

потерь урожая культуры из-за уплотняющего воздействия на почву ходовых систем агрегатов.

При рациональной компоновке агрегата по схеме (трактор - одноосный бункер - культиватор) доля переноса веса бункера на ходовую систему трактора должна составлять около 43%, ширина захвата увеличена до 12,3 м, а рабочая скорость соответствует диапазону 2,1-3,0 м/с. Для возможности наиболее полной реализации потенциала по несущей способности ходовой части трактора и снижения уровня ее уплотняющего воздействия на почву, с учетом конструктивных особенностей К-701, рекомендуется установка опорно-сцепного устройства седельного типа, а также спаривание колес трактора.

#### Библиографический список

1. Беляев В.И. Результаты тяговых испытаний посевных комплексов «Кузбасс» в Алтайском крае / В.И. Беляев,

Н.Н. Бережнов, Д.В. Тюрин // Вестник АГАУ. Барнаул: АГАУ. 2005. № 4. С. 44-47.

2. Красовских В.С. Повышение эффективности работы почвообрабатывающего посевного комплекса за счет выбора рациональной компоновки, параметров и режимов работы / В.С. Красовских, Н.Н. Бережнов // Вестник АГАУ. Барнаул: АГАУ. 2006. № 2. С. 55-58.

3. Красовских В.С. Обобщенная эксплуатационная характеристика тягово-транспортного энергосредства / В.С. Красовских, Н.Н. Бережнов // Вестник АГАУ. Барнаул: АГАУ. 2005. № 1. С. 108-115.

4. Красовских В.С. Обобщенная эксплуатационная характеристика почвообрабатывающего посевного агрегата на базе тягово-транспортного энергосредства / В.С. Красовских, Н.Н. Бережнов // Вестник АГАУ. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. № 1. С. 115-121.



УДК 631.372:361.499

**В.С. Красовских  
А.И. Клишин  
В.В. Павленко**

### УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВИБРАЦИОННЫЙ ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ

Механические высевающие аппараты современных сеялок зерновых культур не обеспечивают агротехнических требований особенно при высеве мелкосеменных культур. Они сложны в настройке, трудоемки в подготовке к ра-

боте и контроле технологического процесса.

Одним из перспективных направлений совершенствования механических высевающих аппаратов многие исследователи считают использование вибрации для высева семян. Сыпучие материалы в со-

стоянии вибрации начинают вести себя как вязкие жидкости. Сообщая массе семян колебательные движения с высокой частотой и малой амплитудой, добиваемся свободного равномерного истечения их из емкости, что позволяет повысить точность дозирования и упростить конструкцию [1, 2].

На кафедре «Тракторы и автомобили» АГАУ были проведены многочисленные экспериментальные исследования при создании нового высевающего аппарата вибрационного типа. Особое внимание было уделено: обеспечению равномерности высева семян при малых нормах высева, стабильности дозирования на пересеченной местности, универсальности, легкости установки на норму высева и снижению травмирования зерна при высеве.

Конструктивной особенностью данного аппарата является использования сдвоенного лотка 3 (рис. 1), расположенного на оси по обе стороны аппарата под одним углом и общим семясборником 5. Это позволило устранить влияния уклонов местности на изменения нормы высева, встречающиеся у многих вибрационных высевающих аппаратов лоткового типа [2].

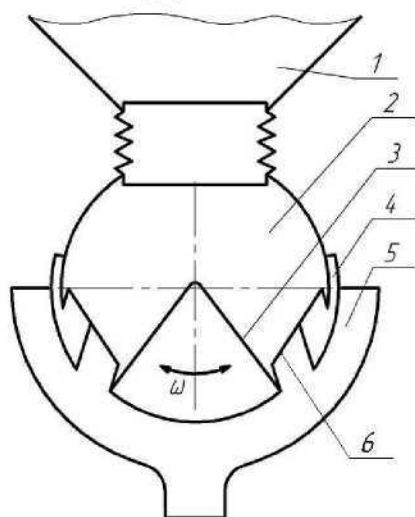


Рис. 1. Схема вибрационного высевающего аппарата

Дозирование семян высевающим аппаратом осуществляется следующим образом. Семенной материал из бункера 1 через отверстия самотеком поступает в приемную полость аппарата 2. Под воздействием колебательных движений рабочей поверхности (лотков) 3 происходит возбуждение семенного ма-

териала. Образуется псевдооживленный слой семян, истекающих через выходные окна 6, регулируемые заслонкой 4 на определенную норму высева. Семенной материал из окон 6 попадает через семясборник 5 и семяпроводы к сошникам (на чертеже не показано).

Для расчетов была применена теория движения отдельной материальной частицы, колеблющейся на наклонной вибрирующей поверхности с высотой слоя над лотком, который не превышает 20-30-кратного среднего размера частиц [1, 3].

На рисунке 2 представлена схема движения элементарной частицы по рабочей поверхности аппарата, согласно которой дифференциальные уравнения, описывающие процесс движения частицы в подвижных системах координат  $X_1OY_1$ , жестко связанной с колеблющейся рабочей поверхностью, имеет вид:

$$m \ddot{X}_1 = mg \sin(\gamma) - P_n - F_T; \quad (1)$$

$$m \ddot{Y}_1 = P_T + N - mg \cos(\gamma). \quad (2)$$

На указанную частицу действуют силы тяжести  $mg$  и сухого трения  $F_T$ , нормальная реакция  $N$ , нормальная сила инерции частицы  $P_n$ , касательная сила инерции частицы  $P_T$ . К основным параметрам системы следует отнести:  $\gamma$  - угол, указывающий на изменения положения рабочей поверхности (лотка) во время вибрации  $\gamma = \beta \pm \alpha$ ,  $\beta$  - угол наклона рабочей поверхности к горизонту,  $\alpha$  - угол отклонения рабочей поверхности, задаваемый исполнительным механизмом,  $\omega$  - угловая частота колебаний,  $R$  - положение частицы на рабочей поверхности относительно оси  $OX_1$ .

Рабочая поверхность совершает гармонические колебания с определенной амплитудой и частотой. Рабочая платформа совершает движение по синусоиде:

$$\alpha = A_\alpha \sin(\omega t), \quad (3)$$

где  $A_\alpha$  - безразмерная величина, определяемая геометрическим параметром привода;

$t$  - время, с.

При движении рабочей поверхности вверх  $\alpha > 0$  скорость частицы и ее давление на рабочую поверхность увеличи-

ваются, а затем наоборот. Наступает такое мгновение, когда давление становится равным нулю, и частица, оторвавшись от поверхности, совершает полет. В момент отрыва частицы ( $t = t_0, N = 0$ ) наступит равновесие сил, действующих на частицу в проекции на ось  $OY_1$ . Момент отрыва частицы от рабочей поверхности определяется из соотношения:

$$\sin(\omega t_0) = \frac{g \cos(\beta)}{A_\alpha (\omega^2 R - g \sin(\beta))} \quad (4)$$

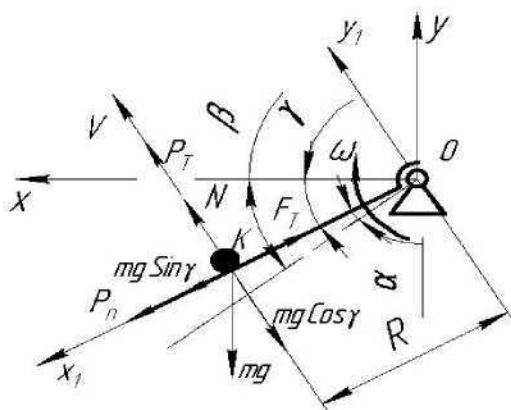


Рис. 2. Схема движения одиночной частицы по рабочей поверхности

Примем  $\sin(\omega t_0) = \lambda$ , где  $\lambda$  – безразмерная величина, определяемая: углом наклона рабочей поверхности к горизонту  $\beta$ , длиной рабочей поверхности  $R$ , амплитудой и частотой колебаний рабочей поверхности.

Частица остается на вибрирующей платформе при условии

$$\left. \begin{aligned} N(t) > 0 \\ \sin(\omega t) < \lambda \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

На рисунке 3 представлен график, указывающий на изменения фазового угла отрыва частицы от плоскости в зависимости от величины ее перемещения по платформе.

При относительном покое частицы на вибрирующей поверхности (т.е. при  $\dot{X} = 0$  и  $\dot{Y} = 0$ ) сила сухого трения  $F_T = F_T^0$  не определяется соотношениям  $F_T = fN$  ( $f$  – коэффициент трения скольжения), а находится из дифференциального уравнения движения частицы на вибрирующей поверхности (1):

$$F_T^0(t) = mg \sin(\gamma) + m(A_\alpha \omega \cos(\omega t))^2 R. \quad (6)$$

Частица может оставаться в состоянии относительного покоя от перемещения на плоскости лишь при условии, что сила трения  $F_T^0$  не превосходит по абсолютной величине предельного значения силы статического трения  $F_{\max} = f_1 N$  ( $f_1$  – коэффициент трения покоя):

$$-f_1 N(t) \leq F_T^0(t). \quad (7)$$

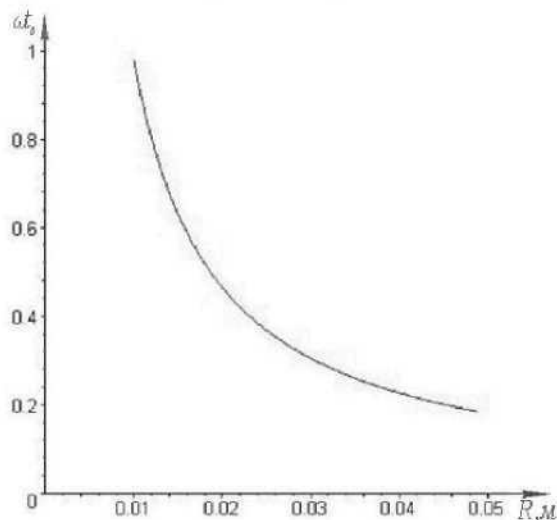


Рис. 3. График зависимости момента отрыва от длины платформы

Подставив  $F = fN$  в уравнение (1), получим уравнение движения частицы по поверхности:

$$\ddot{X}_1 = \frac{1}{2} A_\alpha^2 \omega^2 \cos(2\omega t) R + \frac{1}{2} A_\alpha^2 \omega^2 R + (f R A_\alpha \omega^2 - f g A_\alpha \sin(\beta) - g A_\alpha \cos(\beta)) \sin(\omega t) + g \sin(\beta) - f g \cos(\beta) + \frac{1}{2} A_\alpha^2 \omega^2 R. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение полета частицы над плоскостью в подвижной системе координат  $X_1 O Y_1$  при  $F_T = N = 0$  принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{X}_1 &= g \sin(\gamma) + (A_\alpha \omega \cos(\omega t))^2 R \\ \ddot{Y}_1 &= A_\alpha \omega^2 \sin(\omega t) R - g \cos(\gamma) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для определения скорости полета и величины перемещения частицы при полете можно использовать дифференциальное уравнение (8).

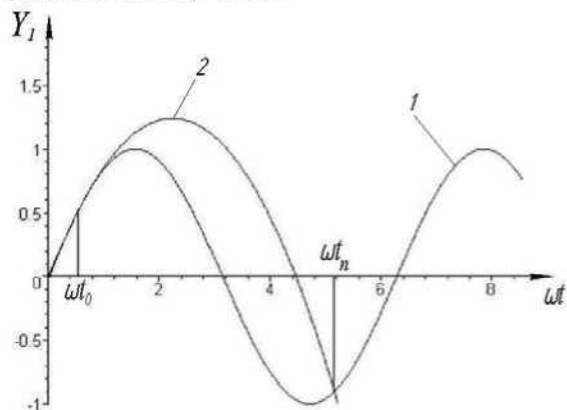
Момент падения частицы  $t_n$  на рабочую плоскость определяется из уравнения (8) при  $Y_1 = 0$ :

$$0 = \sin(\omega t_0) + (\omega t_n - \omega t_0) \cos(\omega t_0) - \frac{\lambda (\omega t_n - \omega t_0)^2}{2}. \quad (9)$$

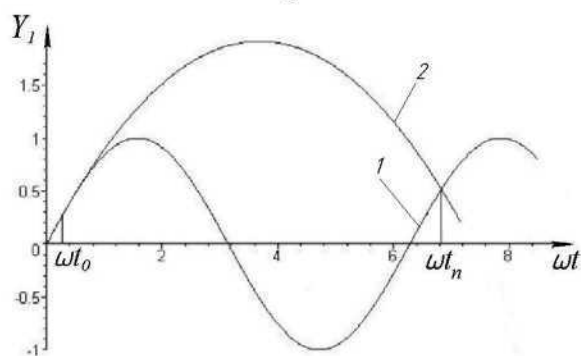
Исходя из вышеизложенного момент падения частицы на рабочую поверхность можно определить из соотношения:

$$\sin(\omega t_n) = \sin(\omega t_0) + (\omega t_n - \omega t_0) \cos(\omega t_0) - \frac{\lambda (\omega t_n - \omega t_0)^2}{2}. \quad (10)$$

Рассмотрим графический метод решения данного уравнения (рис. 4) с координатами  $Y_1$  и  $\omega t$ .



а



б

Рис. 4. Графический метод определения фазового угла отрыва и падения, где а –  $R = 0,025 \text{ м}$ ; б –  $R = 0,045 \text{ м}$ ;

$$1 - Y_1 = \sin(\omega t);$$

$$2 - Y_1 = \sin(\omega t_0) + (\omega t_n - \omega t_0) \cos(\omega t_0) - \frac{\lambda(\omega t_n - \omega t_0)^2}{2}.$$

С помощью построения траекторий движения рабочей поверхности и полета частицы точка пересечения траекторий соответствует моменту падения  $t_n$  частицы на плоскость. Следует отметить, что такой способ можно использовать для единичных расчетов, но требует значительных затрат труда для вычисления движения частицы на всем участке рабочей поверхности. Для определения функции  $\omega t_n$  и упрощения расчетов производят табуляцию уравнения (10) с введением дополнительных обозначений [1]. Это позволяет легко определить момент падения  $t_n$  частицы на плоскость в зависимости от момента ее отрыва  $t_0$ . На рисунке 5 представлен график функции  $\omega t_n = f(\omega t_0)$  для определения момента падения частицы на плоскость в зависимости от момента отрыва частицы.

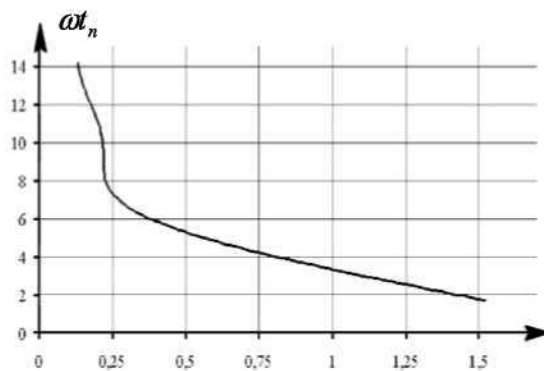


Рис. 5. График функции  $\omega t_n = f(\omega t_0)$

На основании работ [1] установлено, что соударение частицы с поверхностью происходит практически мгновенно, и в процессе удара скорость частицы стремится к нулю, т.е. удар частицы рассматривают как абсолютно неупругий  $R_s = 0$ .

Движения частицы по вибрирующей платформе происходит с периодом  $T$  по схеме полет – скольжение – полет – скольжение и так далее.

$$T = pT_0 = \frac{2\pi p}{\omega}, \quad (11)$$

где  $p$  – целое положительное число.

Моменты перехода от одного этапа движения к другому осуществляются с определенной зависимостью предыдущего этапа к последующему. Момент отрыва частицы от рабочей поверхности равен  $t_0 = \frac{\omega t_0}{\omega}$ , тогда последующий момент отрыва на основании вышесказанного составляет:

$$t_{0i} = \frac{\omega t_0 + 2\pi p}{\omega}, \quad (12)$$

где  $i = 1, 2, 3 \dots j$ .

Конструктивные особенности предложенной схемы не дают нам полностью положиться на выражения (12), так как фазовый угол отрыва частицы есть функция от перемещения  $\omega t_0 = f(R)$  (рис. 3). Это значит, что каждый последующий момент отрыва  $t_{0j}$  будет меньше предыдущего  $t_{0(j-1)}$ .

Для определения последующих моментов отрывов  $t_{0j}$  частицы от плоскости необходимо учитывать ее начальное условие положения  $R = R_i$  частицы в предыдущий момент отрыва и последующее передвижение частицы по плоско-



сти, т. е. суммарное расстояние движения частицы:

$$R_j = R_i + X_{ni} + X_{ci} \quad (13)$$

где  $X_{ni}$  – дальность полета, м;

$X_{ci}$  – дальность скольжения, м.

Определив фазовый угол  $\omega t_o$  отрыва частицы от плоскости по формуле (3) или рисунку 3. Из рисунка 5 определяем фазовый угол падения  $\omega t_n$  или с помощью трансцендентного уравнения [1]. Интервал времени скольжения частицы по вибрирующей платформе можно определить по выражению  $t_c = \frac{\omega t_{oj} + 2\pi - \omega t_n}{\omega}$ . Частица

будет скользить до момента следующего отрыва частицы от поверхности  $t_{oj}$ , который находится из уравнения (3) с учетом выражения (13). Определив моменты перехода от одного интервала к другому:

время отрыва частицы –  $t_o = \frac{\omega t_o}{\omega}$ , время

падения –  $t_n = \frac{\omega t_n}{\omega}$ , время скольжения –

$t_c = \frac{\omega t_{oj} + 2\pi - \omega t_n}{\omega}$  и подставив их в диф-

ференциальные уравнения движения частиц (7) и (8), можно определить перемещение и среднюю скорость движения частицы по выражению [1]:

$$\Delta \dot{X}_T = \Delta \dot{X}_n + \Delta \dot{X}_c, \quad (14)$$

где  $\Delta \dot{X}_n$  – приращения скорости частицы за время полета, м/с<sup>2</sup>;

$\Delta \dot{X}_c$  – приращение скорости частицы за время скольжения до начала этапа полета  $\Delta \dot{X}_n = \dot{X}_n - \dot{X}_0 = \dot{X}_n(1 - \varepsilon) - \varepsilon \dot{X}_0$ , м/с<sup>2</sup>;

$\dot{X}_n$  – скорость полета частицы, м/с<sup>2</sup>;

$\dot{X}_0$  – скорость отрыва частицы, м/с<sup>2</sup>,

$\varepsilon$  – коэффициент мгновенного трения при ударе.

Предлагаемое устройство имеет две рабочие поверхности, находящихся друг против друга и расположенных под одинаковым углом к горизонту. При наклоне аппарата скорость движения частицы с одной поверхности возрастает, а с другой – уменьшается (рис. 6), их сложение стабилизирует движение при уклонах (рис. 7).

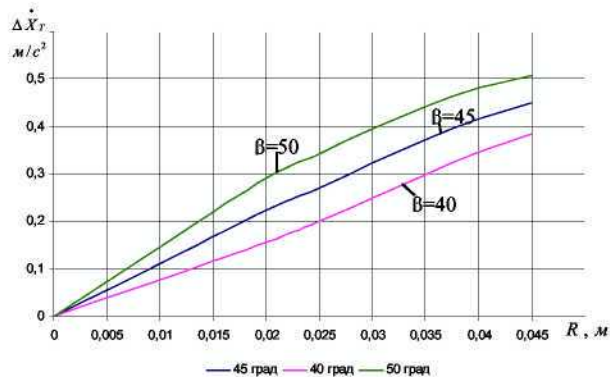


Рис. 6. График изменения скорости движения материальной точки по рабочей поверхности

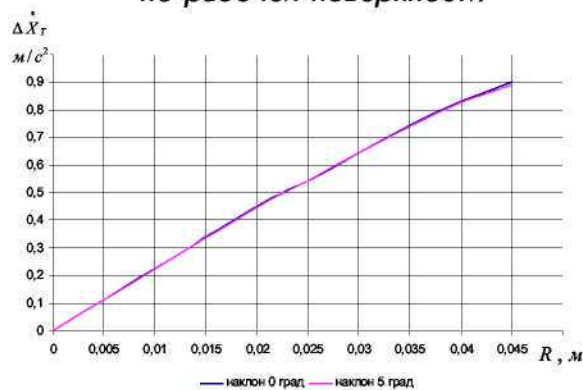


Рис. 7. График изменения суммарных скоростей движения материальной точки по рабочей поверхности

Проведенные экспериментальные исследования показали, что высеваящий аппарат обеспечивает равномерный высев зерновых, зернобобовых и мелкосеменных культур с различными нормами высева. Не реагирует на изменения уклона местности и не травмирует семена. Высеваящий аппарат может быть использован для высева различных сельскохозяйственных культур и удобрений, легко устанавливается на заданную норму высева.

#### Библиографический список

1. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. М.: Наука, 1964.
2. Клишин А.И. Тенденция развития вибрационных высеваящих аппаратов, сеялок / А.И. Клишин, Е.В. Красовских, С.А. Тарасов // Вестник АГАУ. 2004. № 2(14). С. 156-161.
3. Спиваковский А.О. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства / А.О. Спиваковский, И.Ф. Гончаревич. М.: Машиностроение, 1972.