

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБМОЛОТА МЕТЕЛОЧНЫХ КУЛЬТУР ИНЕРЦИОННО-ОЧЕСНЫМ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Ряднов А.И., Федорова О.А.

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Волгоград, Россия, (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д.26), e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Теоретически определены условия вымолота зерна молотильно-сепарирующим устройством инерционно-очесного типа соргоуборочного комбайна новой конструкции. Для отделения зерна от плодоножки методом очеса следует обеспечить необходимую угловую скорость бitera молотильно-сепарирующего устройства, а для отрыва зерна от ее плодоножки – силу инерции зерна, которая должна быть больше силы связи зерна с плодоножкой. Требуемые для вымолота зерна угловая скорость бitera молотильно-сепарирующего устройства и сила инерции зерна рассчитываются по полученным в данной статье зависимостям, учитывающим геометрические и кинематические параметры молотильно-сепарирующего устройства (угловую скорость и радиус бitera, радиус лопасти), характеристики обмолачиваемой сельскохозяйственной культуры (массу и максимальный размер (длину или диаметр) зерна, длину верви метелки высшего порядка и силу связи зерна с плодоножкой), а также коэффициент трения зерна о лопасть бitera.

Ключевые слова: инерционно-очесный способ обмолота метелочных культур, бiter, молотильно-сепарирующее устройство, зерно, плодоножка, сила инерции

A THEORETICAL MODEL OF THRESHING METALOONA CULTURES INERTIAL ACESSEM THRESHING-SEPARATING DEVICE

Ryadnov A.I., Fedorova O.A.

Volgograd state agrarian University, Ministry of agriculture of the Russian Federation, Volgograd, Russia, (400002, Volgograd, University avenue, 26), e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Theoretically the conditions violate grain threshing-separating device inertial okisnogo type corroborates combine new design. To separate the grain from the stalk method combing should provide the necessary angular velocity of the beater threshing-separating device, and for the separation of grain from its stalk – force of inertia of grain, which must be greater than the coupling strength of the grain from the stalk. Required for Violeta grain angular velocity of the beater threshing-separating device and the inertial force of the grain is calculated by obtained in this article to dependencies that take into account geometric and kinematic para-meters threshing-separating device angular velocity and the radius of the beater, the radius of the blade), characteristics obmolachivanie crops (mass and maximum dimension (length or diameter) of the grain, the length of Verviers panicles of the highest order and relationship strength of grain from the stalk), and the coefficient of friction of grain on the blade of the beater.

Keywords: inertial oceny method of threshing metaloona cultures, beater, threshing-separating device, the seed, the stalk, the inertial force

Для разработанной конструкции соргоуборочного комбайна, оборудованного молотильно-сепарирующим устройством инерционно-очесного типа, до настоящего времени не дано теоретическое обоснование условий очеса и инерционного отрыва зерна метелочных культур от плодоножки. Поэтому исследование данного вопроса – актуальная задача.

Цель исследования

Получить математические зависимости, определяющие условия очеса и отрыва зерна от плодоножки молотильно-сепарирующим устройством инерционно-очесного типа.

Метод исследования

Использован аналитический метод.

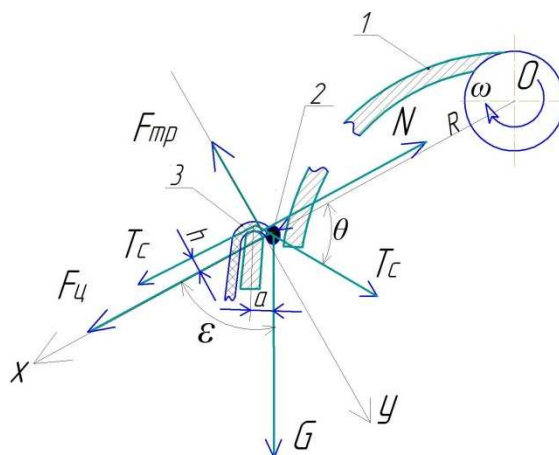
Результаты исследования

Инерционно-очесный способ обмолота метелочных культур назван нами так потому, что при этом способе отделение некоторых зерен от их плодоножек происходит за счет сил инерции, а других – очесом. Данный способ обмолота использован в нескольких модификациях разработанных нами комбайнов для уборки на корню сельскохозяйственных культур [3, 4, 5]. Основным элементом молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) во всех модификациях комбайна является «щелевой бите с транспортирующей пластиной» [2].

Рассмотрим теоретические предпосылки обмолота метелочных культур, например веничного сорго, МСУ инерционно-очесного типа с учетом полученных результатов в работах [1, 6].

Исследования показали, что отрыв зерна от плодоножки при его очесе происходит за счет разрыва плодоножки и ее излома.

Рассмотрим схему сил, действующих на плодоножку в момент ее разрыва и излома.



1 – лопасть битера, 2 – зерно, 3 — плодоножка

Рис. 1. Схема сил, действующих на плодоножку

На зерно действуют силы:

1. $G = m_z g$ – сила тяжести зерна, (1)

где m_z – масса зерна, g — ускорение свободного падения.

2. $F_{ц} = m_z \omega^2 R$ – центробежная сила, (2)

где ω – угловая скорость битера, R – радиус кривизны лопасти битера.

3. $F_{тр} = fN$ – сила трения, (3)

где f – коэффициент трения плодоножки о лопасть битера, N — реакция.

4. T_c – сила натяжения плодоножки.

Определим силу натяжения плодоножки при растяжении и изгибе. Для этого

спроецируем все силы, действующие на плодоножку, на ось x (рис. 1):

$$F_y + T_c(1 - \cos\theta) + G\cos\varepsilon - N = 0, \quad (4)$$

где ε – угол между осью x и вертикалью, θ – угол между осью x и направлением силы T_c .

Из (4) с учетом выражений (1) – (3) после преобразований получим:

$$T_c = \frac{N - F_y - G\cos\varepsilon}{1 - \cos\theta}. \quad (5)$$

Спроецируем все силы, действующие на плодоножку, на ось y с учетом (3):

$$G\sin\varepsilon + T_c\sin\theta - fN = 0 \quad (6)$$

Выразив из (6) N и подставив в (5), получим:

Подставив выражение (6) в (5) и учитывая зависимости (1) и (2), получим:

$$T_c = \frac{m_2[g(\sin\varepsilon - f\cos\varepsilon) - f\omega^2 R]}{f(1 - \cos\theta) - \sin\theta}. \quad (7)$$

Под воздействием силы T_c плодоножка растягивается и прижимается к лопасти. При этом напряжение на разрыв, возникающее в плодоножке, равно:

$$\sigma_p = T_c / S,$$

где $S = \pi d_n^2 / 4$, здесь d_n – диаметр плодоножки в месте контакта ее с лопастью битера.

При $\sigma_p \geq [\sigma_p]$ происходит разрыв плодоножки от растяжения, т.е. для разрыва плодоножки должно выполняться условие:

$$T_c \geq \pi d_n^2 [\sigma_p] / 4. \quad (8)$$

При касании плодоножки части битера, которая отделяется щелью от лопасти, происходит изгиб плодоножки.

Изгибающий момент равен:

$$M_{из} = G \cdot a + F_y \cdot h = m_2(ga + \omega^2 Rh), \quad (9)$$

где a и h – соответственно плечи внешних сил G и F_y .

Напряжение изгиба равно:

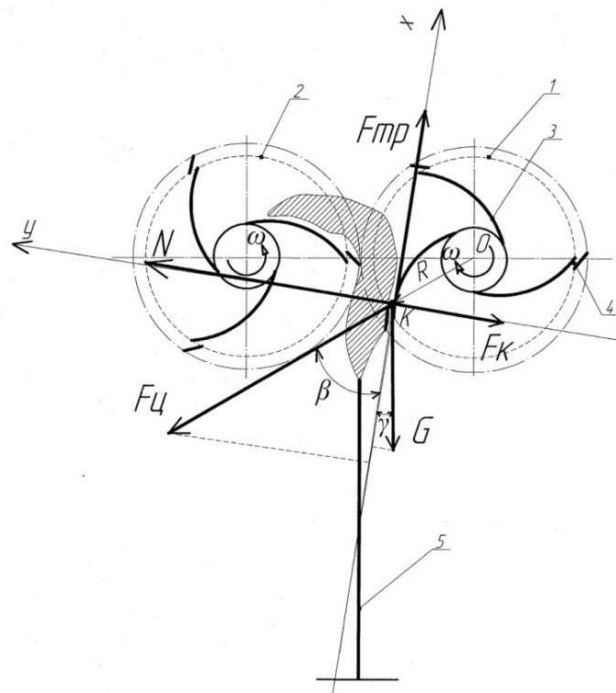
$$\sigma_{из} = M_{из} / W_{из}, \quad (10)$$

где $W_{из} = \pi d_n^3 / 32$ – момент сопротивления.

Излом плодоножки от изгиба произойдет, если $\sigma_{из} \geq [\sigma_{из}]$.

После отрыва зерна от плодоножки необходимо, чтобы оно попало в щель битера.

Чтобы определить условие попадания зерна в щель битера, рассмотрим схему сил, действующих на зерно в момент попадания его в щель битера (рис. 2).



1 – битер правый, 2 – битер левый, 3 – лопасть битера, 4 – щель,
5 – обмолачиваемое растение

Рис. 2. Схема сил, действующих на зерно в момент попадания его в щель битера

Спроецируем все силы, действующие на зерно, на ось x :

$$F_{mp} - G \cos \gamma - F_{ц} \cos \beta = 0. \quad (11)$$

Из равенства (11) получим условие попадания зерна в щель:

$$G \cos \gamma + F_{ц} \cos \beta \geq F_{mp}. \quad (12)$$

Спроецируем все силы, действующие на зерно, на ось y :

$$N + F_{ц} \sin \beta - F_{к} - G \sin \gamma + F_{цл} = 0, \quad (13)$$

где $F_{к} = 2m v_0 \omega$ – сила инерции Кориолиса (здесь v_0 – относительная скорость движения зерна по лопасти), $F_{цл} = m \omega_1^2 R_l$ – центробежная сила, вызванная относительным движением зерна по криволинейной лопасти (здесь ω_1 – угловая скорость движения зерна по криволинейной лопасти, R_l – радиус лопасти).

Выразив N из (13) и подставив полученное выражение в (12) с учетом зависимостей (1), (2) и (3), а также $F_{к}$ и $F_{цл}$, получим:

$$\omega^2 (R \cos \beta - 2f R_{л} + f R \sin \beta + \frac{R^2}{R_{л}}) \geq g (f \sin \gamma - \cos \gamma). \quad (14)$$

Из неравенства (14) получим зависимость для расчета минимального значения угловой скорости битера ω , при которой зерно будет поступать к щели битера:

$$\omega_{min} = \sqrt{\frac{g (f \sin \gamma - \cos \gamma)}{R \cos \beta + f \left(-2R_{л} + R \sin \beta + \frac{R^2}{R_{л}} \right)}}. \quad (15)$$

Таким образом, для отделения зерен от их плодоножек методом очеса необходимо обеспечить угловую скорость битера ω , рассчитанную по зависимости (15) при заданных конструктивных параметрах.

Как отмечалось выше, при инерционно-очесном способе обмолота метелочных и зерновых колосовых культур отделение зерен от их плодоножек происходит не только очесом, но и за счет сил инерции. Рассмотрим этот процесс.

В соответствии с основным уравнением удара одного тела о другое импульс силы равен приращению количества движения:

$$P\Delta t = \Delta m_z U, \quad (16)$$

где P – сила, действующее на необмолоченное зерно массой m_z в момент удара по нему лопастью битера при равномерном вращении вокруг оси O (рис. 2) с угловой скоростью ω , Δt — продолжительность удара лопасти битера о зерно, U – линейная скорость зерна в момент его отрыва вместе с плодоножкой от лопасти.

При неупругом ударе лопасти о зерно путь, пройденный зерном по лопасти за время удара, близок к диаметру (или длине) зерна d .

Тогда продолжительность удара лопасти битера о зерно равна:

$$\Delta t = d/V = d/\omega R. \quad (17)$$

Приращение количества движения:

$$\Delta m_z U = m_z (U_2 - U_1), \quad (18)$$

где U_1 – скорость зерна до удара ($U_1 = 0$), U_2 – скорость зерна после удара.

Тогда:

$$\Delta m_z U = m_z U_2. \quad (19)$$

Перепишем уравнение (16) с учетом (18) и (19):

$$\frac{Pd}{\omega R} = m_z U_2$$

откуда:

$$U_2 = \frac{Pd}{m_z \omega R}. \quad (20)$$

Направление скорости U_2 в момент отрыва зерна от лопасти совпадает с касательной к дуге K_1K_2 (см. рис. 3) в точке K_1 , т.е. будет совпадать с направлением оси y .

Центробежная сила, действующее на зерно в момент его отрыва от лопасти, равна:

$$F_{ц} = \frac{m_z U_2^2}{L_B}, \quad (21)$$

где L_B — длина ветви метелки высшего порядка.

Отрыв зерна от плодоножки произойдет при условии: $F_u \geq F_{cb}$ (F_{cb} – сила связи зерна с плодоножкой), которое с учетом (21) примет вид:

$$\frac{m_z U_2^2}{L_z} \geq F_{cb}. \quad (22)$$

Чтобы определить U_2 , рассмотрим схему сил, действующих на зерно в момент удара по нему лопастью битера (рис. 3).

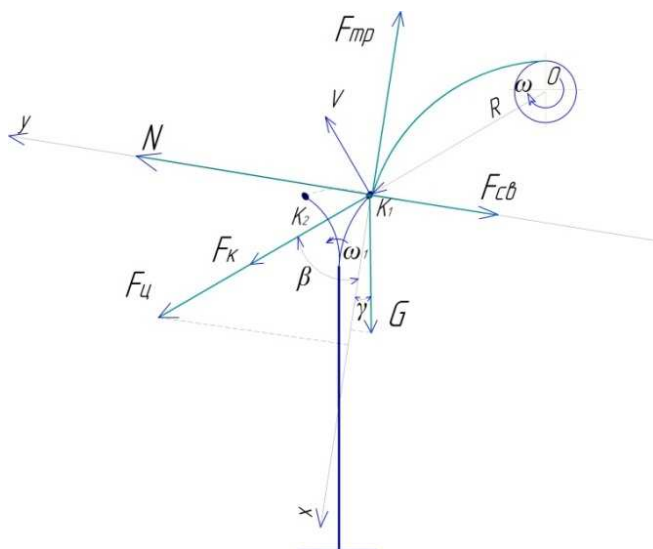


Рис. 3. Схема сил, действующих на зерно в момент удара по нему лопастью битера

На зерно в момент удара по нему лопастью битера будут действовать силы: сила тяжести G (см. рис. 3), нормальная сила N , сила трения F_{mp} , центробежная сила F_u , сила инерции Кориолиса F_k и сила связи зерна с плодоножкой F_{cb} .

После удара зерно перемещается из точки K_1 в точку K_2 по дуге окружности с центром в точке соединения веточки метелки со стеблем.

Спроецируем все силы, действующие на зерно, на ось y :

$$N + F_u \sin \beta + F_k \sin \beta - G \sin \gamma - F_{cb} = 0,$$

откуда получим, что $P = N + F_u \sin \beta + F_k \sin \beta - G \sin \gamma$. (23)

Спроецируем все силы, действующие на зерно, на ось x :

$$F_u \cos \beta + F_k \cos \beta + G \cos \gamma - F_{mp} = 0$$

Учитывая выражение (3), получим:

$$N = (F_u \cos \beta + F_k \cos \beta + G \cos \gamma) / f. \quad (24)$$

Подставив полученное выражение в (23), получим:

$$P = (F_u \cos \beta + F_k \cos \beta + G \cos \gamma) / f + F_u \sin \beta + F_k \sin \beta - G \sin \gamma. \quad (25)$$

Тогда зависимость (20) с учетом (25) примет вид:

$$U_2 = \frac{\left[\frac{(F_{ц} + F_{к})\cos\beta + G\cos\gamma}{f} + (F_{ц} + F_{к})\sin\beta - G\sin\gamma \right] d}{m_z \omega R}$$

Подставляя данное выражение в (22), получим:

$$\frac{\left[\frac{(F_{ц} + F_{к})\cos\beta + G\cos\gamma}{f} + (F_{ц} + F_{к})\sin\beta - G\sin\gamma \right]^2 d^2}{m_z \omega^2 R^2 L_B} \geq F_{св}. \quad (26)$$

Таким образом, определено условие отрыва зерна от плодоножки за счет сил инерции.

Вывод

Теоретически определены условия вымолота зерна молотильно-сепарирующим устройством инерционно-очесного типа соргоуборочного комбайна новой конструкции. Для отделения зерна от плодоножки методом очеса следует обеспечить необходимую угловую скорость битера молотильно-сепарирующего устройства, а для отрыва зерна от плодоножки за счет сил инерции – силу инерции зерна, которая должна быть больше силы связи зерна с плодоножкой. Требуемые для вымолота зерна угловая скорость битера молотильно-сепарирующего устройства и сила инерции зерна рассчитываются по полученным зависимостям при заданных геометрических и кинематических параметрах молотильно-сепарирующего устройства и характеристиках обмолачиваемой сельскохозяйственной культуры.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ по проекту «Разработка и исследование инерционно-очесного способа обмола зерна колосовых и метелочных культур на корню и технологии для его реализации», договор № НК 13-08-01085\15.

Список литературы

1. Иленева С.В. Совершенствование конструкции и обоснование параметров обмолачивающего устройства для мелкосеменных культур: Автореф. дис. канд. техн. наук – Волгоград, 2000. – 23 с.
2. Ряднов А.И., Скворцов А.К., Шарипов Р.В., Иленева С.В. Щелевой битер с транспортирующей пластиной. Патент РФ №2199203, А01D 41/08; заявитель и патентообладатель — ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА – № 2000128584; заявл. 15.11.2000; опубл. 27.02.03, Бюл. № 6.
3. Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В. Комбайн для уборки сорго. Патент РФ №2498553, А01D 37/00; патентообладатели: Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В. — №2012103615/13; заявл. 10.06.12; опубл. 20.11.13, Бюл. № 32.

4. Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В. Комбайн для уборки технических культур. Патент РФ № 2421974, А01D 41/08; заявитель и патентообладатель — ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА – № 2010100341/21; заявл. 11.01.10; опубл. 27.06.11, Бюл. № 18.
5. Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В. Прицепной соргоуборочный комбайн. Патент РФ № 2496296, А01D 41/04, А01D 41/12; патентообладатели: Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Семченко А.В. — № 2012109041/13; заявл. 11.03.12; опубл. 27.10.13, Бюл. № 30.
6. Скворцов А.К. Разработка ресурсосберегающих технологий и средств механизации уборки зерновых культур на основе использования инерционно-очесных молотильных аппаратов: Автореф. дис. доктора техн. наук – Волгоград, 2005. — 40 с.

Рецензенты:

Николаев А.П., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Лесное и водное хозяйство» ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград;
Гапич Д.С., д.т.н., заведующий кафедрой «Ремонт машин и ТKM» ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград.