



Научная статья
УДК 631.354.2
doi:10.35694/YARCX.2021.55.3.016

ПОВОРОТ ЗЕРНОВКИ В ПОТОКЕ АГЕНТА СУШКИ ВОКРУГ ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ 0 В ПОЛОЖЕНИЕ 1 ПРИ ЕЁ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ОТ ДЕКИ К РЕШЕТУ

В. А. Николаев

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры строительных
и дорожных машин
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический
университет», г. Ярославль

*Извлечение зёрен из
колосьев, извлечение
зёрен вытиранием,
дека, решето,
кинематические
параметры, положение
0, поворот зерновки,
агент сушки*

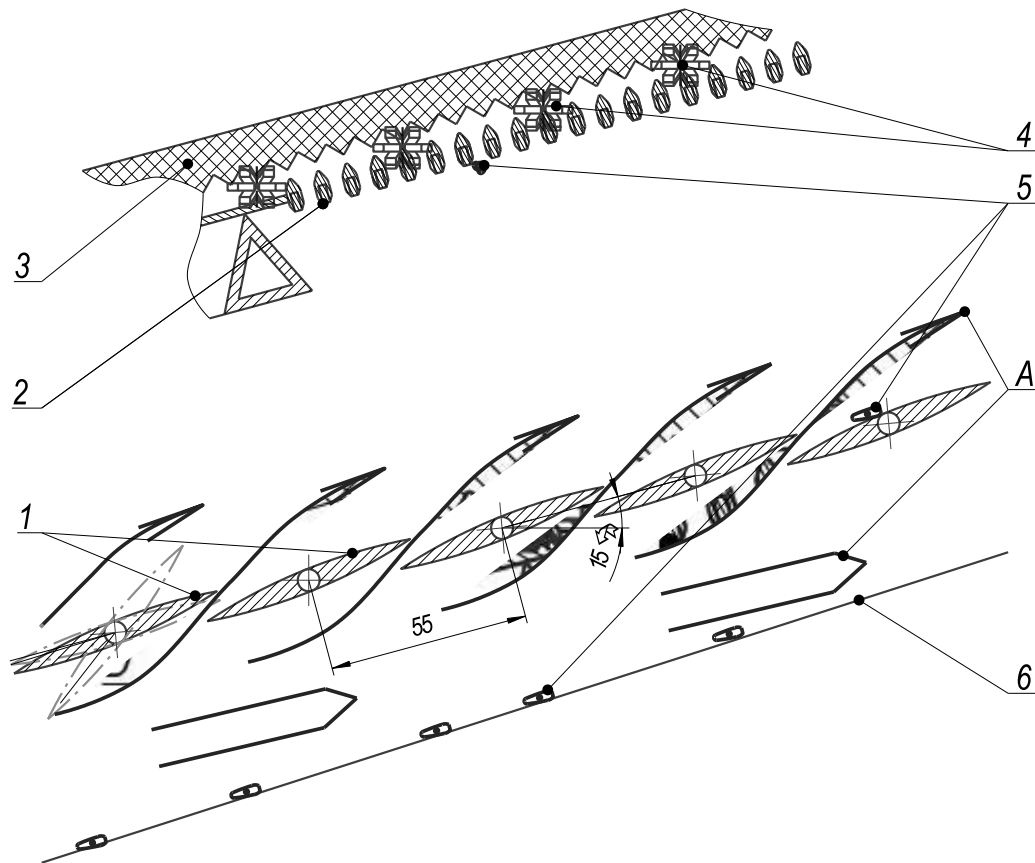
*Extraction of grains from
ears, extraction of grains
by grinding, deck, screen,
kinematic parameters,
position 0, grain rotation,
drying agent*

В зерноуборочных комбайнах, применяемых в настоящее время, очень велики затраты энергии на выделение зёрен из колосьев. В них выделение зёрен происходит, преимущественно, ударом бичей по колосу. Для уменьшения затрат энергии предлагается комбайн, который производил бы выделение зёрен из колосьев методом вытирания [1; 2; 3]. Верхняя часть растения с колосом попадает между лентой верхнего транспортёра и декой. При перемещении верхней части растения лентой верхнего транспортёра по деке происходит выделение зёрен из колосьев. Установлено, что затраты энергии на выделение зёрен из колосьев, когда дека неподвижна, меньше [4]. Сквозь отверстия деки проваливается зерновой ворох, содержащий зерновки, частицы соломы, полосу, семена сорных растений, пыль и другие компоненты. Первичную очистку зернового вороха от примесей с одновременным снятием с зерна поверхностной влаги целесообразно осуществлять потоком агента сушки [1; 2; 3]. Агент сушки формируется путём нагрева воздуха теплом двигателя комбайна в теплообменнике. Он поступает в пространство между декой и расположенным под ней решето (рис. 1). Рассмотрим начальный этап перемещения отдельной зерновки в потоке агента сушки, обозначив положение зерновки в начале её полёта положением 0.

На зерновку, падающую из отверстия деки, воздействует её сила G тяжести и сила воздействия потока агента сушки, сложив которые получим результирующую силу F_1 , воздействующую на зерновку в начале её полёта из положения 0 от деки в сторону жалюзи решета.

Примем допущения:

– поток агента сушки движется под углом 15° к горизонтали со скоростью v_{ac} между декой и решето;



1 – жалюзи решета; 2 – каркас деки; 3 – сепарирующая часть деки; 4 – плоская часть деки; 5 – лента верхнего транспортёра; 6 – ролик прижимной; 7 – колос; 8 – зерновка; 9 – жёлоб; А – направление потока агента сушки.

Рисунок 1 – Фрагмент комбайна ЗУКОН-2 [1] с устройством извлечения зёрен из колосьев и их очистки от примесей

– сложное движение зерновки заменим поступательным перемещением и вращательным движением вокруг центра масс;

– сложное вращательное движение разложим на вращение относительно продольной и поперечной оси зерновки, проходящие через её центр масс;

– за основное примем вращение зерновки относительно продольной оси, шаг вычислений соответствует повороту зерновки на 15° ;

– в пределах шага вычислений ускорение и угловое ускорение зерновки постоянные;

– коэффициент сопротивления k постоянный, не зависит от положения зерновки;

– начальная скорость зерновки, в положении 0, равна нулю.

На рисунке 2 показана схема сил, действующих на зерновку, падающую из отверстия деки.

Средняя масса зерновки тритикале $0,03$ г, или $m = 0,00003$ кг [3]. Сила тяжести зерновки $G = gm = 9,8 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \approx 3 \cdot 10^{-4}$ Н.

При отделении от деки на неё начинает действовать давление агента сушки p_v . Заменим рас-

пределённую нагрузку p_v , действующую на зерновку, сосредоточенной силой R . Воспользуемся формулой определения силы R воздействия потока воздуха на частицу [5]:

$$R = k\rho S v_{ac}^2 \quad (1)$$

где k – коэффициент сопротивления;

ρ – плотность агента сушки, $\text{кг}/\text{м}^3$;

S – площадь проекции частицы на плоскость, перпендикулярную направлению относительной скорости, м^2 ;

v_{ac} – скорость агента сушки, $\text{м}/\text{с}$.

Примем коэффициент сопротивления $k = 0,22$, плотность агента сушки $\rho = 1 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Допустим, что скорость v_{ac} агента сушки равна критической скорости зерновок тритикале $v_{kp} \approx 10 \text{ м}/\text{с}$. Площадь проекции зерновки на плоскость, перпендикулярную направлению относительной скорости, определяем приблизительно: $S_0 = bl$.

Из рисунка 3, когда зерновка тритикале находится в исходном положении, $b = 2,24 \text{ мм}$. Длина зерновки $l = 8 \text{ мм}$, тогда в исходном положении

Поворот зерновки в потоке агента сушки вокруг продольной оси из положения 0 в положение 1 при её перемещении от деки к решету

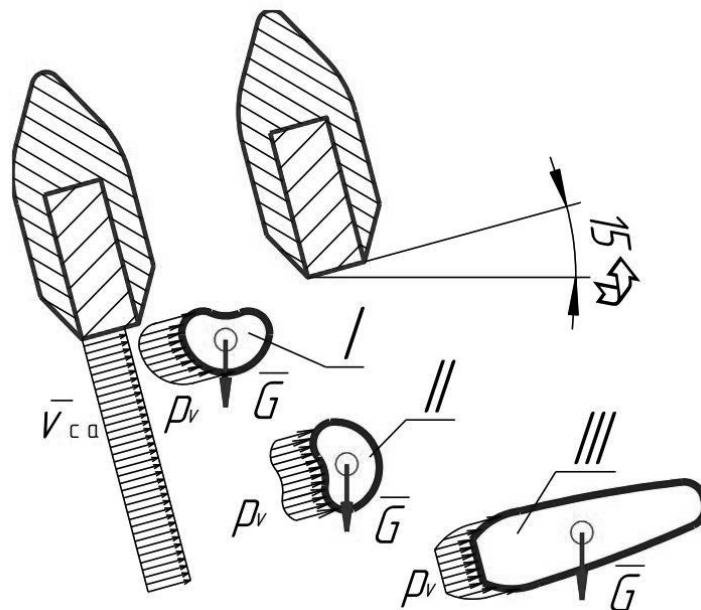


Рисунок 2 – Схема сил, воздействующих на зерновку, падающую из отверстия деки: I – в исходном положении; II – при повороте относительно продольной оси; III – при повороте относительно поперечной оси

площадь проекции зерновки на плоскость, перпендикулярную направлению относительной скорости, $S_0 = 17,92 \text{ мм}^2$.

Приложим к центру масс зерновки объёмную силу G тяжести. Сила воздействия на зерновку потока агента сушки из формулы (1):

$$R_0 = 0,22 \cdot 1,0 \cdot 17,92 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 = 3,94 \cdot 10^{-4} \text{ Н.}$$

Давление потока агента сушки на зерновку:

$$p_v = \frac{R_0}{S_0}; \quad (2)$$

$$p_v = 22 \text{ МПа.}$$

Построим эпюру давления агента сушки на зерновку, отложив от точек B и C касательные векторы p_v и перенеся в промежуток между точками D и H часть контура сечения зерновки между точками B и C , обращённую к потоку агента сушки. Нанесём точку L , в которой вектор давления агента сушки перпендикулярен поверхности зерновки, и проведём из неё вектор p_v . Так как зерновка имеет неправильную форму, давление агента сушки на верхнюю часть зерновки пропорционально площади $BDEL$ эпюры распределённой нагрузки p_v , $S_g = 19,5 \text{ мм}^2$. Давление агента сушки на нижнюю часть зерновки пропорционально площади $LEHC$ эпюры распределённой нагрузки p_v , $S_n = 29,1 \text{ мм}^2$.

Поверхностные сосредоточенные силы, воздействующие на верхнюю и нижнюю части зерновки, определим из пропорций:

$$R_g = \frac{R_0 \cdot 19,5}{19,5 + 29,1} \approx 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ Н;}$$

$$R_n = \frac{R_0 \cdot 29,1}{19,5 + 29,1} \approx 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ Н.}$$

Точно определить точки приложения сил, воздействующих на верхнюю и нижнюю части зерновки, очень сложно. Для упрощения расстояния между векторами DB и EL разделим пополам, проведём прямые, параллельные векторам p_v , и на пересечении этих прямых с контуром зерновки обозначим точку M центра давления агента сушки на верхнюю часть зерновки. Расстояние между векторами HC и EL также разделим пополам и определим точку N центра давления агента сушки на нижнюю часть зерновки. Приложим силы R_g и R_n к точкам M и N поверхности зерновки. Разложим эти силы на нормальные и касательные составляющие. Из построения:

- нормальные составляющие:

$$R'_g = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{ Н; } R'_n = 1,97 \cdot 10^{-4} \text{ Н;}$$

- касательные составляющие:

$$R''_g = 0,68 \cdot 10^{-4} \text{ Н; } R''_n = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ Н.}$$

В поступательное перемещение зерновки вносят вклад только нормальные составляющие. Построим многоугольник сил (см. рис. 3), сложив силу G тяжести зерновки и нормальные составляющие воздействия сушильного агента на верхнюю и нижнюю её часть. Из построения определим результирующую силу $F_1 = 3,25 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$.

После выпадения из деки траектория зерновки будет в направлении силы F_1 . Зерновка приобретёт ускорение:

$$a_1 = \frac{F_1}{m}; a_1 = 10,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Поворот зерновки в потоке агента сушки вокруг продольной оси из положения 0 в положение 1 при её перемещении от деки к решетке

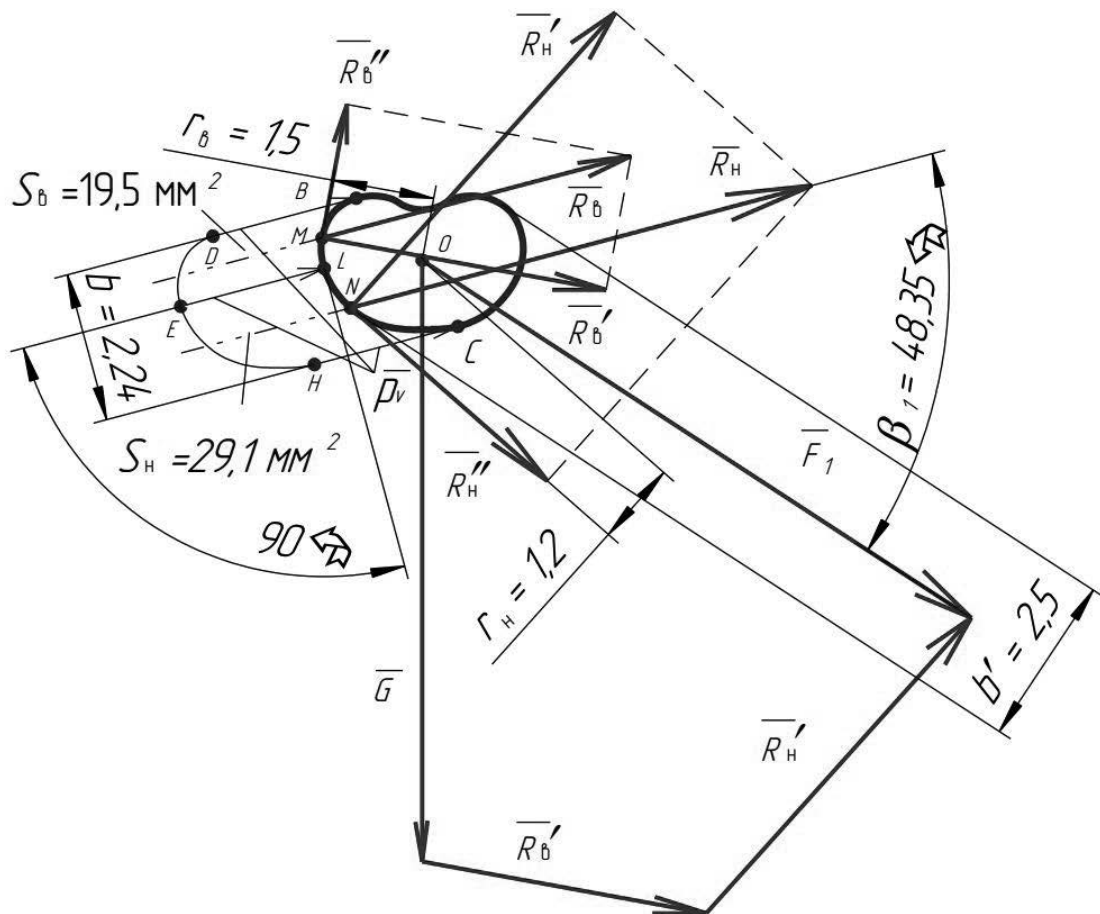


Рисунок 3 – Определение сил, действующих на зерновку в исходном (нулевом) положении при рассмотрении относительно продольной оси

Разность касательных сил создаст вращающий момент:

$$M_1 = R_b'' r_g - R_H'' r_h, \quad (3)$$

где $r_g = 1,5 \text{ мм}$ и $r_h = 1,2 \text{ мм}$ – плечи касательных сил из рисунка 3.

$$M_1 = 0,68 \cdot 10^{-4} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} = -0,54 \cdot 10^{-7} \text{ Нм.}$$

Знак минус означает направление действия вращательного момента на зерновку – против часовой стрелки. Приняв форму зерновки близкую к цилиндрической, определим её момент инерции относительно продольной оси:

$$I_3 = \frac{mr^2}{2}, \quad (4)$$

где r – радиус инерции зерновки относительно её продольной оси, примем $r = 1,2 \text{ мм}$.

$$I_3 = 2,16 \cdot 10^{-11} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Угловое ускорение зерновки:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{M_1}{I_3}; \\ \varepsilon_1 &\approx -2,5 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Обозначим следующее положение зерновки в потоке агента сушки положением 1. Чтобы оказаться в положении 1, зерновка должна повернуться относительно продольной оси на угол $\alpha_{0-1} = 15^\circ \approx -0,26 \text{ рад}$. В то же время угол

$$\alpha_{0-1} = \alpha_0 + \omega_0 \tau_{0-1} + \frac{\varepsilon_1 \tau_{0-1}^2}{2} \quad (6)$$

Начальный угол поворота $\alpha_0 = 0$. Так как начальная угловая скорость зерновки $\omega_0 = 0$, определим время поворота зерновки из положения 0 в положение 1:

$$\tau_{0-1} = \sqrt{\frac{2\alpha_{0-1}}{\varepsilon_1}}; \quad (7)$$

$$\tau_{0-1} \approx 0,0144 \text{ с.}$$

За это время зерновка приобретёт угловую скорость:

$$\omega_1 = \varepsilon_1 \tau_{0-1}; \quad (8)$$

$$\omega_1 = -36 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Расстояние, на которое переместится зерновка,

$$s_{0-1} = v_0 \tau_{0-1} + \frac{a_1 \tau_{0-1}^2}{2}. \quad (9)$$

Так как начальная скорость зерновки равна нулю, то

$$s_{0-1} = \frac{a_1 \tau_{1-2}^2}{2};$$

$$s_{0-1} \approx 0,0011 \text{ м} = 1,1 \text{ мм.}$$

Скорость зерновки в положении 1:

$$v_1 = a_1 \tau_{0-1}; \quad (10)$$

$$v_1 \approx 0,156 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Вывод

Для теоретического расчёта кинематических параметров сложное движение зерновки от деки до решета нужно заменить поступательным пе-

ремещением и вращательным движением вокруг центра масс, в частности, сложное вращательное движение – на вращение относительно продольной и поперечной осей зерновки, проходящих через её центр масс. Перемещение зерновки от деки до поверхности расположенного под ней решета следует разбить на этапы, приняв время между этапами соответствующим периоду поворота зерновки относительно продольной оси, например, на 15° [3]. Полученные кинематические параметры зерновки в потоке агента сушки, её траектория от деки до поверхности решета создают возможность проектирования рациональной конструкции комбайна.

Список источников

1. Патент № 2551106 Российская Федерация, МПК А01D 41/02 (2006.01), А01D 41/00 (2006.01). Зерноуборочный комбайн : № 2013148284 : заявл. 29.10.2013 : опубликовано 20.05.2015, Бюл. № 14 / Николаев В. А. ; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия». – 17 с. – Текст : непосредственный.
2. Николаев, В. А. Моделирование процесса извлечения зёрен из колосьев зерновых культур вытиранием / В. А. Николаев, В. В. Гумённый, В. В. Капралов, В. А. Генералов. – Текст : непосредственный // Вестник АПК Верхневолжья. – 2020. – № 2 (50). – С. 79–82. – DOI 10.35694/YARCX.2020.50.2.0014. – ISSN 1998-1635.
3. Николаев, В. А. Совершенствование зерноуборочного комбайна : конструктивная компоновка, теория и расчет : монография. Часть 1 / В. А. Николаев. – Ярославль : Изд-во ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2015. – 252 с. – ISBN 978-5-98914-144-9. – Текст : непосредственный.
4. Николаев, В. А. Определение кинематических параметров колоса при извлечении из него зёрен методом вытирания, когда дека неподвижна / В. А. Николаев, В. В. Гумённый, В. В. Капралов, В. А. Генералов. – Текст : непосредственный // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 1 (53). – С. 87–91. – DOI 10.35694/YARCX.2021.53.1.015. – ISSN 1998-1635.
5. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные машины : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / Н. И. Кленин, С. Н. Киселев, А. Г. Левшин. – Москва : КолосС, 2008. – 815 с. : ил. – ISBN 978-5-9532-0455-2. – Текст : непосредственный.

References

1. Patent № 2551106 Rossijskaja Federacija, MPK A01D 41/02 (2006.01), A01D 41/00 (2006.01). Zernouborochnyj kombajn : № 2013148284 : zajavl. 29.10.2013 : opublikovano 20.05.2015, Bjul. № 14 / Nikolaev V. A. ; patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija «Jaroslavskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija». – 17 s. – Tekst : neposredstvennyj.
2. Nikolaev, V. A. Modelirovanie processa izvlechenija zjoren iz kolos'ev zernovyh kul'tur vytiraniem / V. A. Nikolaev, V. V. Gumennyj, V. V. Kapralov, V. A. Generalov. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2020. – № 2 (50). – S. 79–82. – DOI 10.35694/YARCX.2020.50.2.0014. – ISSN 1998-1635.
3. Nikolaev, V. A. Sovershenstvovanie zernouborochnogo kombajna : konstruktivnaja komponovka, teorija i raschet : monografija. Chast' 1 / V. A. Nikolaev. – Jaroslavl' : Izd-vo FGBOU VPO «Jaroslavskaja GSHA», 2015. – 252 s. – ISBN 978-5-98914-144-9. – Tekst : neposredstvennyj.
4. Nikolaev, V. A. Opredelenie kinematičeskikh parametrov kolosa pri izvlečenii iz nego zjoren metodom vytiranija, kogda deka nepodvizhna / V. A. Nikolaev, V. V. Gumennyj, V. V. Kapralov, V. A. Generalov. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2021. – № 1 (53). – S. 87–91. – DOI 10.35694/YARCX.2021.53.1.015. – ISSN 1998-1635.
5. Klenin, N. I. Sel'skohozjajstvennye mashiny : uchebnik dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij, obučajushhihsja po napravleniju «Agroinzhenerija» / N. I. Klenin, S. N. Kiselev, A. G. Levshin. – Moskva : KolosS, 2008. – 815 s. : il. – ISBN 978-5-9532-0455-2. – Tekst : neposredstvennyj.