

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 631.354.2.027

С.Ф. Сороченко  
S.F. Sorochenko

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА ПО РЕШЕТУ АДАПТЕРА ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

### MATHEMATICAL MODEL OF THRESHED HEAP MOVEMENT OF GRAIN LOTS ON THE SIEVE OF CLEANING ADAPTER OF GRAIN COMBINE HARVESTER

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, склоны, система очистки, адаптер, потери зерна, математическая модель, движение зернового вороха.

Одним из способов снижения потерь зерна при работе зерноуборочного комбайна на склонах является выравнивание зернового вороха, поступающего на очистку. Разработан адаптер системы очистки, позволяющий разравнивать зерновой ворох по ширине верхнего решета при работе зерноуборочного комбайна на склонах. Целью работы является разработка математической модели движения зернового вороха по решету адаптера. Движение слоя вороха рассматривали в виде движения элемента слоя, имеющего приведённый коэффициент парусности и фрикционные свойства соломы, движение по решету адаптера – в подвижной системе координат, связанной с поверхностью решета. Направление силы инерции элемента слоя от колебаний решета задано углом, который определён в виде функции от времени. Разработана математическая модель движения элемента слоя по поверхности решета. Полёт элемента слоя над решетом в системе координат, связанной с корпусом зерноуборочного комбайна, описан известной математической моделью С.А. Алферова. Решение систем дифференциальных уравнений выполнили с помощью программы Mathcad. Проведены вычислительные эксперименты движения слоя по поверхности решета адаптера. Определены рациональные параметры колебаний решета адаптера в поперечном направлении в зависимости от наклона зерноуборочного комбайна.

**Keywords:** grain combine harvester, slopes, cleaning system, adapter, grain loss, mathematical model, movement of threshed heap.

One of the methods of to reduce grain losses in a grain combine harvester operating on slopes is leveling of threshed heap being fed for cleaning. Cleaning system adapter to level threshed heap across the width of the upper sieve for a combine harvester operating on slopes has been developed. The research goal is development of a mathematical model of threshed heap movement along adapter sieve. The movement of threshed heap layer was considered as the movement of layer component having reduced screen factor and friction properties of straw. The movement along adapter sieve was considered in the mobile coordinate system connected to sieve surface. The direction of inertial force of layer component depending on sieve oscillations is set by an angle which is defined as temporal function. The mathematical model of layer component movement along sieve surface has been developed. The flight of layer component over sieve in the coordinate system connected to combine harvester body is described by a known mathematical model of S.A. Alferov. The solution of differential equation system was performed by means of the Mathcad software. Computing experiments of layer movement along adapter sieve surface were carried out. Rational parameters of oscillations of adapter sieve in cross direction depending on combine harvester inclination were determined.

**Сороченко Сергей Фёдорович**, к.т.н., доцент, проф. каф. «Наземные транспортно-технологические системы», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 29-09-42. E-mail: sorochenkosf@list.ru.

**Sorochenko Sergey Fedorovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Prof., Chair of Surface Transportation Technological Systems, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 29-09-42. E-mail: sorochenkosf@list.ru.

### Введение

Одним из способов снижения потерь зерна при работе зерноуборочного комбайна на пологих (до  $12^\circ$ ) склонах является выравнивание зернового вороха, поступающего на очистку. Разработано устройство, названное адаптером очистки для склонов, позволяющее разравнивать зерновой ворох до поступления на верхнее решето зерноуборочного комбайна при работе на склонах [1, 2]. Для определения конструктивных параметров и режимов работы адаптера очистки необходимо определить параметры движения зернового вороха по решетке адаптера при продольных и поперечных наклонах корпуса зерноуборочного комбайна.

**Целью** работы является разработка математической модели движения зернового вороха по решетке адаптера.

### Описание адаптера очистки

Адаптер для склонов включает решето, состоящее из рамы 1, к которой жёстко присоединены продольные гребёнки 2 и пластина 3 с планками 4. Пластина располагается над транспортной доской, а продольные гребёнки – над верхним решетом. Рама соединена с транспортной доской шатунами 5 и шаровыми шарнирами 6, а с корпусом зерноуборочного комбайна –

подвесками 7, соединёнными одними концами через шаровые шарниры 8 с рамой, а другими – цилиндрическими шарнирами 9 с нижними частями поворотных рычагов 10. Поворотные рычаги соединены цилиндрическими шарнирами 11 с кронштейнами, установленными на корпусе зерноуборочного комбайна, а между собой соединены тягами 12. Один поворотный рычаг соединён с устройством для изменения направления колебаний решета, которое может быть выполнено с гидравлическим [2] или электрическим приводом [1, 3].

Колебательное движение раме 1 передаётся шатунами 5 от транспортной доски. При работе зерноуборочного комбайна с поперечным наклоном от датчика крена передаётся сигнал на устройство для изменения направления колебаний, поворотные рычаги 10 поворачиваются, что приводит к изменению направления колебаний решета. Соломозацепы на гребёнках препятствуют перемещению зернового вороха в обратном продольном направлении. Для перемещения зернового вороха в поперечном направлении он должен отрываться от гребёнок, т.е. должна быть фаза полёта, что обеспечивается подачей воздуха, установкой решета адаптера относительно горизонта под определённым углом и длиной подвесок 7.

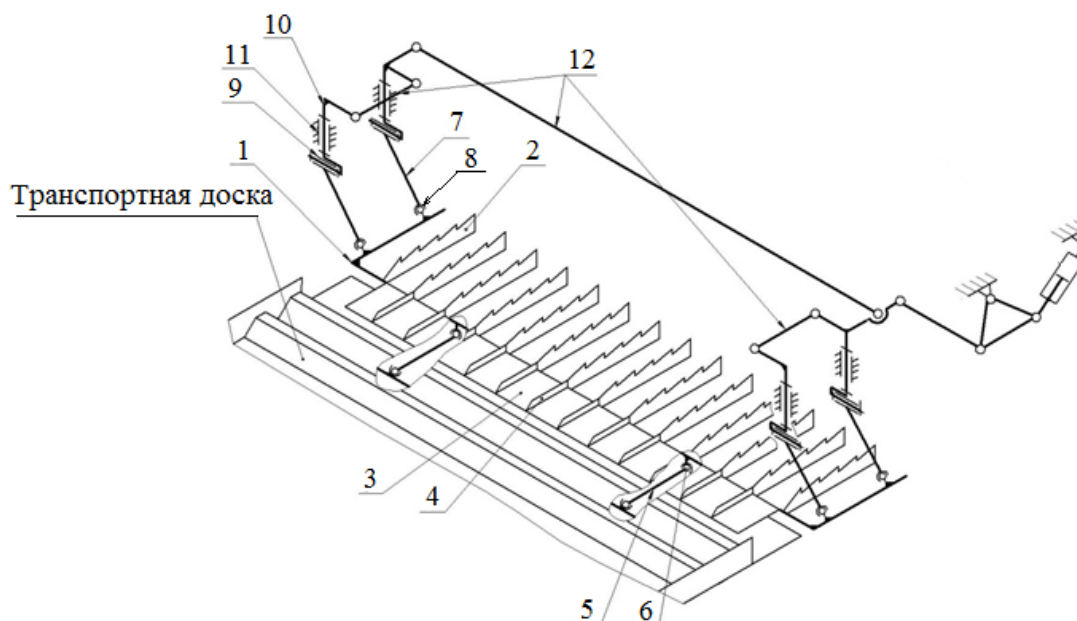


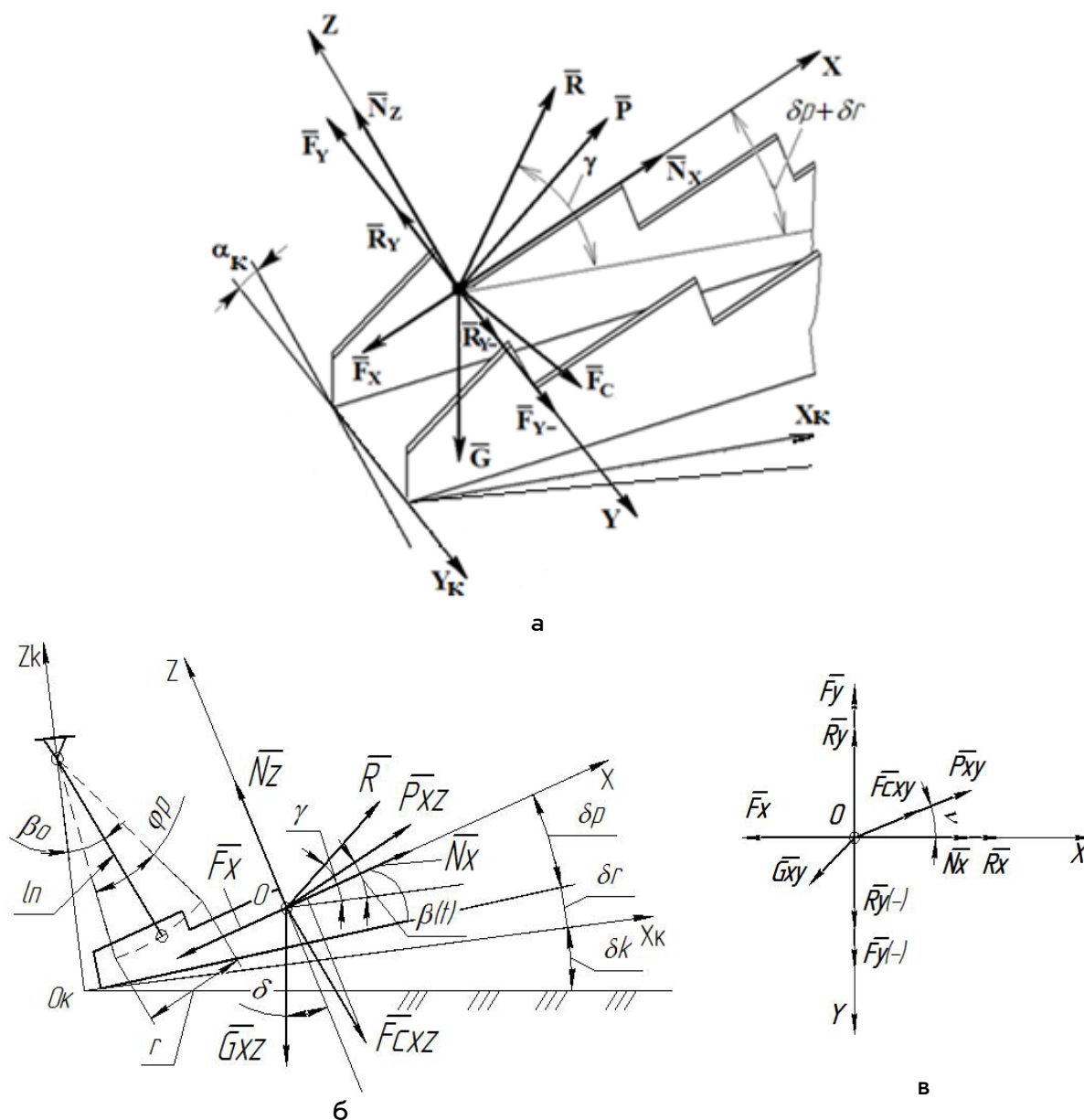
Рис. 1. Схема адаптера очистки (расшифровка позиций в тексте)

**Математическое моделирование движения зернового вороха по решетке адаптера**

Зерновой ворох, поступающий на решетку адаптера, состоит из зерна, соломы и сбойны, имеющих разные коэффициенты парусности. При движении зернового вороха по решетке адаптера происходят столкновения зерна с соломистыми примесями, поэтому при моделировании применён приведённый коэффициент парусности  $k_p$  элемента слоя, рассчитанный как средневзвешенное значение коэффициентов парусности компонентов, входящих в зерновой ворох. Приведённый коэффициент парусности слоя вороха пшеницы, присутствующего на решетке адаптера, находится в интервале от 0,2 до

0,3. Движение слоя вороха рассмотрено в виде движения элемента, имеющего приведённый коэффициент парусности и фрикционные свойства соломистой фракции зернового вороха. Элемент слоя разделяет движение центра масс.

Введём подвижную систему координат  $OXYZ$ , связанную с поверхностью гребёнки решетки адаптера, и систему координат  $O_k X_k Y_k Z_k$ , связанную с корпусом комбайна (рис. 2). При движении элемента слоя большое значение имеет направление его скорости в момент отрыва, поэтому рассмотрим колебательные движения решетки по дуге окружности, имеющей радиус, равный длине подвесок  $l_{из}$ .



**Рис. 2. Силы, действующие на элемент слоя:**  
 а – пространственная схема; б – в плоскости  $XOZ$ ; в – в плоскости  $XOY$

На элемент слоя, находящегося на колеблющемся решетке адаптера, действуют следующие силы:  $G = m \cdot g$  – сила тяжести (где  $m$  – масса элемента;  $g$  – ускорение свободного падения),  $R = m \cdot k_p \cdot \Delta U^2$  – сила воздействия воздушного потока (где  $\Delta U$  – скорость обдува элемента воздухом в продольном направлении (относительная скорость элемента в продольном направлении));  $R_T = m \cdot k_p \cdot \dot{y}^2$  – сила сопротивления воздушного потока при движении элемента в поперечном направлении (где  $\dot{y}$  – относительная скорость элемента в поперечном направлении;  $N_X, N_Z$  – нормальные реакции гребёнки по осям  $X$  и  $Z$ ;  $P = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega \cdot t)$  – сила инерции элемента от колебаний решета (где  $\omega$  – циклическая частота колебаний;  $r$  – амплитуда колебаний решета адаптера;  $t$  – время).

Угол продольного наклона поверхности гребёнки относительно горизонта  $\delta$  определен в виде суммы углов – наклона поверхности гребёнки относительно решета адаптера  $\delta_p$ , наклона решета относительно корпуса комбайна  $\delta_r$  и наклона корпуса комбайна относительно горизонта  $\delta_K$ :

$$\delta = \delta_p + \delta_r + \delta_K. \quad (1)$$

В формуле (1) при движении комбайна вниз по склону угол  $\delta_K$  принимает положительное значение, при движении комбайна вверх по склону – отрицательное.

В работах [4-6 и др.] принято допущение, что сила инерции элемента слоя от колебаний решета направлена по хорде под углом  $\beta = const$ . Однако при небольшой длине подвесок указанное допущение приводит к большой погрешности определения направления силы инерции (до 37% для предлагаемой конструкции адаптера), что сказывается на точности математической модели. Поэтому угол  $\beta$  определен в виде функции от времени (рис. 2б):

$$\beta(t) = \beta_0 + \arcsin \frac{r \cdot \cos(\omega \cdot t)}{l_n}, \quad (2)$$

где  $\beta_0$  – угол, определяющий центральное положение подвесок.

Углы, определяющие наклон воздушного потока  $\gamma$  и направление колебаний  $\beta(t)$ , заданы относительно корпуса комбайна.

Движение гребёнки происходит по дуге окружности с радиусом  $l_n$ , поэтому на элемент слоя также действует центробежная сила

$$F_c = m \cdot \omega_n^2 \cdot l_n, \quad (3)$$

где  $\omega_n$  – угловая скорость элемента слоя, зависящая от угловой скорости подвески адаптера  $\omega_n$  и  $\dot{x}$  – проекции относительной скорости элемента слоя на ось  $X$ ;

$$F_c = m \cdot \frac{[-\omega \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t) + \dot{x} \cdot \cos(\beta(t) - \delta_1)]^2}{l_n},$$

где  $\delta_1 = \delta_p + \delta_r$ .

Изменение направления колебаний решета производится за счёт поворота подвесок, поэтому амплитуда колебаний решета в продольном направлении равна  $A_x = r \cdot \cos(\nu)$ , в поперечном направлении  $A_y = r \cdot \sin(\nu)$ , а угол  $\nu = \arctg(A_y/A_x)$ .

При определении параметра  $\Delta U$  учтём, что решето адаптера колеблется в продольном направлении с амплитудой  $A_x$ , поэтому

$$\Delta U = U + \omega \cdot r \cdot \cos(\nu) \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\gamma - \beta(t)) - \dot{x} \cdot \cos(\gamma - \delta_1), \quad (5)$$

где  $U$  – скорость воздушного потока.

Предполагаем, что перемещение элемента слоя в направлении оси  $Y$  до отрыва её от поверхности гребёнки мало, а перемещение в отрицательном направлении оси  $X$  из-за зацепов на гребёнках отсутствует. Отсюда принимаем составляющие силы трения на оси  $X$  и  $Y$  –  $F_X = f_1 \cdot N$  (где  $f_1$  – коэффициент трения слоя по гребёнке) и  $F_Y = f_2 \cdot N$  (где  $f_2$  – приведённый коэффициент трения-сцепления слоя с гребёнкой,  $f_2 \geq 2$ ).

Направление элемента слоя относительно оси  $X$  определяли по углу  $\varepsilon = \arctg(\dot{y}/\dot{x})$  (где  $\dot{y}$  – проекция относительной скорости элемента слоя на ось  $Y$ ).

Дифференциальные уравнения движения элемента слоя имеют следующий вид (верхние знаки – при движении элемента в положительном направлении осей):

$$\begin{cases} m\ddot{x} = P \cos(\beta(t) - \delta_1) \cos v + R \cos(\gamma - \delta_1) + F_C \sin(\beta(t) - \delta_1) \cos v + N_X - F_X - G \cos \alpha_K \sin \delta \\ m\ddot{y} = P \cos(\beta(t) - \delta_1) \sin v + F_C \sin(\beta(t) - \delta_1) \sin v + F_Y + R_Y - G \sin \alpha_K \cos \delta \\ m\ddot{z} = P \sin(\beta(t) - \delta_1) + R \sin(\gamma - \delta_1) - F_C \cos(\beta(t) - \delta_1) + N_Z - G \cos \alpha_K \cos \delta \end{cases} \quad (6)$$

По первому уравнению системы (6) при  $z = 0, \dot{z} = 0, \ddot{z} = 0, N_Z > 0, N_X = 0, \dot{x} \geq 0$

определен параметр  $t_1$  – время начала перемещения элемента слоя в положительном направлении оси  $X$ ; из третьего уравнения при  $z = 0, \dot{z} = 0, \ddot{z} = 0, N_Z = 0$  – время отрыва элемента слоя от гребёнки  $t_{0z}$ . Выявлено, что  $t_1$  и  $t_{0z}$  практически не зависят от наклона решета в поперечном направлении (угла  $\alpha_K$ ) и направления колебаний решета (угла  $\psi$ ). При  $r = 0,03$  м,  $\omega = 28$  с<sup>-1</sup>,  $l_m = 0,12$  м,  $U = 4,5$  м/с,  $k_p = 0,23$  м<sup>-1</sup>,  $f_1 = 0,4$ ,  $\delta_1 = 10^0$  указанные параметры равны:  $t_1 = 0,172$  с (угол поворота приводного вала  $\varphi_1 = 275,9^0$ ) и  $t_{0z} = 0,206$  с ( $\varphi_0 = 329,7^0$ ). В промежутке времени от  $t_1$  до  $t_{0z}$  частица перемещается по гребёнке.

**Математическое моделирование полёта слоя над решетом адаптера**

Движение слоя зернового вороха после отрыва от поверхности решета происходит в воздушном потоке, направление которого зависит от наклона корпуса комбайна. На рисунке 3 изображена схема сил, действующих на элемент слоя, совершающего полёт над решетом адаптера.

Полёт элемента слоя относительно системы координат  $O_K X_K Y_K Z_K$  описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x}_K = R_X - G \cdot \cos \alpha_K \cdot \sin \delta_K \\ m \cdot \ddot{y}_K = R_Y - G \cdot \sin \alpha_K \cdot \cos \delta_K \\ m \cdot \ddot{z}_K = R_Z - G \cdot \cos \alpha_K \cdot \cos \delta_K \end{cases} \quad (7)$$

Проекции относительной скорости элемента слоя на оси  $X_K$  и  $Z_K$  в соответствии с рекомендациями С.А. Алфёрова [4] равны:

$$\begin{aligned} V_{rXK} &= U \cos \gamma - V_{XK}; \\ V_{rZK} &= U \sin \gamma - V_{ZK}. \end{aligned} \quad (8)$$

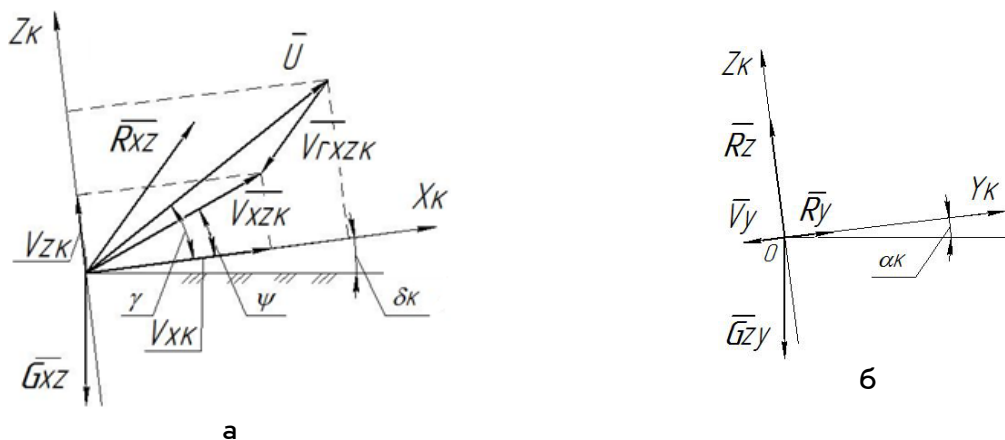


Рис. 3. Схемы к определению траектории полёта элемента слоя над решетом адаптера: а – в плоскости  $X_K O Z_K$ ; б – в плоскости  $Y_K O Z_K$

В соответствии с моделью движения частицы в наклонном воздушном потоке С.А. Алфёрова [4] система дифференциальных уравнений полёта выделенного слоя над решетом адаптера имеет вид:

$$\begin{cases} \ddot{x}_K = k_p \cdot \left[ \sqrt{V_{rXK}^2 + V_{rZK}^2} \right]^2 \cdot \frac{V_{rXK}}{\sqrt{V_{rXK}^2 + V_{rZK}^2}} - g \cdot \cos \alpha_K \cdot \sin \delta_K \\ \ddot{y}_K = \pm k_p \cdot V_{rYK}^2 - g \cdot \sin \alpha_K \cdot \cos \delta_K \\ \ddot{z}_K = k_p \cdot \left[ \sqrt{V_{rXK}^2 + V_{rZK}^2} \right]^2 \cdot \frac{V_{rZ}}{\sqrt{V_{rXK}^2 + V_{rZK}^2}} - g \cdot \cos \alpha_K \cdot \cos \delta_K \end{cases} \quad (9)$$

Начальные условия полёта слоя:  
 $t = t_{от}$ ,  $x_K = x_{Кот}$ ,  $y_K = y_{Кот}$ ,  $z_K = z_{Кот}$ ,  
 $\dot{x}_K = \dot{x}_{Кот}$ ,  $\dot{y}_K = \dot{y}_{Кот}$ ,  $\dot{z}_K = \dot{z}_{Кот}$  (где индекс *of* обозначает отрыв слоя от гребёнки).

Решение систем дифференциальных уравнений (6) и (9) выполнили численным методом Рунге-Кутты, реализованном в программе Mathcad в виде функции rkfixed. Время соударения слоя вороха с решетом определяли в программе Mathcad по графикам перемещений по оси  $Z_K$  слоя вороха и решета адаптера с помощью функции Trace (рис. 4). Поперечную  $V_{YCP}$  и продольную  $V_{XCP}$  составляющие средней скорости элемента слоя устанавливали по перемещению элемента слоя относительно решета за один период колебаний. Направление слоя вороха относительно оси X определяли по углу  $\varepsilon_{CP} = \arctg(V_{YCP} / V_{XCP})$ . Расчёт проведён при детерминированном значении  $k_p = 0,23$ , которое соответствует скорости витания элемента слоя  $U_s = 6,5 \text{ м/с}$ .

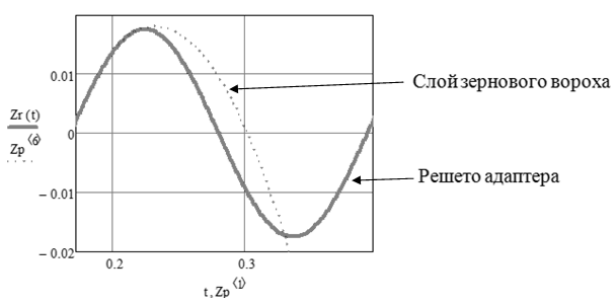


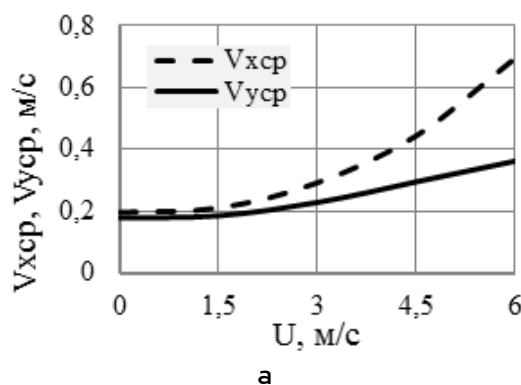
Рис. 4. Определение времени соударения элемента слоя с решетом адаптера

### Полученные результаты, их анализ и обсуждение

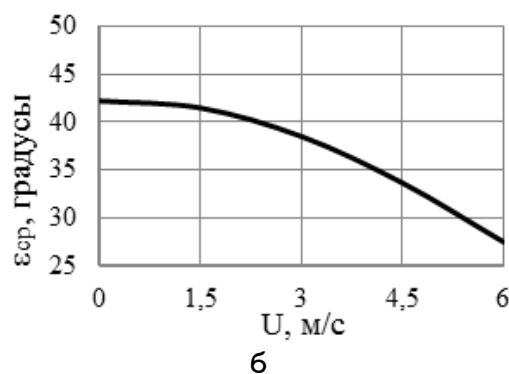
Изменение направления колебаний решета способствует перемещению зернового вороха в поперечном направлении. На параметры движения зернового вороха большое влияние оказывает скорость воздушного потока. Параметры движения слоя вороха при направлении колебаний решета  $\nu = 45^\circ$  в зависимости от скорости воздушного потока представлены на рисунке 5.

При отсутствии воздушного потока скорость слоя вороха в продольном направлении за одно колебание решета ( $V_{XCP}$ ) немного больше скорости в поперечном

направлении ( $V_{YCP}$ ), а угол  $\varepsilon_{CP} = 42,2^\circ$ . Увеличение скорости воздушного потока приводит к увеличению обеих составляющих средней скорости вороха, причём в большей мере – в продольном направлении. При скорости воздушного потока  $U = 4,5 \text{ м/с}$   $V_{XCP} = 0,44 \text{ м/с}$ ,  $V_{YCP} = 0,30 \text{ м/с}$ , а относительные перемещения слоя вороха по решетку в продольном и поперечном направлениях за одно колебание решета, соответственно, равны 0,100 и 0,066 м (угол  $\varepsilon_{CP} = 33,6^\circ$ ).



а



б

Рис. 5. Графики зависимости параметров движения слоя вороха от скорости воздушного потока ( $\alpha_K = 0^\circ$ )

На рисунке 6 показаны результаты расчёта движения слоя вороха при различных поперечных кренах молотилки. При крене комбайна  $6^\circ$  слой вороха не смещается вниз по склону при  $\nu \geq 5,5^\circ$  (амплитуда решета адаптера в поперечном направлении  $A_y \geq 0,003 \text{ м}$ ), а при крене  $12^\circ$  – при  $\nu \geq 11,5^\circ$  ( $A_y \geq 0,006 \text{ м}$ ). Изменение направления колебаний решета адаптера способствует перемещению слоя вороха вверх по решетку в направлении оси Y.

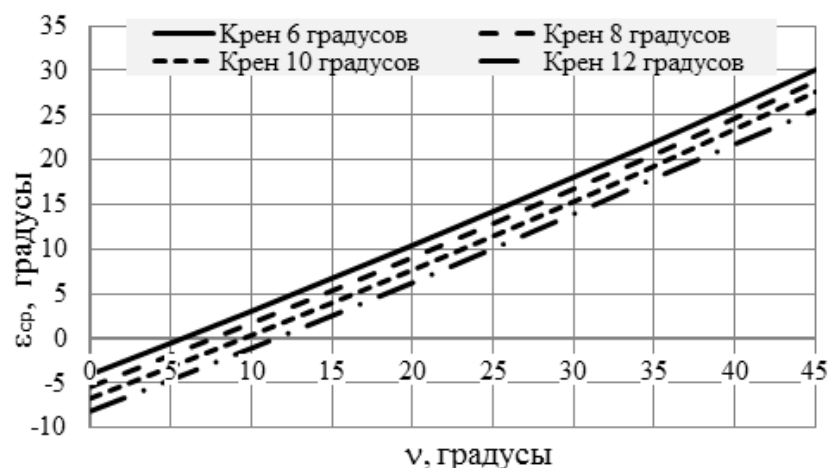


Рис. 6. График зависимости  $\varepsilon_{\text{ср}}$  от направления колебаний решета  $\nu$  и поперечного крена комбайна

Для обеспечения перемещения слоя вороха в поперечном направлении вверх по решету, например, под углом  $20^\circ$ , при крене корпуса комбайна  $8^\circ$  требуемый угол  $\nu = 34^\circ$  ( $A_\gamma = 0,017 \text{ м}$ ).

Приведённые результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальными исследованиями системы очистки с адаптером, проведенными в лабораторных условиях [7]. Предварительные лабораторно-полевые испытания системы очистки зерноуборочного комбайна с адаптером показали её высокую конкурентоспособность [8, 9].

#### Выводы

1. Разработана математическая модель движения зернового вороха по решету адаптера очистки для склонов, учитывающая продольный и поперечный наклоны корпуса комбайна и направление колебаний решета.

2. Определены рациональные направления колебаний решета адаптера в зависимости от крена зерноуборочного комбайна.

#### Библиографический список

1. Решетный стан очистки зерноуборочного комбайна: патент 2275787 Рос. Федерация: МКИ А01F 12/44 / Сороченко С.Ф., Рязанов А.В.; заявитель и патентообладатель Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – № 2004125547/12; заявл. 20.08.2004; опубл. 10.05.2006, Бюл. № 13. – 5 с.

2. Система очистки зерноуборочного комбайна: патент на полезную модель 111964 Рос. Федерация: МПК А01F 12/44 / Сороченко С.Ф., Рязанов А.В.; заявитель

и патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – № 2011133975/13; заявл. 12.08.2011; опубл. 10.01.2012.

3. Сороченко С.Ф., Рязанов А.В., Дрюк В.А. Устройство для равномерного распределения зернового вороха на решете зерноуборочного комбайна // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 179-182.

4. Алферов С.А. Воздушно-решетные очистки зерноуборочных комбайнов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 160 с.

5. Дрюк В.А., Сороченко С.Ф. Математическое моделирование движения зернового вороха с динамическим разравниванием по решету системы очистки зерноуборочного комбайна // Вестник ДГТУ. – 2008. – Т. 8. – № 2. – С. 113-119.

6. Сороченко С.Ф. Исследование движения компонентов зернового вороха по решету зерноуборочного комбайна при уборке зерновых культур на склонах // Вестник Алтайского ГАУ. – 2016. – № 8(142). – С. 162-168.

7. Сороченко С.Ф., Рязанов А.В. Результаты лабораторных исследований адаптера системы очистки зерноуборочного комбайна для работы на склонах // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1/1. – С. 282-285.

8. Сороченко С.Ф., Рязанов А.В. Адаптер для работы на склонах // Сельский механизатор. – 2010. – № 5. – С. 6.

9. Сороченко С.Ф. Конкурентоспособность зерноуборочных комбайнов, предназначенных для работы на склонах // Вестник Алтайского ГАУ. – 2016. – № 9(143). – С. 158-164.

References

1. Reshetnyy stan ochkistki zernouborochnogo kombayna: pat. 2275787 Ros. Federatsiya: MKI A01F 12/44 / Sorochenko S.F., Ryazanov A.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. – № 2004125547/12; zayavl. 20.08.2004; opubl. 10.05.2006, Byul. № 13. – 5 s.

2. Sistema ochkistki zernouborochnogo kombayna: patent na poleznuyu model' 111964 Ros. Federatsiya: MPK A01F 12/44 / Sorochenko S.F., Ryazanov A.V.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova». – № 2011133975/13; zayavl. 12.08.2011; opubl. 10.01.2012.

3. Sorochenko S.F., Ryazanov A.V., Dryuk V.A. Ustroystvo dlya ravnomernogo raspredeleniya zernovogo vorokha na reshete zernouborochnogo kombayna // Polzunovskiy vestnik. – 2009. – № 1-2. – S. 179-182.

4. Alferov S.A. Vozdushno-reshetnye ochkistki zernouborochnykh kombaynov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 160 s.

5. Dryuk V.A., Sorochenko S.F. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya zernovogo vorokha s dinamicheskim razravnivaniem po reshetu sistemy ochkistki zernokombayna // Vestnik DGTU. – 2008. – T. 8. – № 2. – S. 113-119.

6. Sorochenko S.F. Issledovanie dvizheniya komponentov zernovogo vorokha po reshetu zernouborochnogo kombayna pri uborke zernovykh kul'tur na sklonakh // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 8 (142). – S. 162-168.

7. Sorochenko S.F., Ryazanov A.V. Rezul'taty laboratornykh issledovaniy adaptera sistemy ochkistki zernouborochnogo kombayna dlya raboty na sklonakh // Polzunovskiy vestnik. – 2012. – № 1/1. – S. 282-285.

8. Sorochenko S.F., Ryazanov A.V. Adapter dlya raboty na sklonakh // Sel'skiy mekhanizator. – 2010. – № 5. – С. 6.

9. Sorochenko S.F. Konkurentosposobnost' zernouborochnykh kombaynov, prednaznachennykh dlya raboty na sklonakh // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 9 (143). – S. 158-164.



УДК 631.22.013

Л.П. Карташов, Ю.А. Ушаков, Л.Г. Нигматов  
L.P. Kartashov, Yu.A. Ushakov, L.G. Nigmatov

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ КОЖНОГО ПОКРОВА КОРОВ

THEORETICAL ASPECT OF COW SKIN CLEANING PROCESS

**Ключевые слова:** кожный покров, очищающий элемент, силовое взаимодействие, болевой эффект, качество молока, щеточное устройство, отрыв волос, усилие удержания, условие сдвига, бактериальная обсемененность.

**Keywords:** skin, cleaning element, force interaction, pain effect, milk quality, brush device, hair break, holding force, shear condition, bacterial content.