



УДК 631.362.333:633/635

В.В. Карпов

УПРУГИЕ СВОЙСТВА ГОФРИРОВАННОГО ВОРСА ПИЛЬЧАТОГО ПРОФИЛЯ

Ключевые слова: аналитическое обоснование, гофрированный криволинейный ворс, момент инерции, гофрированный очиститель кормовых корнеплодов.

Введение

Постановка проблемы. Увеличению производства высококачественной продукции животноводства способствует повышение продуктивности сельскохозяйственных животных путем применения новых технологий и улучшения технологического процесса подготовки кормов к скармливанию. Очистка корнеклубнеплодов от загрязнений является одной из самых трудоёмких операций перед скармливанием животным [1-3]. Поэтому совершенствование рабочих органов для очистки кормовых корнеплодов является весьма актуальной задачей агропромышленного производства.

Цель – аналитическим путем определить коэффициенты, характеризующие упругие свойства криволинейного гофрированного ворса пильчатого профиля.

Задачи: найти аналитическую связь между геометрическими параметрами гофрополосного ворса и его упругими свойствами; построить эквивалентные схемы деформации гофрированной и плоской полоски; построить графики, характеризующие упругие свойства криволинейного ворса.

Результаты исследований

Нами разрабатывается гофрированный очиститель для сухой (безводной) очистки кормовых корнеплодов для индивидуального использования на фермах или в составе кормоприготовительного цеха (рис. 1) [4].

Единичными рабочими элементами, из которых состоят щеточные барабаны 5 очистителя, являются гофрированные криволинейные полоски «пильчатого» профиля 7 из капрона или резины (рис. 1). Предлагаемая нами конструкция гибкой гофрированной полоски состоит из тонких пластинок, жестко закрепленных друг относительно друга под некоторым постоянным углом между ними, который мы назвали углом гофрировки γ_0 . В течение всего времени контакта

очистные гофры ворсин будут образовывать с очищаемыми поверхностями корнеплодов определенные углы счесывания (рис. 2).

Кроме того, при проникновении в поры и трещины на поверхности корнеплодов треугольные пилообразные гофры полосок будут создавать т.н. раскливающий эффект, что способствует более тщательному счесыванию находящейся в них налипшей почвы и копированию рельефа корнеплода, повышению эффекта поверхностной очистки корнеплодов в целом [4]. Геометрическая форма гофрополоски такова, что ее жесткость в радиальном и окружном направлениях различна: в радиальном направлении единичный элемент (гофр) будет оказывать значительно меньшее сопротивление изгибу и растяжению, чем в окружном. Таким образом, гофрополоска обладает свойствами анизотропии, обусловленными особенностями ее формы. Это позволяет выбрать расчетную схему гофрополоски в виде плоской анизотропной пластины (рис. 3).

Жесткость на растяжение и изгиб и, соответственно, упругие свойства гофроворса характеризуют модули упругости анизотропного материала [5]:

$$E_{rp} = E/k_{rp}; E_{ru} = E/k_{ru}; E_{tu} = E \cdot k_{tu}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала гофроворса;

E_{rp} – модуль упругости анизотропного материала, характеризующего жесткость на растяжение в радиальном направлении;

E_{ru} и E_{tu} – модули упругости анизотропного материала, характеризующие жесткость на изгиб в радиальном и окружном направлениях;

k_{rp} – коэффициент упругости гофроворса при продольном растяжении;

k_{ru} – коэффициент упругости гофроворса при продольном изгибе;

k_{tu} – коэффициент упругости гофроворса при поперечном изгибе.

Коэффициенты упругости материала гофроворса можно определить приравнением жесткостей полосок, одинаковым образом выделенных из гофрированной и из плоской анизотропной ворсин (рис. 3).

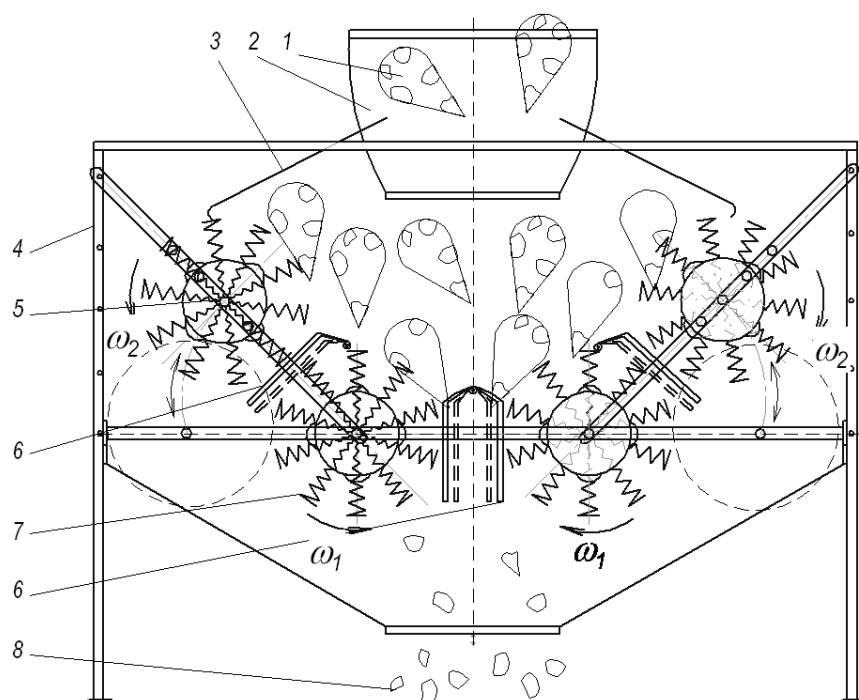


Рис. 1. Конструкторско-технологическая схема гофрированного очистителя корнеклубнеплодов: 1 – загрязненные корнеплоды; 2 – бункер; 3 – отражатели; 4 – рама; 5 – гофрированные щеточные барабаны; 6 – заслонки; 7 – гофрированные ворсины; 8 – примеси

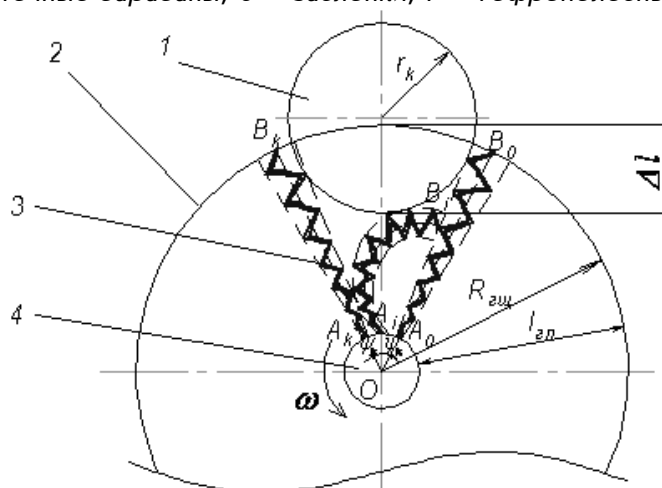


Рис. 2. Схема деформации гофрированного ворса при очистке: 1 – загрязненный корнеплод; 2 – гофрощетка; 3 – гофрированный ворс; 4 – сердечник

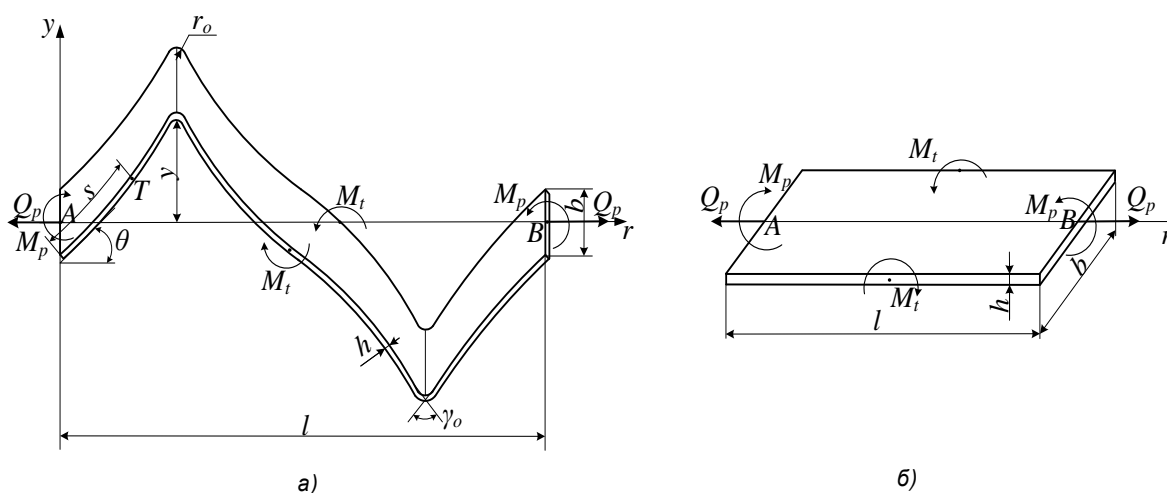


Рис. 3. Схема элемента гофрированной (а) и плоской (б) анизотропной полосок

Удлинение δ_{A-B} гофрированной полоски при растяжении в радиальном направлении в малых перемещениях определим с помощью интеграла Мора [5]:

$$\delta_{A-B} = \int_0^s \frac{M_p M_1}{EJ} \cdot ds + \int_0^s \frac{N_p N_1}{EF} \cdot ds, \quad (2)$$

где $J = bh^3/12$ – момент инерции поперечного сечения полоски шириной b и толщиной h ;

$F = bh$ – площадь поперечного сечения полоски;

E – модуль упругости материала гофрорворса;

s – длина гофрированной полоски АВ, равная длине дуги l одной волны профиля ворсины;

M_p, M_1, N_p, N_1 – изгибающие моменты и нормальные силы в сечении полоски от заданной Q_p и единичной нагрузок (рис. 3):

$$M_p = Q_p y; \quad M_1 = 1 \cdot y;$$

$$N_p = Q_p \cdot \cos \Theta; \quad N_1 = 1 \cdot \cos \Theta,$$

где Θ – угол наклона касательной к упругой линии полоски.

С учетом соотношений для M_p, M_1 и N_p, N_1 получим:

$$\delta_{A-B} = \frac{Q}{EJ} \int_0^s y_2 ds + \frac{Q}{EF} \int_0^s \cos^2 \Theta ds. \quad (3)$$

Удлинение анизотропной полоски длиной l поперечного сечения $F = b \cdot h$, растягиваемой силами Q_p , равно

$$\delta_{A-B} = \frac{Q \cdot l}{E_{rp} \cdot F} = \frac{Q \cdot l \cdot k_{rp}}{EF}. \quad (4)$$

и соотношений между углами θ_0 и γ_0 коэффициент упругости гофрорворса при продольном растяжении равен:

$$k_{rp} = \frac{3H^2}{h^2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma_0}{2}\right)} + \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma_0}{2}\right) = \frac{3H^2}{h^2 \sin \frac{\gamma_0}{2}} + \sin \frac{\gamma_0}{2} \quad (4)$$

График изменения коэффициент упругости гофрорворса при продольном растяжении k_{rp} представлен на рисунке 4.

Для гофрированной полоски, вырезанной в радиальном направлении (рис. 3а), взаимный угол поворота сечений А и В равен

$$\vartheta_{A-B} = \frac{M_r \cdot S}{EJ}, \quad \text{а для плоской анизотропной}$$

полоски – $\vartheta_{A-B} = \frac{M_r \cdot l \cdot k_{ru}}{EJ}$ (рис. 3б). Из равенства правых частей выражений для ϑ_{A-B}

определим коэффициент упругости гофрорворса при продольном изгибе:

$$k_{ru} = \frac{2\pi}{l} \left(\frac{H}{\pi \cos \gamma_0 / 2} + r_0 \right), \quad (5)$$

где H – высота гофрировки полосок;
 r_0 – радиус гофрировки полосок.

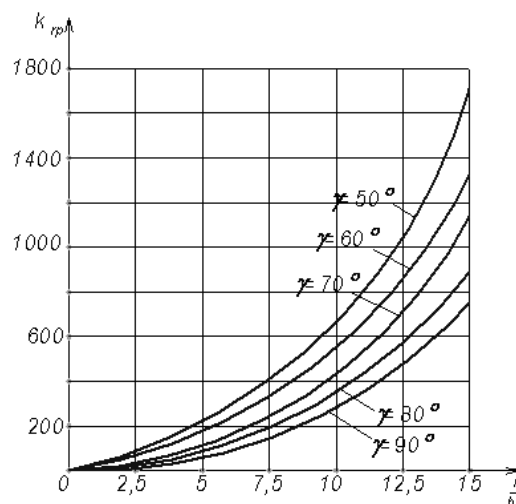


Рис. 4. График коэффициента упругости k_{rp}

График изменения коэффициента упругости гофрорворса при продольном изгибе k_{ru} представлен на рисунке 5.

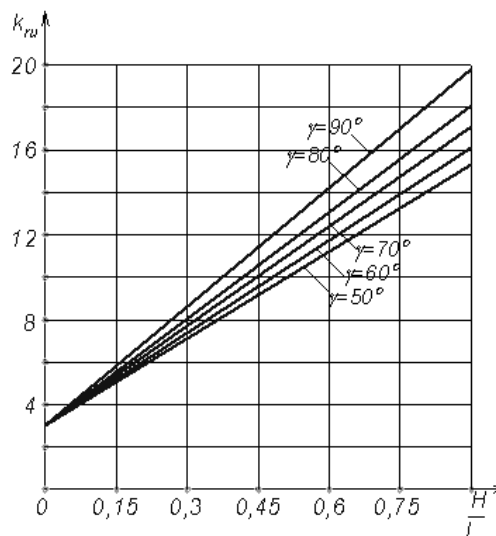


Рис. 5. График коэффициента упругости k_{ru}

Коэффициент упругости гофрорворса при поперечном изгибе k_{ru} определяем, приравняв взаимные углы поворота концевых сечений полосок, вырезанных в окружном направлении (рис. 6):

$$k_{ru} = \frac{J_z}{J_r} = \frac{J_z^* + J_{r0}}{J_r}, \quad (6)$$

где J_r – момент инерции целого сечения гофрополоски;

J_r – момент инерции сечения плоской полоски, $J_r = b \cdot h^3 / 12$;

J_r^* – момент инерции поперечного сечения гофрированной полоски относительно оси r , определяется выражением:

$$J_r^* = h \cdot \int_0^s y^2 ds + \frac{h^3}{12} \cdot \int_0^s \cos^2 \Theta ds ;$$

J_{r0} – момент инерции сечения скруглений углов гофрировки γ_0 , определяется выражением:

$$J_{r0} = \pi r_0 \cdot \int_0^s y^2 ds + \frac{\pi r_0 h^2}{12} \cdot \int_0^s \cos^2 \Theta ds .$$

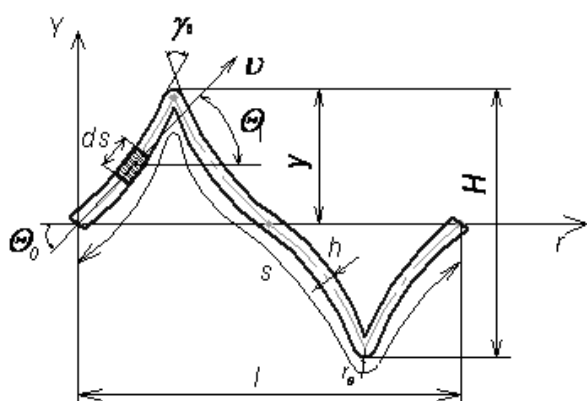


Рис. 6. Схема к определению момента инерции поперечного сечения гофрополоски

После дифференцирования выражений для J_r^* и J_{r0} момент инерции целого сечения гофрированной полоски будет равен:

$$J_z = \frac{\pi r_0 + h}{4 \sin \frac{\gamma_0}{2}} \cdot l \cdot \left(H^2 + \frac{bh}{3} \cdot \sin^2 \frac{\gamma_0}{2} \right). \quad (7)$$

С учетом (6), (7) коэффициент упругости гофроворса при поперечном изгибе k_{tu} будет равен:

$$k_{tu} = \frac{J_z}{J_r} = \frac{3(\pi r_0 + h)l}{h^3 \sin \frac{\gamma_0}{2}} \cdot \left(\frac{H^2}{b} + \frac{h}{3} \cdot \sin^2 \frac{\gamma_0}{2} \right). \quad (8)$$

График изменения коэффициент упругости гофроворса при поперечном изгибе k_{tu} представлен на рисунке 7.

Выводы

1. Коэффициенты k_{rp} , k_{ru} , k_{tu} характеризуют упругие свойства материала и конструкции гофроворса в зависимости от геометрии профиля гофрированных полосок, их толщины и ширины (см. зависимости (4-8)).

2. Жесткость криволинейного гофрополосного ворса на растяжение и изгиб в радиальном и окружном направлениях будет зависеть, главным образом, от высоты гофра H , ширины гофрополоски b , угла гофрировки γ_0 и толщины гофрополоски h .

3. Выполненный теоретический расчет может быть использован для дальнейшего аналитического обоснования основных параметров разрабатываемого гофродискового очистителя корнеклубнеплодов.

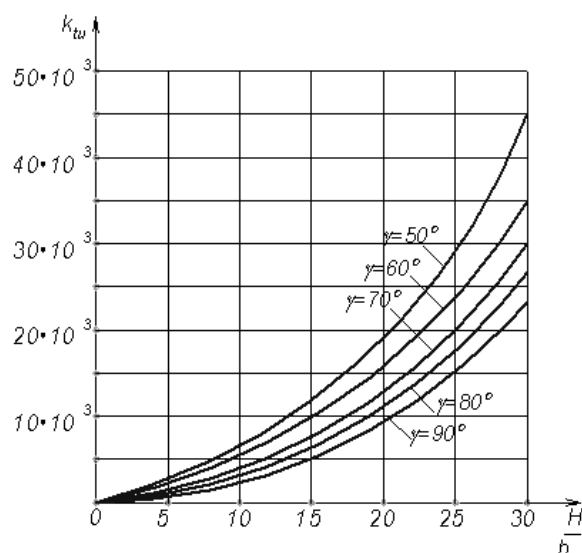


Рис. 7. График коэффициента упругости k_{tu}

Библиографический список

1. Ревенко И.И., Брагинец Н.В., Ребенко В.И. Машины и оборудование для животноводства: учебник. – К.: Кондор, 2009. – С. 23-40.
2. Найданов С.А., Пучков В.А. Исследование процесса сухой очистки корней сахарной свеклы // Сборник научных трудов ВИМ. – М.: Изд-во ВИМ, 1983. – Т. 98. – С. 8-29.
3. Зубков В.Е. Научное обоснование механизированных процессов предпосадочной и послеуборочной обработки картофеля. – Луганск: Лугань, 1997. – 128 с.
4. Карпов В.В. Обоснование конструктивно – технологической схемы гофрщеточного очистителя кормовых корнеплодов // Научный вестник Луганского национального аграрного университета. Серия: Технические науки. – 2013. – № 47. – С. 117-123.
5. Андреева Л.Е. Упругие свойства прибор. – М.: Машиностроение, 1962. – 455 с.

