

УДК 631.362.001.573

Вероятностная модель процесса продольной ориентации стеблей соломы зерновых культур

Ю. И. Ермольев, А. В. Бутовченко

(Донской государственный технический университет),

С. В. Белов, Р. Е. Фоменко

(ООО «Донская гофротара»)

Приведён общий подход построения стохастической математической модели процесса продольной ориентации длинных соломистых фракций на специальном ориентирующем устройстве.

Ключевые слова: стохастическая модель, сепаратор-ориентатор, соломистые фракции, показатели процесса.

Введение. Структурный синтез рациональных совокупностей частных технологических операций, способных выполнять ориентацию стеблей зерновых культур для последовательного их изменения с заданными параметрами, предопределяет необходимость оценки основных технологических показателей функционирования ориентирующего устройства стеблей зерновых культур (ОУСЗК). В связи с этим возникла необходимость параметрического и структурного синтеза ОУСЗК при ориентации стеблей зерновых культур с различными размерами стеблей.

Построение модели. Рассмотрим в общем виде стохастическую модель процесса продольной ориентации стеблей на ОУСЗК. Принципиальная схема устройства для ориентации стеблей зерновых культур представлена на рис. 1.

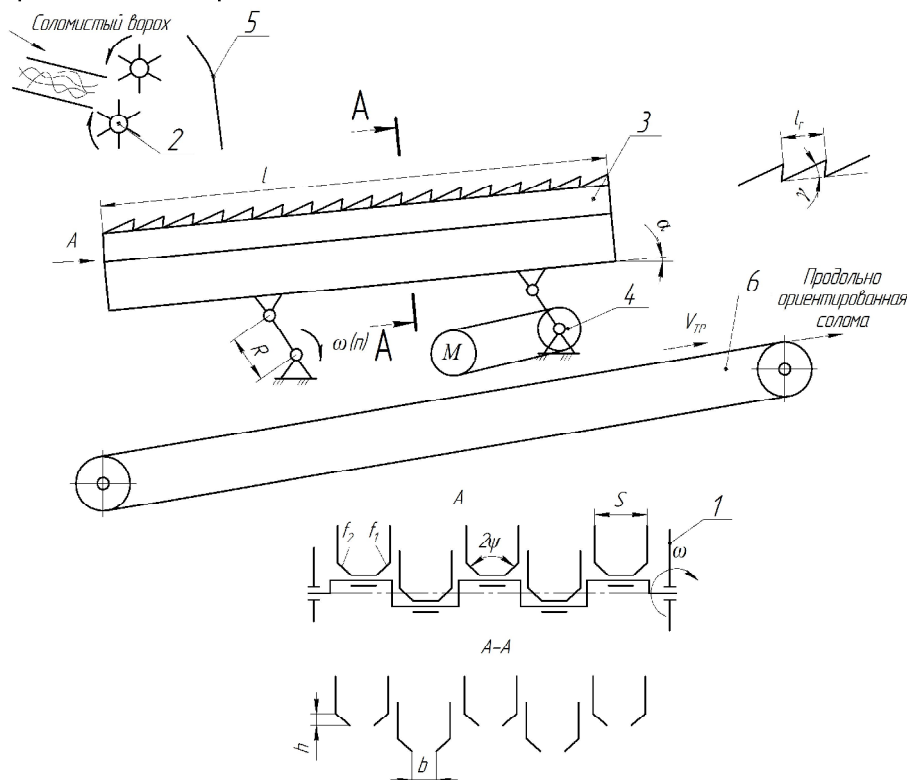


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для ориентации стеблей зерновых культур: 1 — боковины устройства; 2 — устройство для разрушения тюков соломистого вороха; 3 — клавишный сепаратор-ориентатор; 4 — привод клавиш сепараторов-ориентаторов; 5 — направляющий щиток; 6 — транспортёр ориентированной соломы

Основными геометрическими параметрами ОУСЗК являются его длина l и ширина B , угол α наклона его к горизонту, частота n оборотов кривошипа радиуса R ; шаг S установки гребёнок, их конструкция (l_r, γ), высота h и угол 2ψ установки стенок желобков, ширина b выходных щелей между гранями гофров; скорость $V_{\text{тр}}$ ленты транспортера.

ОУСЗК можно представить в виде двух расположенных друг над другом и неоднородных «условных» решёт равной длины l , каждое из которых обладает отличным от другого, но постоянным для отдельного решета коэффициентом сепарации μ_j .

Верхнее условное решето представляет собой слой соломистого вороха на сепараторе и линейчатую поверхность сепаратора с шагом S , нижнее условное решето образовано желобками гофров с выходными щелями шириной b . Для первого верхнего решета

$$\mu_{1j} = f(Q, a_j, \gamma_1, W, f(l_j), f(b_{wj}), f_{bj}, \rho, S, \alpha, \beta, n, R, V_{1j}), \quad (1)$$

для второго решета

$$\mu_{2j} = f_1(a_j, \gamma_2, f(b_{wj}), \beta, \alpha, V_{\text{тр}}, n, R, V_{2j}), \quad (2)$$

где Q — подача стеблей зерновых культур (СЗК) на ОУСЗК; W — влажность СГС; $f(l_j)$, $f(b_{wj})$ — плотности вероятностей распределения длины l_j и ширины b_{wj} j -х компонентов СЗК; γ_1 и γ_2 — вероятностная доля a_j — компонентов, способных пройти в щель ОУСЗК S и b ; f_{bj} — коэффициент внутреннего трения j -го компонента; ρ — плотность массы СЗК; n и R — частота и радиус кривошипа, обеспечивающие подброс компонентов СЗК относительно рабочей поверхности ОУСЗК; $V_{\text{тр}}$ — относительная скорость перемещения компонентов СЗК по сепаратору-ориентатору ОУСЗК. Ограничением прохода j -х компонентов СЗК через условное первое и второе решёта ОУСЗК являются соответствующие условия

$$\begin{aligned} b_{wj} &< S, \\ b_{wj} &< b; \end{aligned} \quad (3)$$

V_{1j} и V_{2j} — средние скорости относительного перемещения j -х компонентов по условному первому (рабочая поверхность ОУСЗК) и второму (желобки между стенками гофров) решётам.

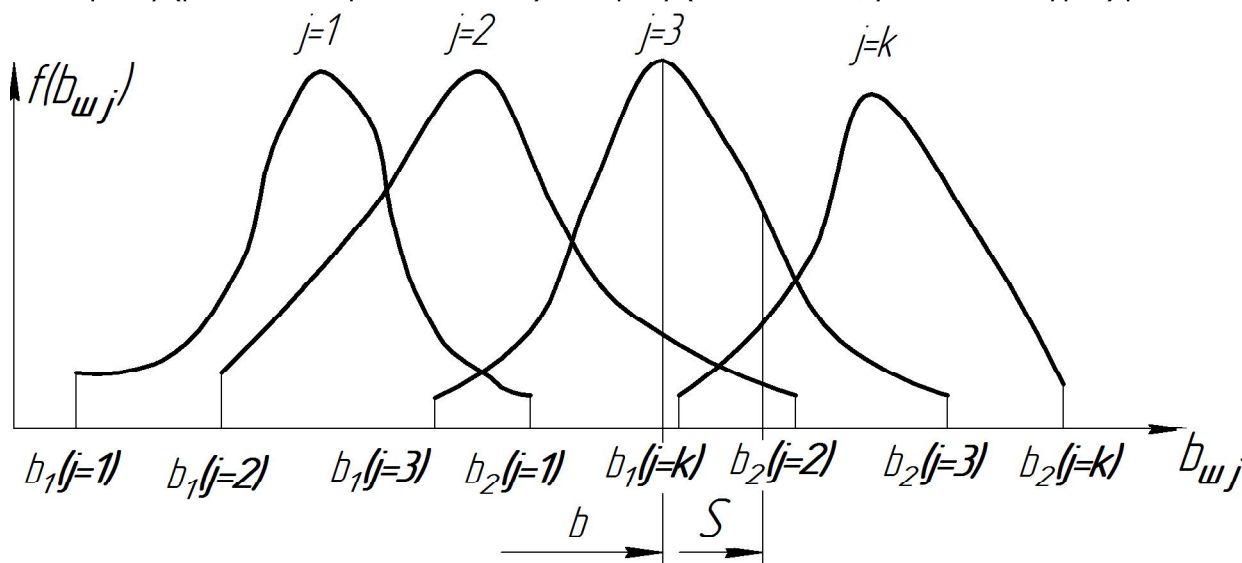


Рис. 2. Плотность вероятности распределения по ширине (b_{wj}) j -х компонентов СЗК

При условии содержания k компонентов ($j = 1, 2, \dots, k$) в исходных СЗК с известными плотностями вероятности $f(b_{uj})$ распределения по ширине (рис. 2) и задаваемой шириной S и b (см. рис. 2) размеров щелей условных первого и второго решёт вероятностная доля γ_1 j -х компонентов, способных пройти щель шириной S , например, для условия $j = 3$, $S < b_{2(j=3)}$, будет составлять

$$\gamma_{1(j=3)} = \frac{\int_{b_{1(j=3)}}^S f(b_{uj}) db}{\int_{b_{1(j=3)}}^{b_{2(j=3)}} f(b_{uj}) db}, \quad (4)$$

при $b_{2(j=3)} < S \rightarrow \gamma_{1(j=3)} = 1$.

Тогда часть j -х компонентов СЗК, идущих в сход с 1-го условного решета Q_{1cxj}

$$Q_{1cxj} = Q \cdot a_j (1 - \gamma_1). \quad (5)$$

По аналогии, например, для условия

$$\gamma_2 = \int_{b_{2(j=2)}}^b f(b_{uj}) db / \int_{b_{1(j=2)}}^{b_{2(j=2)}} f(b_{uj}) db, \quad (6)$$

тогда часть j -х компонентов СЗК, прошедших щель шириной S первого условного решета, сойдёт в сход Q_{2jc} со 2-го условного решета

$$Q_{2jc} = Q_{aj} \gamma_1 (1 - \gamma_2), \quad (7)$$

Для этих условий полнота просеивания ε_{1j} j -го компонента СЗК на ОУСЗК длиной l будет [1]

$$\varepsilon_j = 1 - (\mu_{2j} \cdot \exp(-\mu_{1jl}) - \mu_{1jl} \cdot \exp(-\mu_{2jl})) / (\mu_{2j} - \mu_{1j}), \quad (8)$$

а просеивание с продольной ориентацией j -го компонента в единицу времени на ОУСЗК длиной l определяется из выражения

$$Y_{nj} = Q \cdot a_j \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \varepsilon_j, \quad (9)$$

Для аналитического описания коэффициентов сепарации μ_{1j} и μ_{2j} введём допущения [2]:

- 1) j -е компоненты распределены равномерно в слое СЗК;
- 2) j -е компоненты СЗК, способные «пройти» первую и вторую щель (S и b) условных решёт, имеют прямолинейную цилиндрическую форму тела длиной l_j , равной длине этого компонента, и шириной b_{uj} ;
- 3) плотности вероятностных случайных величин l_j и l_{uj} подчиняются нормальному закону;
- 4) центр масс j -х компонентов совпадает с их геометрическим центром;
- 5) проход j -го компонента через соответствующие щели условных решёт определяется нахождением его центра масс в плоскости щели и положением в пространстве, обеспечивающим проход в отверстие без касания его кромок половиной длины l_j j -го компонента.

Тогда [2]:

$$\mu_{1j} = P_{1j} / (V_{1j} \cdot t_{uj}), \quad (10)$$

где P_{1j} — вероятность прохода j -го компонента вороха соответственно через слой СЗК на рабочей поверхности сепаратора ОУСЗК и через его условное линейчатое решето с шагом S ; t_{uj} — среднее время одного цикла перемещения j -го компонента на первом условном решете; V_{1j} — средняя относительная скорость перемещения j -го компонента на первом условном решете.

Вероятность P_{1j} представим в виде комбинации двух несовместных событий

$$P_{1j} = P_{c1j} (1 - P_{2j}) \quad \text{для } S > b_{шj}, \quad (11)$$

где P_{2j} — вероятность непрохода j -го компонента соломистого вороха через линейчатое решето с шагом линий S (вероятность пересечения компонентом при опускании на сепаратор двух и более линий) за один цикл его перемещения по линейчатому решету; P_{c1j} — вероятность прохода j -го компонента через слой соломистого вороха.

$$\mu_{2j} = P_{2/1j} / (V_{2j} \cdot t_{цj}), \quad (12)$$

где $P_{2/1j}$ — вероятность прохода j -го компонента через второе условное решето в сепараторе ОУСЗК; V_{2j} — средняя скорость относительного перемещения j -х компонентов на втором условном решете сепаратора-ориентатора; $t_{цj}$ — время одного цикла перемещения j -го компонента по второму условному решету.

Вероятность $P_{2/1j}$ представим в виде комбинации несовместных событий

$$P_{2/1j} = P_{3/1j} + (1 - P_{3/1j}) \cdot P_{4/3j}, \quad (13)$$

где $P_{3/1j}$ — вероятность j -му компоненту, попавшему в желобки с шагом S линейчатой решётки, пройти щели шириной b на дне желобков; $P_{4/3j}$ — вероятность того, что j -й компонент, не попавший центром масс в щели желобков и опустившийся на боковые поверхности желобков, ориентируется в пространстве относительно щелей шириной b за счёт воздействия на j -й компонент реакций боковых поверхностей гофров.

Доказано [3], что для определения вероятности $P_{4/3j}$ процесс ориентации соломин вороха можно представить в виде комбинации двух несовместных действий: вероятности ориентации j -го компонента в плоскости, параллельной поверхности решета, и вероятности его ориентации в плоскости, перпендикулярной продольной оси желобка. Тогда вероятность полного процесса $P_{4/3j}$, подразделённого на частные случаи, определяется по теореме сложения вероятностей.

Для различных соотношений I_j (в дальнейшем I) и S в первом приближении вероятность $P_{4/3j}$ определяется из выражений [3]:

Для выражения (13) $S > I_j < CB(\Theta_{kp})$

$$P_{4/3j} = (1 - I_j/2S)(1 - \alpha_{kpj}/90^\circ) + I_j/2S \left[1 + (1 - \alpha_{kpj}/90^\circ)(1 - \Theta_{kpj}/(90^\circ - \arctg(\partial f/\partial z))) \right]$$

Для $S \geq I_j < CB(\Theta_{kp})$

$$P_{4/3j} = \left(1 - \frac{I_j}{2S} \right) \left(1 - \frac{\alpha_{kpj}}{90^\circ} \right) + \frac{I_j}{2S} \left[1 - \frac{\Theta_{kpj}}{90^\circ - \arctg \frac{\partial f}{\partial z}} + (1 - \alpha_{kpj}/90^\circ) \left(1 - \frac{\Theta_{kpj}}{90^\circ - \arctg \frac{\partial f}{\partial z}} \right) \right] \quad (15)$$

Для $S < I_j \leq S/\cos \alpha_{kpj}$, при $I_j < 2CB/\cos \alpha_{kpj} \leq S/\cos \alpha_{kpj}$

$$P_{4/3j} = \left[1 - \frac{\alpha_{kpj} \Theta_{1kpj}}{90^\circ (90^\circ - \arctg \frac{\partial f}{\partial z})} \right] P_{3j} + (1 - P_{3j}) \left[1 - \left(\frac{\alpha_{kpj} - \alpha}{90^\circ - \alpha} \right) \cdot \frac{\Theta_{kpj}}{90^\circ - \arctg \frac{\partial f}{\partial z}} \right], \quad (16)$$

Для $S < l_j < S/\cos\alpha_{крj}$, при $l_j < 2CB/\cos\alpha_{крj} \leq S/\cos\alpha_{крj}$

$$P_{4/3j} = \left(1 - \frac{\alpha_{крj}}{90^\circ}\right) P_{3j} + (1 - P_{3j}) \left[1 - \left(\frac{\alpha_{крj} - \alpha}{90^\circ - \alpha}\right) \cdot \frac{\Theta_{крj}}{90^\circ - \arctg \frac{\partial f}{\partial Z}}\right], \quad (17)$$

Для $S < l_j < S/\cos\alpha_{крj}$, при $l_j < 2CB/\cos\alpha_{крj} \leq S/\cos\alpha_{крj}$

$$P_{4/3j} = \left[1 - \frac{\alpha_{крj} \Theta_{1крj}}{90^\circ \left(90^\circ - \arctg \frac{\partial f}{\partial Z}\right)}\right] + (1 - P_{3j}) \left[1 - \left(\frac{\alpha_{крj} - \alpha}{90^\circ - \alpha}\right) \cdot \frac{\Theta_{крj}}{90^\circ - \arctg \frac{\partial f}{\partial Z}}\right] \quad (18)$$

Для $S/\cos\alpha_{крj} < l_j < 2S/\cos\alpha_{крj}$, при $S/\cos\alpha_{крj} < 2CB/\cos\alpha_{крj} < l_j$

$$P_{4/3j} = \left(1 - \frac{\alpha_{крj}}{90^\circ}\right) P_{3j} + (1 - P_{3j}), \quad (19)$$

Для $S/\cos\alpha_{крj} < l_j \leq 2S/\cos\alpha_{крj}$, при $S/\cos\alpha_{крj} < 2CB/\cos\alpha_{крj} < l_j$

$$P_{4/3j} = P_{3j} \left[1 - \frac{\alpha_{крj}}{90^\circ} \cdot \left(\frac{\Theta_{1крj}}{90^\circ - \arctg \frac{\partial f}{\partial Z}}\right)\right] + (1 - P_{3j}) \quad (20)$$

P_{3j} — вероятность j -го компонента, попавшего в желобок, достичь его стенок (f_1 или f_2 ; рис. 3).

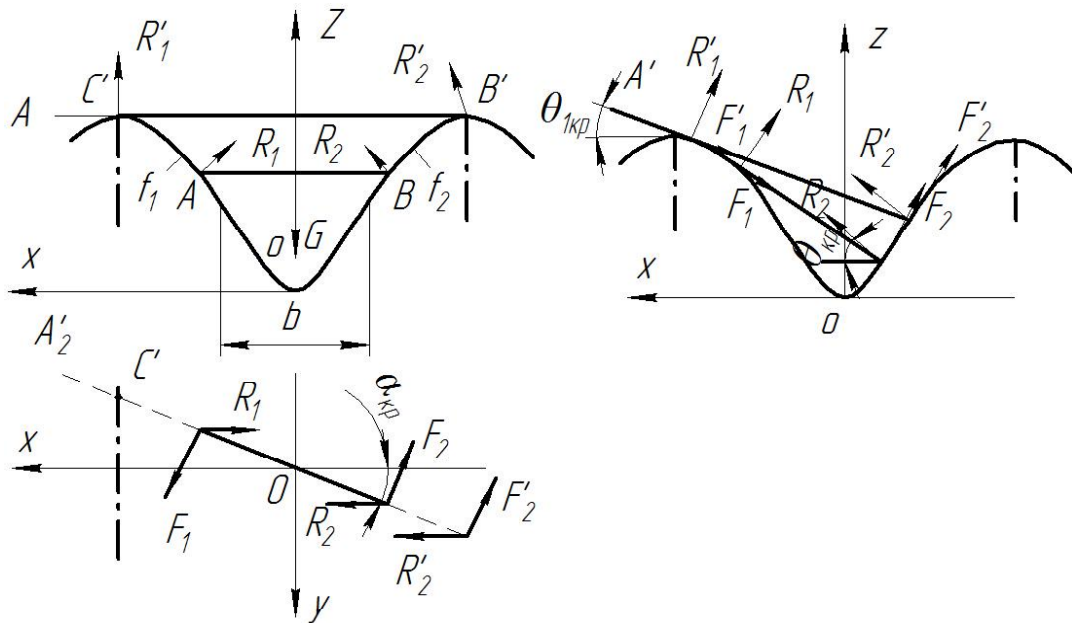


Рис. 3. Схема ориентации отрезков различной длины в желобках гофрированного решета

Для $l_j < 2S/\cos\alpha_{крj}$, $P_{4/3j} = 1$, где $\alpha = \arccos \frac{S}{l_j}$, при $\alpha < 0^\circ$ принимается $\alpha = 0^\circ$; $\arctg \frac{\partial f}{\partial Z}$ —

угол наклона касательной стенки желобка к оси Z (рис. 3) в точке $x = d/2$; $z_0 \rightarrow f_1 = f_1(y_0; z_0)$; $\Theta_{крj} = \Theta_{1крj}$ в зависимости от формы гофры; $\alpha_{крj}$ — критический угол, определяющий положение j -го компонента в плоскости, параллельной поверхности решета, при котором он под действием силы веса и реакции со стороны стенок желобка начинает разворачиваться и ориентироваться к отверстию (рис. 3), определяется с учётом его положительного значения из выражения [3].

$$\alpha_{крj} \geq \arcsin \sqrt{-\frac{\left(\frac{\partial f_a}{\partial z}\right)^2}{2} + \sqrt{\frac{\left(\frac{\partial f_a}{\partial z}\right)^4}{4} + \frac{\left(\frac{\partial f_a}{\partial z}\right)^2}{\left(\frac{1}{\Delta f_a} \cdot \frac{\partial f_a}{\partial x}\right)} f_j^2}}, \quad (21)$$

где f_j — коэффициент трения j -го компонента о стенки желобка; f_a — уравнение поверхности стенки желобка в плоскости XOZ ; $\Delta f_a = |\text{grad} f_a| = \sqrt{\left(\frac{\partial f_a}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_a}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_a}{\partial z}\right)^2}$ — модуль градиента связи в точке контакта j -го компонента со связью (стенкой желобка).

Координаты точек контакта концов j -х компонентов со связями (см. рис. 3) $x = \frac{l}{2} \cos \alpha$, z определяется из уравнения связи $f_a = f(x, z)$, подставим в них значения x .

$Q_{крj}$ — критический угол начала самоориентации j -х компонентов в плоскости, перпендикулярной продольной оси желобка, при $S > l$ (см. рис. 3)

$$Q_{крj} \geq \arctg \left\{ \frac{\frac{G_j}{2} - \lambda_{1j} \Delta f_1 \left[f \cos \left(\arctg \frac{\partial f_1}{\partial z} \right) \mp \sin \left(\arctg \frac{\partial f_1}{\partial z} \right) \right]}{\lambda_{1j} \Delta f_1 \left[\cos \left(\arctg \frac{\partial f_1}{\partial z} \right) \pm f_j \sin \left(\arctg \frac{\partial f_1}{\partial z} \right) \right]} \right\} \quad (22)$$

где G_j — сила веса j -го компонента,

$$\lambda_{1j} = \frac{G_j \left(\frac{\partial f_2}{\partial x} - \frac{\partial f_2}{\partial x} f_j \right)}{\left(\frac{\partial f_1}{\partial z} \mp \frac{\partial f_1}{\partial x} f_j \right) \left(\frac{\partial f_2}{\partial x} - \frac{\partial f_2}{\partial z} f_j \right) + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x} \mp \frac{\partial f_1}{\partial z} f_j \right) \left(\frac{\partial f_2}{\partial z} \mp \frac{\partial f_2}{\partial x} f_j \right)}$$

множитель связи или неопределённый множитель Лагранжа. Верхний ряд знаков для $Q_{крj} \geq \arccos \left(\frac{1}{\Delta f_2} \frac{\partial f_2}{\partial x} \right)$, в противном случае — нижний ряд знаков.

Координаты точек контакта концов j -х компонентов со связями можно найти из выражений

$$|x_1| + |x_2| = l \cos \Theta, \quad z_2 - z_1 = l \sin \Theta, \quad f_1 = f_1(x_1, z_1), \quad f_2 = f_2(x_2, z_2), \quad (23)$$

Для случаев $l > S$, когда уравнения связей f_1 и f_2 для следующего желобка представляют собой одну кривую, величиной критического угла

$$\Theta_{1крj} \leq \arccos \left(\frac{2\lambda_{1j} \Delta f_1 CB}{G_j l_j} \right) \quad (24)$$

Координаты точек контакта концов j -х компонентов со связями и величина CB определяются из выражений:

$$z_2 - z_1 = (x_1 - x_2) \text{tg} \Theta_1, \quad f_1(x_1, z_1) = 0, \quad f_2(x_2, z_2) = 0 \quad (25)$$

$$\frac{f'_{1x} \Big|_{x=x_1}}{f'_{1z} \Big|_{z=z_1}} = \text{tg} \Theta_1 \quad CB = (x_1 - x_2) / \cos \Theta_1$$

Если кривые уравнения f_1 и f_2 в точке $x = S/2$ пересекаются (см. рис. 3), то

$$Q_{1крj} \leq \arccos(2R_{1j} CB) / (G_j l_j) \quad (26)$$

где

$$R_{1j} = \frac{G_j \left(\frac{1}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial x} - \frac{f}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial z} \right)}{(\pm f_j \cos \Theta_1 + \sin \Theta_1) \left[\frac{1}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial z} + \frac{1}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial x} \right] + \left[\frac{1}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial x} - \frac{f}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial z} \right] (\cos \Theta_1 m f_j \sin \Theta_1)}$$

Координаты точек контакта концов j -х компонентов со связями для этого случая получим из первых трёх уравнений системы (25).

Выражение (26) справедливо для $Q_{1kpi} \leq 90^\circ - \arccos((1/\Delta f_1)(\partial f_1/\partial x))$, в противном случае применяется выражение (24).

Если величина критических углов Q_{kpi} или Q_{ukpi} больше возможных углов j -х компонентов в этой плоскости

$$90^\circ - \arctg df_a/dz,$$

то отношение их в выражениях вероятности

$$Q_{kpi}/(90^\circ - \arctg df/dz) = 1,$$

Здесь $P_{3/1j}$ определяется из условия прохода j -х компонентов, прошедших пальцевую решётку с шагом пальцев S , через щель шириной b (вероятность прохода этих j -х компонентов щели шириной b без касания её рёбер).

Рассматривая процесс опускания отрезка длиной l_j на рабочую поверхность сепаратора, линейчатое решето с шагом S , примем допущение: при опускании отрезка на линейчатую решётку его центр масс перемещается в плоскости перпендикулярно поверхности линейчатой решётки и параллельно её линиям (рис. 4), занимая различные равновероятные положения в надрешётном пространстве, определяемые углами Θ и Φ .

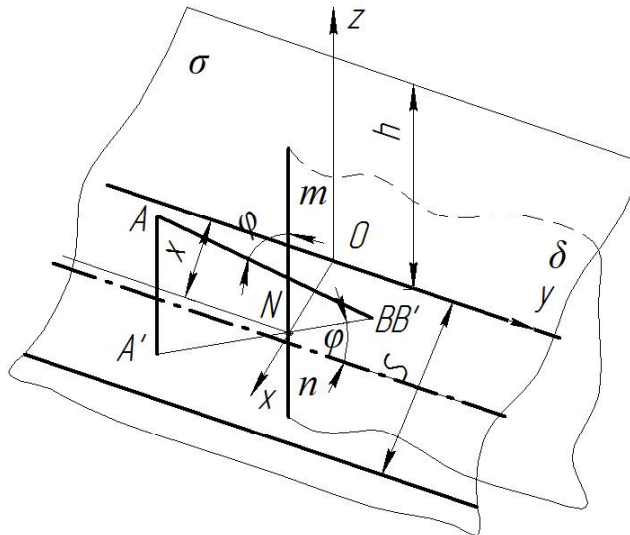


Рис. 4. Схема возможного положения отрезка AB в момент касания концом B плоскости линейчатой решётки

Для этих условий независимые друг от друга случайные величины x , Θ и Φ с равной вероятностью могут принимать значения [3]:

$$0 \leq x \leq S; \quad 0 \leq \Theta \leq \pi/2; \quad -\pi \leq \Phi \leq \pi \quad (27)$$

При этих значениях переменных отрезок длиной l_j может занимать положение в пространстве, обеспечивающее проход l_j без касания линий решета с шагом S (проход линейного решета без касания линий линейчатой решётки и проход с пересечением одной линии); непроход отрезка l_j линейчатой решётки при условии пересечения им (опускаясь центром масс в плоскости σ ; см.

рис. 4) двух и более линий. Определено [3] общее и частное выражения вероятности одного из рассматриваемых событий

$$P = \frac{1}{4\pi S} \int_{x_1}^{x_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin \Theta dx d\Theta d\varphi \quad (28)$$

При использовании выражения (28) найдена вероятность P_{2j} пересечения отрезка длиной l_j двух линий линейчатой решётки (для выражения (11)).

Для $S \leq l_j \leq 2S$

$$P_{2j} = \frac{2}{S} \int_{S/2}^{l_j/2} (1 - 2x / l_j) dx = l_j / 2S + S / 2l_j - 1 \quad (29)$$

Для $2S < l_j < \infty$

$$P_{2j} = \frac{2}{S} \int_{S/2}^{S} (1 - 2x / l_j) dx = 1 - 3S / 2l_j \quad (30)$$

Величина вероятности $P_{3/1j}$ (для выражения (13)) определится из выражения (31) в виде комбинации несовместных событий

$$P_{3/1j} = P_{1j} \left[P_{1j(1)}(b) + (1 - P_{1j(1)}(b)) P_{1j(2)}(b) \right], \quad (31)$$

где P_{1j} определяется из выражения (11), $P_{1j}(b)$ — вероятность прохода щели шириной b без касания $P_{1j(1)}(b)$ или с касанием $P_{1j(2)}(b)$ граней гофры на дне желобка j -х компонентов, прошедших пальцевое решето с шагом S .

Для $0 < l_j \leq b$ вероятность $P_{1j}(b)$ пройти в щель шириной b без касания её граней

$$P_{1j(1)}(b) = 1 - l_j / 2b; \quad (32)$$

с касанием одной грани

$$P_{1j(2)}(b) = 1 / 2b. \quad (33)$$

Для $b < l_j \leq \infty$,

$$P_{1j(1)}(b) = b / 2l_j. \quad (34)$$

Для $b < l_j \leq 2b$,

$$P_{1j(2)}(b) = b / l_j - l_j / 2b. \quad (35)$$

Для $2b < l_j \leq \infty$,

$$P_{1j(2)}(b) = b / l_j. \quad (36)$$

Для определения средней скорости V_{1j} и времени t_{uj} одного цикла при перемещении j -х компонентов по поверхности клавиши ОУСЗК рассмотрим основные закономерности их перемещения при заданной закономерности движения сепаратора (см. рис. 1).

При этом прием допущения: ширина и кинематика каждой соседней клавиши с шагом S не влияют на закономерности перемещения соломиного вороха по рассматриваемой клавише (они способствуют опусканию соломин на клавишу с равновероятным положением в пространстве); сопротивление воздушного потока в направлении перемещения соломиного вороха вдоль клавиш не учитывалось из-за малых величин этих скоростей; перемещение слоя соломиного вороха рассматривалось как перемещение материальной точки с массой m ; при движении слоя соломиного вороха в направлении к поверхности клавиш — пропорционально первой степени

проекции скорости на ось Y . При анализе закономерностей перемещения соломистого вороха по клавише используем известную методологию [4].

Для относительного перемещения соломистого вороха по клавише сепаратора, совершающего движение по окружности с радиусом R (рис. 5), величина минимальной угловой скорости кривошипа (рис. 6)

$$\omega = (a \cdot f) / 2 + \sqrt{(a \cdot f / 2)^2 - g / R (\sin \alpha - f \cos \alpha)} \quad (37)$$

где $a = k/m$, k — коэффициент пропорциональности; f — коэффициент трения соломы по поверхности клавиш.

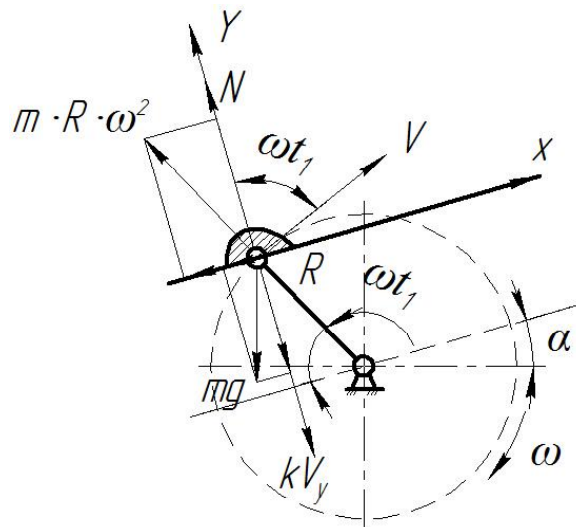


Рис. 5. Схема сил, действующих на соломистый ворох в момент отрыва его от клавиши

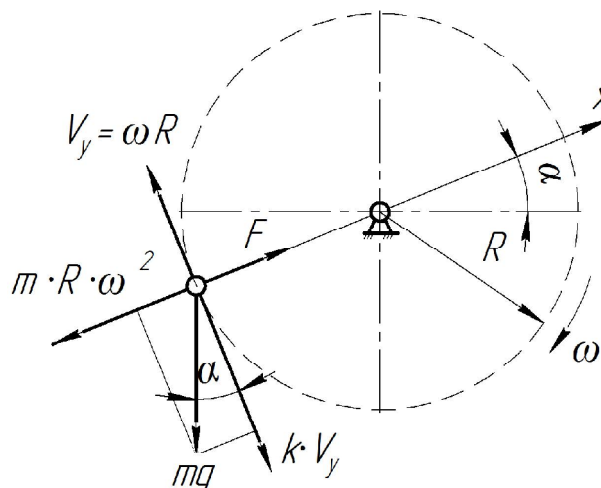


Рис. 6. Схема для определения минимальной угловой скорости кривошипа клавишного сепаратора-ориентатора

Начало отрыва соломы от клавиши определяется углом ωt_1 (рис. 5). Условия отрыва

$$\omega t_1 = \arcsin(g / (R \cdot \omega^2) \cos \alpha \cdot \cos \gamma) + \gamma \quad (38)$$

где $\gamma = \arctg n / \omega$, n — частота оборотов кривошипа привода клавиш, ω — угловая скорость приводного вала с кривошипом R .

Рассмотрим свободный полёт соломин после отрыва от клавиш (рис. 7). Оси координат X и Y совместимы с точкой O начала отрыва соломы от клавиши, тогда на стадии подъёма траектории относительного движения соломин

$$\left. \begin{aligned} x &= \omega \cdot R \cdot t \sin \omega t_1 - \left[(gt^2) / 2 \right] \sin \alpha \\ y &= (B / a^2)(1 - e^{-at}) - (g / a)t \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

где $B = a\omega \cdot R \cdot \cos \omega t_1 + g \cos \alpha$.

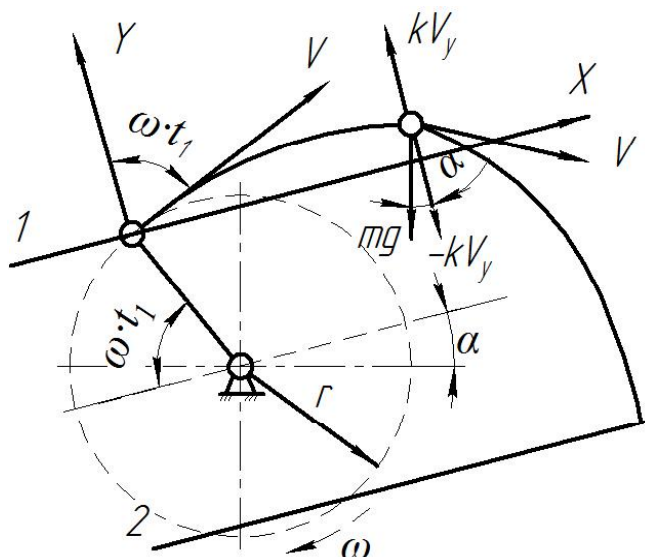


Рис. 7. Схема сил, действующих на солоmistый ворох при его полёте

Время T максимального подъёма $Y_{\max}$ при полёте солоmistого вороха

$$T = (1 / a) \ln (g / b) \cos \alpha \quad (40)$$

При опускании солоmistого вороха

$$Y = Y_{\max} - (g / a) \cos \alpha (t - T) + (g / a^2) \cos \alpha [1 - e^{-a(t-T)}], \quad (41)$$

где $Y_{\max} = (B / a^2)(1 - e^{-aT}) - (gT / a) \cdot \cos \alpha$

Координаты X перемещения соломин при опускании на клавишу определяются из выражения (39).

Для определения точки соударения соломин вороха с поверхностью клавиши необходимо совместное решение уравнения перемещения в направлении оси Y (соломин (39) или (41)) и уравнения перемещения по оси Y (система координат XOY в точке O отрыва соломин от клавиши) поверхности клавиши сепаратора:

$$Y = R \cdot \sin(\omega t_1 + \omega t) - R \cdot \sin \omega t_1 \quad (42)$$

Совместное решение уравнений (39), (41) и (42) определит время t , из уравнения (39) определится координата X соударения.

Тогда средняя скорость V_{1j} перемещения соломин по поверхности клавиш

$$V_{1j} = 1 / t_{uj}, \quad (43)$$

а среднее время t_{uj} одного цикла перемещения соломин по поверхности клавиш равно времени одного оборота кривошипа

$$t_{uj} = 2\pi / \omega. \quad (44)$$

Выражения (1)–(44) позволяют оценивать вероятности прохождения сепаратора для ориентации соломин вороха при их дискретной длине l_j . Учитывая, что длина l_j j -го компонента соломистого вороха — случайная в вероятностно-статистическом смысле величина, оценим вероятности P_{1j} (11) и $P_{2/1j}$ (12) реализации соответствующих событий при задаваемой плотности вероятности $f(l)$ длины l_j соломин.

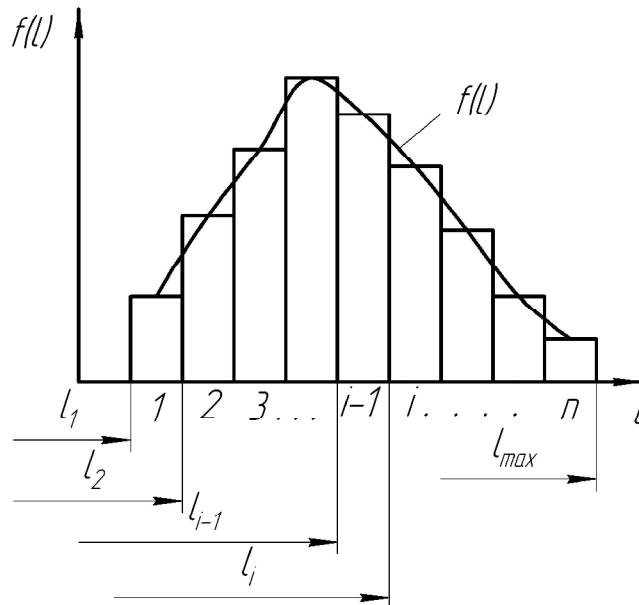


Рис. 8. Плотность вероятностей $f(l)$ случайной величины l

Для этих условий величины рассмотренных вероятностей будут иметь соответствующие для каждого среднего l_{ji} i -го класса функции $f(l)$, определяющие плотность вероятностей случайной величины $P_i(l) \cdot C_i(l_i)$ с учётом статистической вероятности $C_i(l_i)$ нахождения случайной величины l в i -м классе (рис. 9).

$$l_{ji} = (l_i - l_{i-1})/2 \quad (45)$$

$$C_i(l_i) = \int_{l_{i-1}}^{l_i} f(l) dl / \int_1^n f(l) dl \quad (46)$$

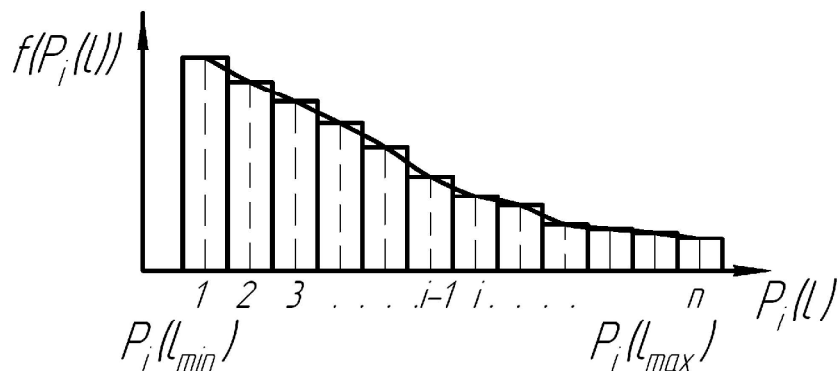


Рис. 9. Плотность вероятности случайной величины $P_i(l)$

Очевидно, что математическое ожидание величины вероятности $M[f(P_i(l))]$ определяется из выражения [5]

$$M[f(P_i(l))] = \int_{P_i(l)_{\min}}^{P_i(l)_{\max}} P_i(l) f(P_i(l)) dP_i \quad (47)$$

При наличии зависимости $f(P_i(l))$ в виде гистограммы (рис. 9)

$$M[f(P_i(l))] = \sum_{i=1}^n P_i(l) \cdot C(P_i) \quad (48)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ — число классов гистограммы; $C_i(P_i)$ — статистическая вероятность появления случайной величины $P_i(l)$ в i -м классе.

Используя выражения (47) и (48), можно оценить усреднённые величины вероятностей P_{1j} и $P_{2/1j}$ и величины полноты просеивания и продольной ориентации ε_j из выражения (7) j -х компонентов соломистого вороха на клавишах сепаратора ОУСЗК при задаваемой плотности вероятностей $f(l)$.

Для условий $V = 0,44$ м/с, $t = 0,25$ с (закономерности клавишного соломотряса), $l = 2$ м, $b = 150$ мм, $\psi = 45^\circ$ и различных длин соломин разработан алгоритм счёта и оценено влияние шага S линейчатой решётки на величину полноты просеивания ε_j j -х соломин различной длины через сепаратор-ориентатор (рис. 10), и для этих же условий, при $S = 250$ мм, — влияние длины l сепаратора-ориентатора на величину ε_j (рис. 11).

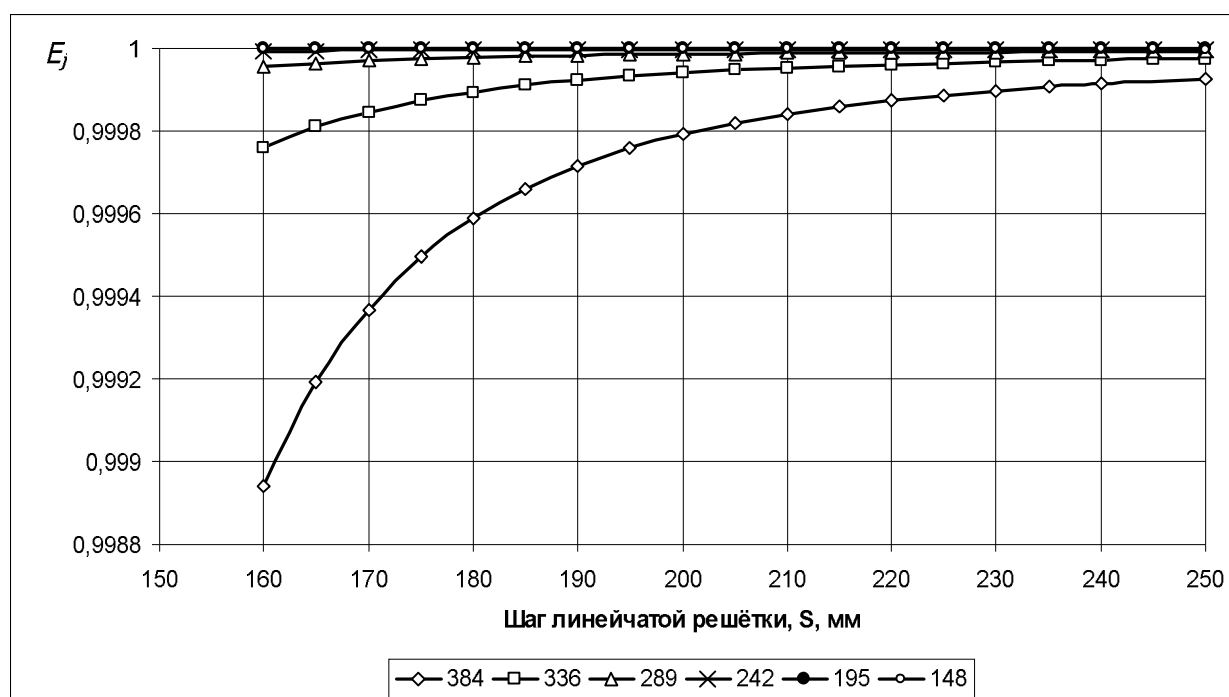


Рис. 10. Зависимость полноты просеивания ε_j j -х соломин длиной l_j через клавишный сепаратор-ориентатор ($b = 150$ мм, $\psi = 45^\circ$, $l = 2$ м) от величины шага S линейчатой решётки клавиш: $l_j = 384,17$ мм, $l_j = 336,95$ мм, $l_j = 289,73$ мм, $l_j = 242,5$ мм, $l_j = 195,28$ мм, $l_j = 148,06$ мм

Полученные закономерности $\varepsilon_j = f(S)$ и $\varepsilon_j = f(l)$ позволяют в первом приближении оценить основные геометрические параметры сепаратора-ориентатора соломистого вороха.

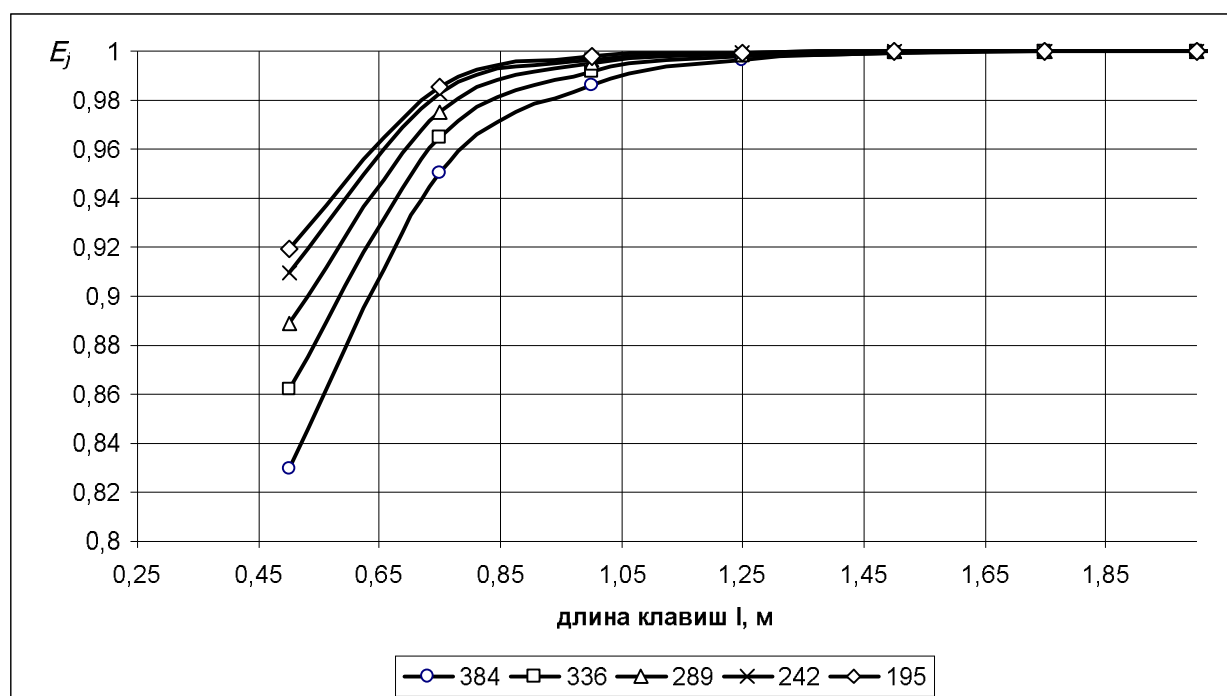


Рис. 11. Зависимость полноты просеивания ε_j j -х соломин различной длины l_j через клавишный сепаратор-ориентатор ($S = 250$ мм, $b = 150$ мм) от его длины l : $l_j = 384,17$ мм, $l_j = 336,95$ мм, $l_j = 289,73$ мм, $l_j = 242,5$ мм, $l_j = 195,28$ мм)

Выводы. Полученные стохастические выражения математической модели позволяют оценивать закономерности сепарации и ориентации соломин вороха перед их подачей на измельчитель, обеспечивая при этом условия для их качественного измельчения. Построенный алгоритм расчёта позволяет проводить параметрический синтез сепаратора-ориентатора и оценивать его основные показатели функционирования.

Библиографический список

1. Эйгер, М. И. Обоснование и исследование пальцевой решётки для высокопроизводительной очистки зернового вороха / М. И. Эйгер. — Автореферат дис. к.т.н.: 05.20.01 — Ростов-на-Дону, 1970. — 22 с.
2. Ермольев, Ю. И. Моделирование процесса сепараций сыпучих гетерогенных сред на транспортёрном скальператоре / Ю. И. Ермольев, Г. И. Лукинов, М. В. Шелков // Известия ТГУ. — Сер. Проблемы сельскохозяйственного машиностроения. — Тула, 2004. — Вып. 1. — С. 43—52.
3. Ермольев, Ю. И. Интенсификация технологических операций в воздушно-решётных зерноочистительных машинах / Ю. И. Ермольев. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 1997. — 494 с.
4. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория, расчёт) / И. А. Долгов. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. — 706 с.
5. Ермольев, Ю. И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: учебное пособие / Ю. И. Ермольев. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. — 245 с.
6. Григорьев, С. М. К теории плоских решёт / С. М. Григорьев // Записки ЛСХИ. — Ленинград; Пушкин, 1965. — Т. 96. — С. 171—188.

Материал поступил в редакцию 23.03.2012.

References

1. E`jger, M. I. Obosnovanie i issledovanie pal`cevoj reshyotki dlya vy`sokoproizvodi-tel`noj ochistki zernovogo voroxa / M. I. E`jger. — Avtoreferat dis. k.t.n.: 05.20.01 — Rostov-na-Donu, 1970. — 22 s. — In Russian.
2. Ermol`ev, Yu. I. Modelirovanie processa separacij sy`puchix geterogenny`x sred na transportyornom skal`peratore / Yu. I. Ermol`ev, G. I. Lukinov, M. V. Shelkov // Izvestiya TGU. — Ser. Problemy` sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya. — Tula, 2004. — Vy`p. 1. — S. 43—52. — In Russian.
3. Ermol`ev, Yu. I. Intensifikaciya texnologicheskix operacij v vozdušno-reshyotny`x zernoochistitel`ny`x mashinax / Yu. I. Ermol`ev. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 1997. — 494 s. — In Russian.
4. Dolgov, I. A. Uborochny`e sel`skoxozyajstvenny`e mashiny` (konstrukciya, teoriya, raschyot) / I. A. Dolgov. — Rostov-na-Donu: Izd. Centr DGTU, 2003. — 706 s. — In Russian.
5. Ermol`ev, Yu. I. Osnovy` nauchny`x issledovanij v sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii: uchebnoe posobie / Yu. I. Ermol`ev. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2003. — 245 s. — In Russian.
6. Grigor`ev, S. M. K teorii ploskix reshyot / S. M. Grigor`ev // Zapiski LSXI. — Leningrad; Pushkin, 1965. — T. 96. — S. 171—188. — In Russian.

PROBABILISTIC MODEL FOR LONGITUDINAL ORIENTATION PROCESS OF CEREAL STRAW STALKS

Y. I. Ermolyev, A. V. Butovchenko

(Don State Technical University),

S. V. Belov, R. E. Fomenko

("Donskaya Gofrotara" LLC)

A general approach to the development of the stochastic mathematical model of the longitudinal orientation process of the long strawy fractions on the special orienting device is given.

Keywords: *stochastic model, separator-tracker, strawy fractions, process factors.*