

Извлечение зёрен из колосьев, извлечение зёрен вытиранием, верхняя часть растения, неподвижная дека, воздействие на колос, усилие воздействия деки, давление рабочей жидкости, затраты энергии

Extraction of grains from the ears, extraction of grains by grinding, upper part of the plant, fixed deck, impact on the ears, greater impact of the deck, working fluid pressure, energy consumption DOI 10.35694/YARCX.2021.54.2.013

ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА РАВНОМЕРНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ВЕРХНИХ ЧАСТЕЙ РАСТЕНИЙ МЕЖДУ ЛЕНТОЙ ВЕРХНЕГО ТРАНСПОРТЁРА И ДЕКОЙ

В. А. Николаев (фото)

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры строительных и дорожных машин

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль

В. В. Гумённый

доцент кафедры тактики и общевоенных дисциплин В. А. Генералов

преподаватель кафедры тактики и общевоенных дисциплин ФГБУ МО «Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны», г. Ярославль

Комбайн, который производил бы выделение зёрен из колосьев методом вытирания [1; 2; 3], имеет два варианта исполнения устройства для извлечения зёрен из колосьев: с декой, совершающей колебания, и с неподвижной декой. Установлено, что если дека совершает колебания, выделение зёрен из колосьев происходит более интенсивно, но велики затраты энергии на выделение зёрен [2]. Поэтому рассмотрим выделение зёрен из колосьев при неподвижной деке [4]. Перемещение верхних частей растений между лентой верхнего транспортёра и декой включает два этапа. На первом этапе происходит ускорение колосьев, на втором — их равномерное движение. Определим затраты энергии на равномерное перемещение верхних частей растений в промежутке между лентой верхнего транспортёра и декой.

На рисунке 1_a показана схема воздействия на колос ленты верхнего транспортёра и деки в начале её равномерного перемещения на прямолинейном участке деки. Сила $P_{_{\rm H}}$ воздействия деки на колос приложена между зерновок. Её уравновешивает реакция $R_{_{\rm B\,T}}$ ленты верхнего транспортёра. Качение колоса по деке обеспечивает вращающий момент, создаваемый силой $F_{_{\rm B\,T}}$. Ему противодействует момент $M_{_{\rm C}}$ сопротивления качению колоса по деке: $F_{_{\rm B\,T}}r_{\rm cp}>M_{_{\rm C}}$. Воздействующие на колос силы $P_{_{\rm H}}$ и $R_{_{\rm B\,T}}$ уравновешены реакциями $R_{_{\rm K}}$ колоса (рис. 16), которые разложим на нормальные силы, соответственно, $N_{_{\rm K-B\,T}}$ и $N_{_{\rm K-D\,T}}$. Так как угол при вершине выступа ленты и короба деки 60° , то из построения

$$R_{K} = R_{BT} = P_{A} = N_{K-BT} = N_{K-A}.$$
 (1)

Силу $F_{{}_{\mathrm{B}\,\mathrm{T}}}$ частично уравновешивает также сумма нормальной реакции N_F колоса и $F_{{}^{\mathrm{T}\,\mathrm{K-B}\,\mathrm{T}}}$ трения ленты верхнего транспортёра о колос. Кроме того, при вращении появляются центробежные силы F_j инерции зерновок. Причём, эти силы, воздействующие на зерновки

1, 3, 4, 6 (рис. 1в) можно не учитывать, поскольку они создают напряжения в связях зерновок с основанием колоса, но перемещение зерновок от их воздействия ограничено выступами ленты верхнего транспортёра и декой. Силы инерции, воздействующие на зерновки 2 и 5, следует учитывать, так как их перемещение от воздействия этих сил ничем не ограничено.

Определим эти силы:

$$F_j = m\omega_{\rm B\,q\,p}^2 r_{j}$$

где масса зерновки $m=0.00003~{\rm K}\Gamma;$ угловая скорость верхней части растения $\omega_{\rm B\, u\, p}=600~{\rm pag/c}$ [4]; радиус приложения центробежных сил инерции примем $r_i=4~{\rm MM}=0.004~{\rm M}.$

$$F_i = 0.0432 \text{ H}.$$

Эпюры напряжений $\sigma_{\rm nr}$ возникающих от силы F_j , не показаны на рисунке $1_{\mathcal{B}}$, так как они расположены перпендикулярно плоскости рисунка. Длина зерновки $l=8_{\rm MM}$, сила F_j приложена к её центру масс, а средний угол наклона зерновки тритикале 20° к оси колоса [4]. Полагаем, что связь зерновки

с основанием колоса сосредоточена в одной точке. На рисунке 2 показана эпюра изгибающего момента, создаваемого силой F_i :

$$M_j = F_j \cos 20^{\circ} \frac{l}{-}; M_j \approx 0.00017 \text{ Hm}.$$

Сила, растягивающая связь зерновки с основанием колоса,

$$F_i \sin 20^\circ = 0.0133 \text{ H}.$$

Усилие, необходимое для извлечения зерновки из колоса, варьируется в широких пределах. Однако оно существенно больше полученной центробежной силы F_j инерции, а изгибающий момент, необходимый для извлечения зерновки из колоса, существенно больше изгибающего момента, создаваемого центробежной силой инерции зерновки. Одних центробежных сил инерции, воздействующих на зерновки 2 и 5, недостаточно для извлечения зерновки из колоса.

Эпюры напряжений (рис. 1в), возникающих в колосе от воздействия на него ленты верхнего транспортёра и деки, весьма условны. Во-первых, все напряжения меняются как по величине, так и по направлению в период взаимодействия каждой

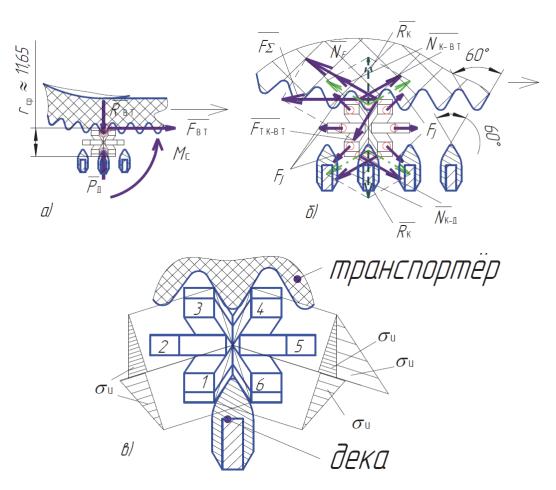


Рисунок 1 — Схема: a) сил воздействия на колос ленты верхнего транспортёра и деки; b0 сил воздействия колоса; b3 напряжений, возникающих в колосе

зерновки в колосе с лентой верхнего транспортёра и декой. Во-вторых, в ходе вращения колоса с лентой верхнего транспортёра и декой взаимодействуют все зерновки, находящиеся в нём. Из рисунка 1в видно, что наибольшие напряжения возникают в связи зерновки 4 с основанием колоса.

Запишем:

$$\sigma_{{}_{\mathsf{I}\!\!I}N_{\mathsf{K}-\mathsf{B}\mathsf{T}}}+\sigma_{{}_{\mathsf{I}\!\!I}N_{F}}=\sigma_{\mathsf{K}\mathsf{p}}.$$

Критическое напряжение $\sigma_{\kappa p}$ следует определять экспериментальным путём.

Предположим, что все зерновки покидают колос за один его оборот, оказавшись в положении зерновки 4. Напряжения, возникающие в связи зерновки 4 с основанием колоса, достаточны для извлечения зерновки из колоса. Примем изгибающий момент, необходимый для извлечения зерновки из колоса, $M_{\rm KP}=0.004~{\rm Hm}$. Следует выявить силу $P_{\rm L}$ поджатия деки, чтобы извлечь зерновку из колоса. Тогда критическое изгибающее усилие, приложенное к вершине зерновки,

$$F_{\rm kp} = \frac{M_{\rm kp}}{I} = 0.5 \, \text{H}.$$

Но из рисунка 16:

$$F_{\rm KP} = N_{\rm K-BT} + N_{F}. \tag{2}$$

Так как
$$P_{\!\scriptscriptstyle
m I}=N_{{}_{
m K-B\,T}}$$
 (2), то $P_{\!\scriptscriptstyle
m I}=F_{\!\scriptscriptstyle
m Kp}-N_{F^*}$. (3)

Предположим, что суммарная сила F_{Σ} (см. рис. 16), сумма нормальной реакции N_F колоса и $F_{{}^{\rm T}}{}_{{}^{\rm K}-{}^{\rm B}}{}_{{}^{\rm T}}$ трения ленты верхнего транспортёра о колос, направлена горизонтально. Сила $F_{{}^{\rm T}}{}_{{}^{\rm K}-{}^{\rm B}}{}_{{}^{\rm T}}$ трения ленты верхнего транспортёра о колос варьируется в широких пределах. Однако она достигает максимума, когда коэффициент трения соответствует коэффициенту трения покоя:

$$f_{K-BT} = \tan 30^{\circ} = \frac{F_{TK-BT}}{N_E}$$

Отсюда:

$$N_F = \frac{F_{\text{T K-B T}}}{\tan 30^{\circ}}; \ N_F \approx 1.96 F_{\text{T K-B T.}}$$
 (4)

Чтобы в этот момент уменьшить затраты энергии на перемещение ленты верхнего транспортёра, сила трения ленты верхнего транспортёра о колос должна быть равна силе инерции зерновки:

$$F_{{\scriptscriptstyle \mathrm{T}}\,{\scriptscriptstyle \mathrm{K-B}}\,{\scriptscriptstyle \mathrm{T}}} = F_{j}$$
.

Поэтому максимальная сила воздействия деки на зерновки колоса:

$$P_{\pi} = F_{\text{kp}} - 1,96F_{j}.$$
 (5)
 $P_{\pi} = 0.5 - 1,96 \cdot 0.0432 \approx 0.415 \text{ H}.$

В колосе тритикале до 90 зерновок, то есть до 15 зерновок в одном ряду. Поэтому общее максимальное усилие воздействия деки на один колос:

$$P_{\pi K} = 6,225 \text{ H}.$$

На деке расположено одновременно 2400 верхних частей растений. Поэтому общее максимальное усилие воздействия деки на все колосья:

$$P_{\text{m}\Sigma} = 6,225 \cdot 2400 = 14940 \text{ H}.$$

Исходя из этого усилия, можно произвести расчёт на прочность элементов деки. С каждой стороны комбайна расположено 5 гидроцилиндров поддержки жёлоба [1]. Тогда каждый гидроцилиндр поддержки жёлоба должен создавать максимальное усилие $P_{\rm д\,\Gamma\,II}\approx 1500~{\rm H}.$ Из конструктивной компоновки примем наружный диаметр гидроцилиндра поддержки жёлоба 25 мм, а внутренний — 20 мм. Максимальное давление в гидроцилиндре поддержки жёлоба:

$$p_{\Gamma II}^{max} = \frac{4P_{\Pi \Gamma II}}{\pi d^2};$$

$$p_{\Gamma II}^{max} \approx 4,8 \text{ МПа.}$$

Давление рабочей жидкости в гидроцилиндрах поддержки жёлоба обеспечивает гидропневмоаккумулятор. Механизатор регулирует давление в гидропневмоаккумуляторе в зависимости от состояния убираемой хлебной массы. При таком

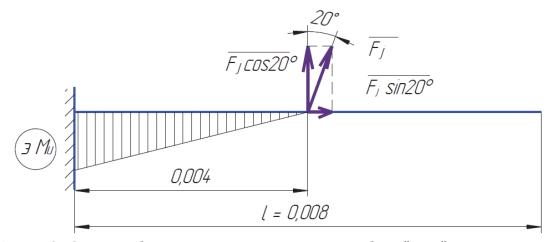


Рисунок 2 – Эпюра изгибающего момента, создаваемого центробежной силой инерции зерновки

давлении рабочей жидкости в гидроцилиндрах поддержки жёлоба зерновки должны покинуть колос после его одного оборота. Так как при перемещении по деке колос совершает 71 оборот, то нет необходимости обеспечивать такое высокое давление рабочей жидкости в гидроцилиндрах поддержки жёлоба. Оно должно быть минимально необходимым для полного извлечения зерновок из колосьев. На выходе с деки зёрен в колосьях не должно присутствовать.

Из зависимости (4) $N_F=0.0847~{
m H}.$ Тогда суммарная сила

$$F_{\Sigma} = \sqrt{{N_F}^2 + {F_{{\scriptscriptstyle {\rm T}}}}_{{\scriptscriptstyle {\rm K-B}}}^2}; F_{\Sigma} \approx 0.095 \; {\rm H}.$$

С учётом трения ленты верхнего транспортёра и деки о колос примем $F_{\rm B\,T}=0.1~{\rm H}$ (см. рис. 1a). При расчётах перемещения по деке верхних частей других культур силу $F_{\rm B\,T}$ следует уточнять экспериментальным путём. Так как в одном ряду колоса тритикале до 15 зерновок, то общее усилие воздействия ленты верхнего транспортёра на колос $F_{\rm B\,T\,K}=1.5~{\rm H}.$

На деке расположено одновременно 2400 верхних частей растений. Поэтому общее максимальное усилие воздействия ленты верхнего транспортёра на все колосья $F_{\rm B\ T\ \Sigma}=3600\ {
m H}.$

Так как радиус ведущего вала верхнего транспортёра $r_{\rm Tp}=0.05$, вращающий момент, необходимый для перемещения верхних частей растений по деке лентой верхнего транспортёра с целью извлечения зерновок из колосьев, $M_{\rm B\,T}=F_{\rm B\,T\,\Sigma}r_{\rm Tp}$; $M_{\rm B\,T}=180~{\rm Hm}$.

Общий вращающий момент, необходимый для ускорения верхних частей растений и для перемещения верхних частей растений по деке лентой верхнего транспортёра,

$$M_{\rm B\,T\,\Sigma} = M_{\rm \Sigma} + M_{\rm B\,T}; \tag{6}$$

 $M_{\rm B\ T\ \Sigma} = 5.6 + 180 \approx 186 \, {\rm Hm}.$

Энергия, необходимая для перемещения верхних частей растений по деке лентой верхнего транспортёра,

$$E_{\rm\scriptscriptstyle B\,T} = F_{\rm\scriptscriptstyle B\,T\,\Sigma} l_{\rm\scriptscriptstyle J} \,, \tag{7}$$

где длина деки из конструктивной компоновки $l_{\pi} = 3.5 \; \mathrm{M}.$

$$E_{\text{в.т}} = 3600 \cdot 3.5 = 12600 \, \text{Дж} = 12.6 \, \text{кДж}.$$

Общая энергия, необходимая для ускорения верхних частей растений и для перемещения верхних частей растений по деке лентой верхнего транспортёра,

$$E_{\rm B\ T\ \Sigma} = E_{\rm \Sigma} + E_{\rm B\ T}; \tag{8}$$

$$E_{\rm B,T,\Sigma} = 11,2 + 12600 \approx 12612$$
 Дж.

Отсюда видно, что энергия, необходимая для ускорения верхних частей растений, незначительна в сравнении с энергией, необходимой для перемещения верхних частей растений по прямолинейному участку деки лентой верхнего транспортёра.

Так как перемещение верхних частей растений по деке лентой верхнего транспортёра происходит за одну секунду [4], то соответственно мощность на привод ленты верхнего транспортёра, необходимая для перемещения верхних частей растений по прямолинейному участку деки лентой верхнего транспортёра, $N_{\rm B\,T}\approx 12600~{\rm BT}=12,6~{\rm kBT}.$

Общая мощность на привод ленты верхнего транспортёра, необходимая для ускорения верхних частей растений N_{Σ} и для перемещения верхних частей растений по деке лентой верхнего транспортёра,

$$N_{\rm B\,T\,\Sigma} = N_{\rm \Sigma} + N_{\rm B\,T};\tag{9}$$

$$N_{\text{B.T.}\Sigma} = 400 + 12600 = 13000 \text{ BT} = 13 \text{ kBt}.$$

Мощность на привод деки с жёлобом, когда они подвижны, и ленты верхнего транспортёра $N_{\rm д+ж}\approx 24.4~{\rm kBr}$. При неподвижной деке не расходуется энергия на её привод, а мощность на привод ленты верхнего транспортёра $N_{\rm B\,T\,\Sigma}=13~{\rm kBr}$. Чтобы сопоставить оба варианта, сюда следует добавить энергию на привод решета, расположенного в жёлобе.

Вывод

Затраты энергии на извлечение зерновок из колосьев при неподвижной деке меньше аналогичных затрат энергии, когда дека подвижна. При любом исполнении деки затраты энергии на извлечение зерновок из колосьев вытиранием существенно меньше затрат энергии на вымолот зерна в существующих комбайнах [5].

Литература

- 1. Патент № 2551106 Российская Федерация, МПК А01D 41/02 (2006.01), А01D 41/00 (2006.01). Зерно-уборочный 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). C. 87–91. DOI 10.35694/ YARCX.2021.53.1.015. <math>- 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. ; patentoobladateľ Federaľnoe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovateľnoe uchrezhdenie vysshego professionaľnogo obrazovanija «Jaroslavskaja gosudarstvennaja seľskohozjajstvennaja 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 kinematicheskih parametrov kolosa pri izvlechenii 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, obuchajushhihsja 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.

