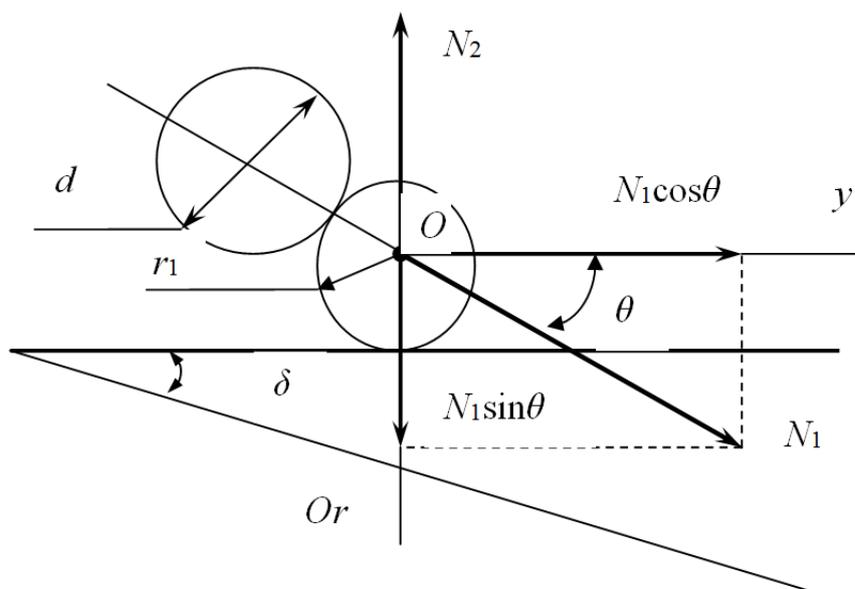


Рис. 2 – Разложение нормальной реакции поверхности витка спирали

ремещении частицы по оси Oz соответственно; r – координата перемещения частицы по оси Or , м [7, 8].

Из рисунков 1 и 2 следует, что

$$\begin{cases} \cos \gamma = \cos \delta \cdot \cos \varphi, \\ \sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \delta \cdot \cos^2 \varphi}, \end{cases} \quad (3)$$

где φ – угол затягивания частицы по внутренней поверхности кожуха в направлении, перпендикулярном к оси спирально-го винта, град.

При этом

$$\begin{cases} \sin \lambda = \frac{\sin \delta}{\sin \gamma} = \frac{\sin \delta}{\sqrt{1 - \cos^2 \delta \cdot \cos^2 \varphi}}, \\ \cos \lambda = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \delta}{\sin^2 \gamma}} = \frac{\cos \delta \cdot \sin \varphi}{\sqrt{1 - \cos^2 \delta \cdot \cos^2 \varphi}}. \end{cases} \quad (4)$$

Приняв, что $r = r_0 = const$, $\dot{r} = \ddot{r} = 0$, и подставив в уравнение (1) значения (2) и (3), получим:

$$\begin{cases} mr_0\ddot{\varphi} = N_1 \sin \alpha \cos \theta + f_1 N_1 \cos \lambda - mg \cos \delta \cdot \sin \varphi - f_2 N_2 \frac{r_0\dot{\varphi}}{\sqrt{\dot{z}^2 + r_0^2\dot{\varphi}^2}}, \\ -mr_0\dot{\varphi}^2 = mg \cos \delta \cdot \cos \alpha - N_2 + N_1 \sin \theta, \\ m\ddot{z} = N_1 \cos \alpha - f_1 N_1 \sin \varphi - mg \sin \delta - f_2 N_2 \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{z}^2 + r_0^2\dot{\varphi}^2}}. \end{cases} \quad (5)$$

Но при затягивании частицы по кожуху в плоскости, перпендикулярной к оси Oz , т.е. к оси спирального винта, частица совер-

шает относительное угловое перемещение в той же плоскости на угол $(\omega t - \varphi)$.

Соответственно перемещение, скорость и ускорение частицы в аксиальном направлении можно выразить так:

$$\begin{cases} z = r_0(\omega t - \varphi) \operatorname{tg} \alpha, \\ \dot{z} = r_0(\omega - \dot{\varphi}) \operatorname{tg} \alpha, \\ \ddot{z} = -r_0 \ddot{\varphi} \operatorname{tg} \alpha. \end{cases} \quad (6)$$

Исключив в системе при $m=1$ нормальные реакции N_1 и N_2 , получим одно уравнение с одним неизвестным относительно координаты φ [9, 10]:

$$\dot{\varphi} = \frac{f_1(g \cos \delta \cos \varphi + r_0 \dot{\alpha}^2) \left(B(\dot{\varphi}) \frac{U(\dot{\varphi})}{V(\dot{\varphi})} - A(\dot{\varphi}) \right) - g \cos \delta \sin \varphi + g \frac{U(\dot{\varphi})}{V(\dot{\varphi})} \sin \delta}{\left(1 + \operatorname{tg} \alpha \frac{U(\dot{\varphi})}{V(\dot{\varphi})} \right)} \quad (7)$$

где $U = U(\dot{\varphi}) = C - f_2 A(\dot{\varphi}) \sin \theta$;
 $V = V(\dot{\varphi}) = D - f_2 B(\dot{\varphi}) \sin \theta$;

$$C = \sin \alpha \cos \theta + f_1 \cos \alpha$$
;

$$D = \cos \alpha \cos \theta - f_1 \sin \alpha$$
;

$$A(\dot{\varphi}) = \frac{r \dot{\varphi}}{\sqrt{r_0^2 (\omega - \dot{\varphi})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + r_0^2 \dot{\varphi}^2}}$$
;

$$B(\dot{\varphi}) = \frac{r (\omega - \dot{\varphi}) \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{r_0^2 (\omega - \dot{\varphi})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + r_0^2 \dot{\varphi}^2}}$$

Результаты исследований. Решение полученных уравнений с помощью общеизвестных аналитических методов не пред-

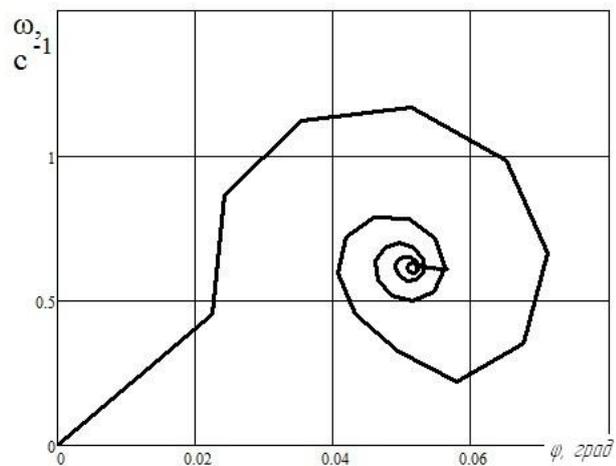


Рис. 3 – Фазовая траектория угловой скорости и перемещения частицы

ставляется возможным, поэтому их решали численными методами пакета MathCad. На рисунках 3...5 даны графические интерпретации результатов расчетов для спирально-винтового устройства с характеристиками: $f_1 = 0,5$; $f_2 = 0,3$ – коэффициент трения частицы о внутреннюю поверхность кожуха, $r_0 = 0,02$ м, $\omega_1 = 2 \text{ с}^{-1}$, $\delta = 5^\circ$, $d = 0,003$ м, $r_1 = 0,004$ м, $r_2 = 0,045$ м, $s = 0,006 \dots 0,012$ м – переменный шаг винтовой линии спирального винта.

При углах наклона к горизонту δ меньше 15° и скоростях вращения, определяемых значениями критерия $k = \omega^2 r / g \approx 1$, преобладают затухающие колебания частицы около образующей кожуха, которые характеризуются фазовой траекторией, изображенной на рисунке 3.

С увеличением шага винта с течением времени скорость перемещения частицы увеличивается (рис. 4).

На рис. 5 приведены результаты расче-

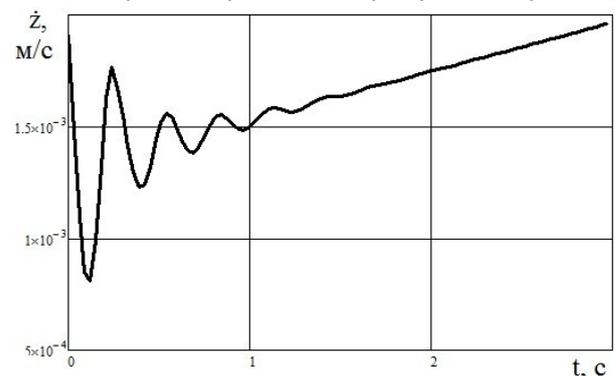


Рис. 4 – Изменение осевой скорости \dot{z} частицы в зависимости от времени t

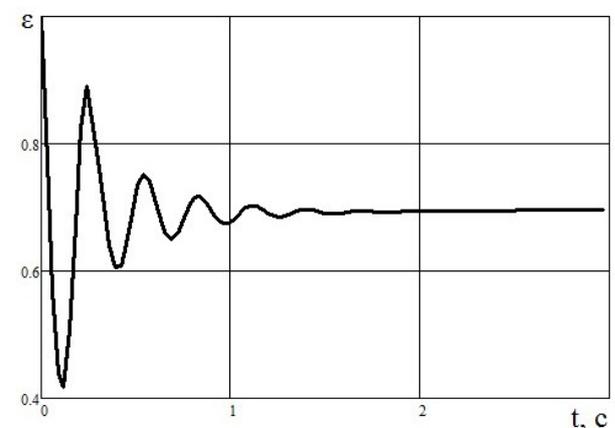


Рис. 5 – Зависимость коэффициента отставания частицы материала ϵ от времени t

тов изменения коэффициента отставания ϵ , равного отношению осевой скорости перемещения частицы к осевой скорости спирального винта, в зависимости от времени.

Изменения коэффициента ϵ наблюдаются в начальный момент времени и довольно быстро стабилизируются.

Применение устройств с рабочим органом в виде спирального винта с переменным шагом для перемещения сыпучего материала позволяет, при необходимости, увеличивать или уменьшать скорость частицы материала по длине рабочего органа без изменения частоты вращения спирального винта.

Выводы. Полученные зависимости могут быть использованы при расчете и проектировании спирально-винтовых устройств с переменным шагом спирали, применяемых при транспортировании сыпучих материалов, в частности, мелких семян в высевальных аппаратах сеялок.

Библиографический список

1. Исаев, Ю.М. Обеспечение нормы высева мелкосеменных культур спирально-винтовым высевальным аппаратом / Ю.М. Исаев, В.Г. Артемьев, В.И. Курдюмов, М.В. Воронина, Н.Н. Назарова // Вестник Ульяновской с.-х. академии. – 2012. – № 1. – С. 125-128.
2. Исаев, Ю.М. Спирально-винтовые устройства в сельском хозяйстве / Ю.М. Исаев, Х.Х. Губейдуллин, Н.М. Семашкин, И.И. Шигапов // Научный вестник Технологического института - филиала ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина» – 2013. – № 11, С. 116-123.
3. Исаев, Ю.М. Длинномерные спирально-винтовые транспортирующие устройства / Ю.М. Исаев. – Ульяновск. - Ульяновская ГСХА. – 2006. – 433 с.
4. Исаев, Ю.М. Критические условия перемещения частиц в спирально-винтовом транспортере / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, В.А. Злобин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – 2011. – №3, С.142-143.
5. Исаев, Ю.М. Движение зерна в спирально-винтовом транспортере / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Н.Н. Назарова, В.А. Злобин // Приоритетные направления развития науки, технологий и техники, научная международная конференция – 2010, С. 95-96.
6. Исаев, Ю.М. Давление спирального винта на частицу материала / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, В.А. Злобин Н.Н., Назарова // Современные наукоёмкие технологии. – 2010. – № 9. – С. 175-176.
7. Груздев, И.Э. Теории шнековых устройств / И.Э. Груздев, Р.Г. Мирзоев, В.И. Яков. – Л.: Изд-во. Ленингр. ун-та, 1978. – 144 с.
8. Гутьяр, Е. Я. Элементарная теория вертикального винтового транспортёра / Е.Я. Гутьяр // Тр. МИМЭСХ им. В.М. Молотова. – М.: Машгиз, 1956. – Т. 2. – С. 8-12.
9. Исаев, Ю.М. Критическая частота вращения спирального винта при перемещении частицы материала / Ю.М. Исаев, В.Г. Артемьев, Н.М. Семашкин, Н.Н. Назарова, В.А. Злобин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии – 2012. – № 1. – С. 132-135.
10. Желтов, В. П. Расчёт спиральных винтовых конвейеров/ В.П. Желтов // Вестник машиностроения. – 1975. – № 5. – С. 18...21.