

С.С. Ямпиров, д-р техн. наук, проф., e-mail: yampilovss@mail.ru

Ал.А. Абидуев, соискатель

Н.А. Урханов, д-р техн. наук, проф.

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

А.А. Абидуев, канд. техн. наук, доц.

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова
г. Улан-Удэ

УДК 631.362

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЗЕРНА ОТ ТРУДНООТДЕЛИМОЙ ПРИМЕСИ НА ЛЕНТОЧНОМ СЕПАРАТОРЕ

В статье изложены результаты теоретических исследований по определению условий разделения семян пшеницы и татарской гречихи на ленточном сепараторе с рабочей поверхностью с выступами, расположенными перпендикулярно направлению движения ленты.

Ключевые слова: ленточный сепаратор, зерно, татарская гречиха, полнота выделения, потери зерна в отходы.

S.S. Yampilov, D. Sc. Engineering, Prof.

Al. A. Abiduev, P.G.

N.A. Urkhanov, D. Sc. Engineering, Prof.

A.A. Abiduev, Cand. Sc. Engineering, Assoc. Prof.

THEORETICAL DESCRIPTION OF THE GRAIN CLEANING PROCESS FROM HARD-TO-CLEAN IMPURITIES ON THE BELT SEPARATOR

The article presents the results of theoretical studies to determine the conditions of wheat and Kangra buckwheat grain separation on a belt separator with a working surface with projections arranged perpendicular to the direction of the belt.

Key words: belt separator, grain, Kangra buckwheat, the loss of grain as waste, completeness of separation

Одним из основных резервов увеличения урожайности и повышения валового сбора зерна является использование для посева высококачественных семян лучших районированных сортов.

Качество высеваемых семян основной зерновой культуры – пшеницы – в хозяйствах Забайкалья неудовлетворительное. Так, доля некондиционных семян составляет примерно треть семенного фонда. Семена имеют низкое качество в основном по засоренности, в частности по содержанию семян такого сорного растения, как татарская гречиха, получившего широкое распространение на полях Забайкалья. С целью повышения чистоты семена многократно обрабатывают на поточных линиях или самопередвижных машинах на открытых площадках и в отдельных случаях не добиваются желаемого результата (например, при обработке семян высоких категорий). Многократная обработка зерна обуславливает высокие затраты денежных средств и труда, приводит к увеличению потерь семян основной культуры в отходы (фураж) и повышению механического повреждения семенного материала. Последнее, как известно, способствует снижению полевой всхожести и урожайности.

Семена пшеницы и татарской гречихи различаются по форме и имеют некоторое различие по скорости витания и плотности, что указывает на возможность окончательной очистки семян от данной примеси на ленточных фрикционных сепараторах (полотняных горках). Однако эффективность очистки семян на указанных сепараторах низкая ввиду того, что вариационные кривые угла трения их перекрываются. Высокая эффективность очистки семян от данной примеси может быть достигнута на сепараторе с восходящим движением рабочей поверхности, снабженной выступами, которые, с одной стороны, фиксировали бы

семена татарской гречихи с трехгранной формой и выносили бы их вверх и, с другой стороны, не препятствовали бы скатыванию вниз семян пшеницы с эллипсоидной формой [1].

Рабочая поверхность ленточного сепаратора образована металлическими пластинами, закрепленными на ленту длинной стороной поперек направления ее движения, имеет уклон к горизонту под углом α и перемещается со скоростью v . Причем верхняя часть металлических пластин шириной $s = 5$ мм отогнута вверх на угол β . Наложение отогнутой части пластины на нижнюю часть соседней верхней пластины $s_1 = 2$ мм. Высота рабочей кромки выступа, на которую опирается зерновка пшеницы, $h_2 = s_1 \sin \beta + H \cos \beta$ (где H – толщина пластины, мм) (рис. 1).

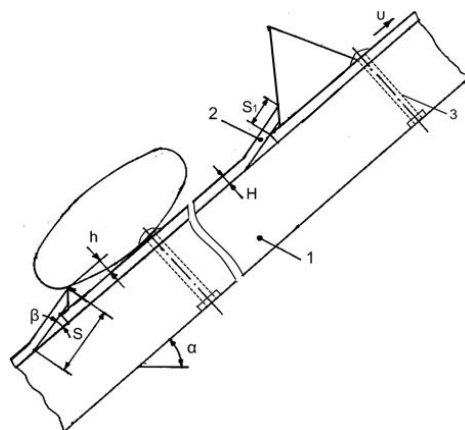


Рис. 1. Рабочая поверхность сепаратора и положение зерновки пшеницы и татарской гречихи на ней: 1 – гибкая лента; 2 – металлические пластины; 3 – винты

Семена татарской гречихи при поступлении на рабочую поверхность одной гранью опираются на нее и при движении по ней своей боковой гранью упираются в кромку выступа и выносятся вверх. При перемещении по гладкой части поверхности зерновка пшеницы своей передней нижней стороной соприкасается с кромкой выступа и соскальзывает с нее. Форма семян пшеницы принята условно в виде эллипсоида вращения, семян татарской гречихи – в виде трехгранной пирамиды.

При толщине пластины $H = 0,2$ мм верхняя часть ее отогнута на $\beta = 4^\circ$, высота рабочей кромки выступа $h = 0,33$ мм; при $H = 0,3$ мм значения их составляют соответственно 6° и $0,49$ мм; при $H = 0,4$ мм – 8° и $0,66$ мм; при $H = 0,5$ мм – 10° и $0,84$ мм.

Рассмотрим условие устойчивого положения зерновки татарской гречихи на выступе рабочей поверхности сепаратора. Зерновка, поступающая на рабочую поверхность, одной гранью опирается на ее гладкую часть и при движении по ней своей боковой гранью упирается в рабочую кромку выступа (см. рис. 1). Зерновка при соприкосновении с кромкой выступа обладает определенной силой инерции P (рис. 2).

Расстояние от проекции кромки выступа (т.О) до центра массы частицы (т.С).

$OC = l = \sqrt{OB^2 + CB^2}$. Значения отрезков $OB = \frac{KDh}{L}$, $CB = 0,333L - h$ (где h – высота кромки

выступа, м; L – высота Δ проекции зерновки, м). Значение угла $\gamma = \left(\frac{0,333L - h}{l} \right)$.

Уравнение равновесия плоской системы сил с учетом коэффициента трения качения k зерновки татарской гречихи вокруг кромки выступа имеет вид:

$$\sum M_o(F_i) = Gl \cos(\alpha + \gamma) + k[G \sin(\alpha + \gamma) + P \cos \alpha] - Pl \sin \gamma = 0. \quad (1)$$

После преобразования выражения (1) получим условие устойчивого положения зерновки на кромке выступа в виде:

$$\cos(\alpha + \gamma) + \frac{k}{l} \left[\sin(\alpha + \gamma) + \frac{\sin(\alpha - \varphi) \cos \gamma}{\cos \varphi} \right] - \frac{\sin(\alpha - \varphi) \sin \gamma}{\cos \varphi} \geq 0, \quad (2)$$

где k/l – приведенный коэффициент трения качения зерновки, m^{-1} .

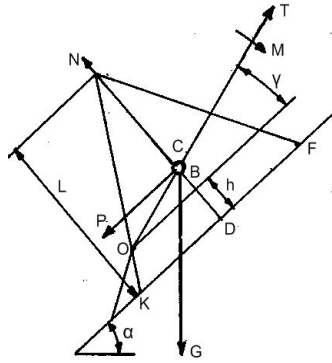


Рис. 2. Схема действия сил на зерновку татарской гречихи, расположенную на гладкой части и кромке выступа

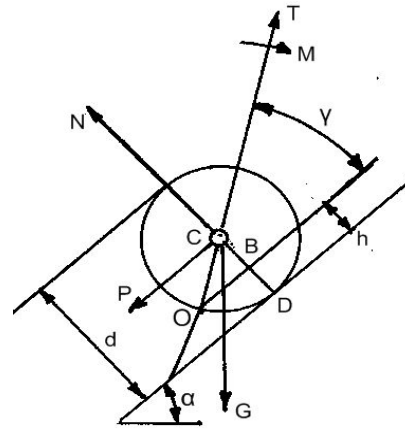


Рис. 3. Схема действия сил на зерновку пшеницы, расположенную на гладкой части и кромке выступа продольной осью перпендикулярно направлению движения ленты

Условие устойчивого положения зерновки на кромке выступа в случае, когда частица при поступлении на рабочую поверхность опирается одной гранью на гладкую часть и боковой гранью о кромку выступа ($P = 0$), имеет вид:

$$\cos(\alpha + \gamma) + \frac{k}{l} \sin(\alpha + \gamma) \geq 0. \quad (3)$$

Рассмотрим случай, когда зерновка пшеницы эллипсоидной формы при поступлении на рабочую поверхность расположена продольной осью перпендикулярно направлению движения ленты и соприкасается в первом случае с ее гладкой частью; во втором – с гладкой частью и кромкой выступа. В первом случае зерновка пшеницы перекатывается по гладкой части и при соприкосновении с кромкой выступа обладает определенной силой инерции P (рис. 3).

Значение отрезка $CD=OC=r=l$, $CB=r-h$ (где $r=0,5d$ – радиус окружности проекции зерновки эллипсоидной формы, m). Значение угла $\gamma = \arcsin(\frac{r-h}{r})$.

Уравнение равновесия плоской системы сил имеет вид:

$$\sum M_o(F_i) = Gl \cos(\alpha + \gamma) + k_1 [G \sin(\alpha + \gamma) + P \cos \gamma] - Pl \sin \gamma = 0, \quad (4)$$

где k_1 – коэффициент трения качения зерновки пшеницы вокруг кромки выступа.

Сила инерции частицы эллипсоидной формы при перекатывании по наклонной поверхности определяется как разность составляющей силы тяжести $G \sin \alpha$ и силы трения качения $F_1 = k_2 N$ ($P = G \sin \alpha - k_2 G \cos \alpha$, где k_2 – коэффициент сопротивления качению зерновки эллипсоидной формы). После преобразования выражения (4) получим условие опрокидывания зерновки пшеницы вокруг кромки выступа (т.О) в виде:

$$\cos(\alpha + \gamma) + \frac{k_1}{l} [\sin(\alpha + \gamma) + (\sin \alpha - k_2 \cos \alpha) \cos \gamma] - (\sin \alpha - k_2 \cos \alpha) \sin \gamma \leq 0. \quad (5)$$

Во втором случае ($P=0$) условие опрокидывания зерновки имеет вид:

$$\cos(\alpha + \gamma) + \frac{k_1}{l} \sin(\alpha + \gamma) \leq 0. \quad (6)$$

Зерновка пшеницы, расположенная на рабочей поверхности продольной осью вдоль направления ее движения, при скольжении по гладкой части соприкасается своей передней нижней стороной с кромкой выступа и может перемещаться по ней опрокидыванием или скольжением (рис. 4).

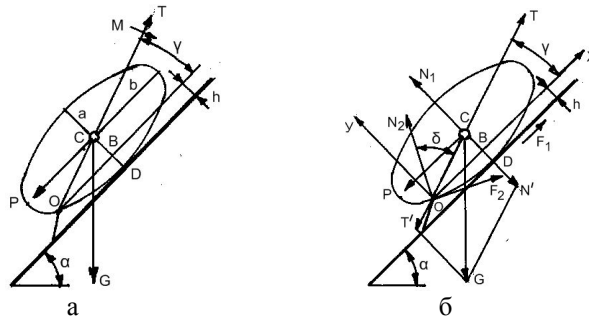


Рис. 4. Схема действия сил на зерновку пшеницы, расположенную на гладкой части и кромке выступа продольной осью вдоль направления движения ленты:
а – при опрокидывании; б – при скольжении

Обозначим малую и большую полуоси эллипса соответственно a и b . Согласно уравнению эллипса, значение $OB = x_0 = b\sqrt{1 - \frac{(a-b)^2}{a^2}}$. Значение $CB = y_0 = a - h$, $OC = l = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$, угла $\gamma = \arcsin\left(\frac{a-h}{l}\right)$.

Равновесие плоской системы сил в случае опрокидывания зерновки пшеницы, расположенной продольной осью вдоль направления движения рабочей поверхности, вокруг кромки выступа описывается уравнением (4). После преобразования выражения (4) получим условие опрокидывания зерновки пшеницы в виде:

$$\cos(\alpha + \gamma_1) + \frac{k_1}{l} \left[\sin(\alpha + \gamma) + \frac{\sin(\alpha - \varphi) \cos \gamma}{\cos \varphi} \right] - \frac{\sin(\alpha - \varphi) \sin \gamma}{\cos \varphi} \leq 0. \quad (7)$$

Условие опрокидывания зерновки при $P = 0$ имеет вид:

$$\cos(\alpha + \gamma) + \frac{k_1}{l} \cdot \sin(\alpha + \gamma) \leq 0. \quad (8)$$

Уравнение равновесия плоской системы сил в случае скольжения зерновки пшеницы по гладкой части и кромке выступа (рис. 4б) имеет вид:

$$\sum F_{iX} = G \sin \alpha + P - F_1 - F_2 \sin(\gamma + \delta) = 0, \quad (9)$$

где δ – угол между векторами силы реакции T и нормальной реакции N_2 , град.

Значения сил N_1' и T' , согласно теореме синусов, могут быть определены по выражениям:

$$N_1' = \frac{mg \cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma}; \quad T' = \frac{mg \sin \alpha}{\cos \gamma}.$$

Значение нормальной реакции $N_1 = N_1'$, силы реакции $T = T'$, нормальной реакции $N_2 = T' \cos \delta$. Подставив в выражение (10) значения силы тяжести G , силы инерции $P = ma$ и сил трения $F_1 = fN_1$ и $F_2 = fN_2$, после его преобразования получим условие скольжения зерновки по кромке выступа в виде:

$$\frac{tq\varphi}{\cos \gamma} [\cos(\alpha + \gamma) + \sin \alpha \cos \delta \sin(\gamma + \delta)] - \sin \alpha - \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \leq 0. \quad (10)$$

Условие относительного движения частицы при $P=0$, согласно (11), имеет вид:

$$\frac{tq\varphi}{\cos \gamma} [\cos(\alpha + \gamma) + \sin \alpha \cos \delta \sin(\gamma + \delta)] - \sin \alpha \leq 0. \quad (11)$$

Угол трения семян пшеницы по металлической пластине равен $24-32^\circ$, татарской гречихи – $28-36^\circ$. Коэффициент трения качения зерновки составляет $0,035$, коэффициент сопротивления качению – $0,022$. Расчеты показали, что мелкие семена пшеницы, обладающие меньшим углом γ , перемещаются по выступу при большем значении угла α , чем крупные, а крупные семена татарской гречихи, обладающие большим углом γ , теряют устойчивость на выступе при меньшем значении угла α , чем мелкие, т.е. верхняя граница движения семян

пшеницы по выступу может быть определена условием равновесия первых, нижняя граница устойчивого положения семян татарской гречихи – условием равновесия вторых.

Расчеты по выражениям (8), (9), (10) и (11) при толщине пластин $H=0,5$ мм показали, что зерновка пшеницы, расположенная на гладкой части и кромке выступа продольной осью вдоль направления движения ленты, при прочих равных условиях перемещается по кромке выступа и гладкой части скольжением, так как условие опрокидывания частицы вокруг т. О (кромки выступа) наступает при более высоком значении угла α наклона рабочей поверхности к горизонту (рис. 5). При этом частица с силой инерции $P=0$ перемещается по несущей поверхности скольжением при более высоком значении угла α , чем частица с $P>0$, и условие начала скольжения мелких зерновок (11) определяет верхнюю границу начала соскальзывания зерновок пшеницы с выступа (см. рис. 5).

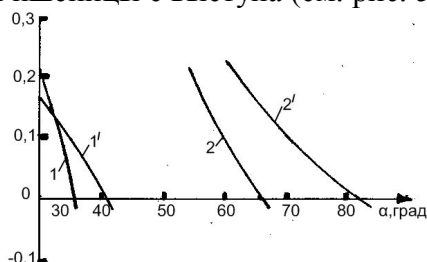


Рис. 5. Определение условия движения зерновки пшеницы по выступу рабочей поверхности: 1, 1' – скольжением соответственно при $P > 0$ и при $P = 0$; 2, 2' – опрокидыванием

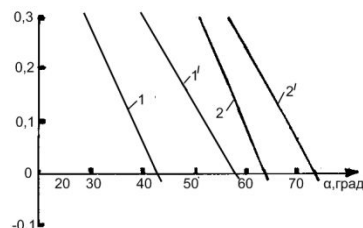


Рис. 6. Определение условия опрокидывания зерновки вокруг кромки выступа: 1, 1' – пшеницы соответственно при $P > 0$ и при $P = 0$; 2, 2' – татарской гречихи

Расчеты по выражениям (5) и (6) показали, что зерновка пшеницы, расположенная на выступе продольной осью перпендикулярно направлению движения ленты, с силой инерции $P=0$ опрокидывается вокруг т. О при более высоком значении угла α , чем частица с $P>0$ (рис. 6). Расчеты по выражениям (2) и (3) показали, что зерновка татарской гречихи с $P>0$ теряет устойчивость на выступе при меньшем значении угла α , чем зерновка с $P=0$, и условие опрокидывания крупных зерновок татарской гречихи определяет нижнюю границу устойчивого положения зерновок сорняка на выступе рабочей поверхности (см. рис. 6). Таким образом, верхняя граница начала перемещения зерновок пшеницы по выступу рабочей поверхности определяется условием скольжения частицы с силой инерции $P=0$ и опрокидывания зерновки, расположенной продольной осью перпендикулярно направлению движения ленты, с $P=0$, описываемых выражениями (6) и (11), а нижняя граница устойчивого положения зерновок татарской гречихи на выступе определяется условием устойчивого положения на нем частицы с $P>0$, описываемом выражением (2).

Анализ верхней границы перемещения зерновок пшеницы по выступу рабочей поверхности и нижней границы устойчивого положения зерновок татарской гречихи на ее выступе свидетельствует о возможности их разделения на данном сепараторе при толщине пластин $H=0,2-0,5$ мм, при котором высота кромки выступа составляет 0,33-0,84 мм (рис. 7).

С увеличением высоты кромки выступа необходимо повысить угол α наклона рабочей поверхности к горизонту. Разделение семян пшеницы и татарской гречихи на ленточном сепараторе, например при толщине пластин 0,5 мм, возможно при угле наклона его рабочей поверхности к горизонту $58 < \alpha < 64^\circ$ (см. рис. 7). Экспериментальными исследованиями необходимо уточнить параметры ленточного сепаратора при подаче зерна тонким слоем.

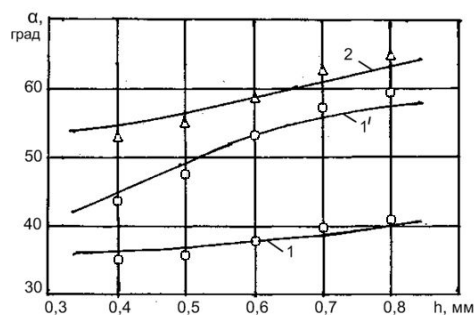


Рис. 7. Изменение верхней границы скольжения зерновок пшеницы по выступу рабочей поверхности (1) и опрокидывания через кромку выступа (1') и нижней границы устойчивого положения зерновок татарской гречихи на выступе (2) в зависимости от высоты h кромки выступа; О – экспериментальные данные угла соскальзывания и опрокидывания зерновки пшеницы; Δ – экспериментальные данные угла опрокидывания зерновки татарской гречихи

Вывод

Определены условия разделения семян пшеницы и татарской гречихи на ленточном сепараторе с рабочей поверхностью с выступами, расположенными продольной осью перпендикулярно направлению движения ленты, так, при толщине пластин 0,5 мм ленточного сепаратора рациональный угол наклона рабочей поверхности к горизонту составляет от 58 до 64°.

Библиография

1. Ямпиллов С.С., Абидуев Ал.А., Абидуев А.А. Исследование технологического процесса очистки семян пшеницы от татарской гречихи на ленточном сепараторе // Вестник ВСГУТУ. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. – № 2 (37). – С. 45–48.

Bibliography

1. Yampilov S.S., Abiduev Al.A., Abiduev A.A. The study of the technological process of cleaning wheat seed from Kangar buckwheat on a belt separator. ESSUTM Bulletin. The scientific journal. – Ulan-Ude: ESSUT Press, 2012. – N 2 (37). – P. 45–48.