

Ю.И. ЕРМОЛЬЕВ, М.Ю. КОЧКИН, Г.И. ЛУКИНОВ, А.В. БУТОВЧЕНКО

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА
В ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ**

Приведен общий подход построения математической модели процесса фракционной очистки зерна в зерноочистительном агрегате с различными структурными схемами, синтезированы их рациональные параметры и функциональные показатели.

Ключевые слова: фракционная очистка, структурная схема, математическая модель, частные операции, система, показатели функционирования.

Введение. Существующие технологии очистки продовольственного зерна в сельском хозяйстве предусматривают последовательный пропуск всего обрабатываемого зернового материала через комплекс зерноочистительных машин в агрегате. При наличии в обрабатываемом зерновом материале примесей, которые выделяются только на триерном блоке, возникают трудности. Невысокая производительность триерного блока (5-10 т/ч) создает диспропорцию между возможностями технологического оборудования в поточной линии. Одним из путей роста производительности агрегата можно считать реализацию в нём фракционных технологий очистки зерна.

Постановка задачи: построение стохастической функциональной математической модели и моделирование процесса сепарации зерна по фракционным схемам в зерноочистительном агрегате (ЗОА).

Методы исследования: аналитические методы построения функциональной модели, моделирование на ЭВМ процессов функционирования зерноочистительного агрегата с различной структурой, многомерный анализ и параметрический синтез системы элементов в агрегате.

Построение модели. Математическую модель процесса функционирования зерноочистительного агрегата (рис.1) как замкнутой квазистатичной системы с заданной $K_{\delta M}$ -й функциональной схемой в общем виде можно записать:

$$E_{\phi\delta O} = \{F, A, G_{\delta} [k_{\delta M}(x), T_{\delta M}(x)]\} \rightarrow \max ; \quad (1)$$

$$A_i \subset \vec{A}_i, \quad F \subset \vec{F}, \quad x \in G_i(x, u); \quad (2)$$

$$e_j \leq [e_j], \quad \delta_s \leq [\delta_s]. \quad (3)$$

Здесь $\vec{F} = \vec{F}_{\text{ЗОА}}$ – вектор входных воздействий на принятую в ЗОА систему операций (см.рис.1), где Q – подача зернового материала в ЗОА; a_j, W – содержание в исходном материале j -х компонентов, их влажность; $M(b_j), \sigma^2(b_j)$ – математические ожидания и дисперсии размеров признаков разделения j -х компонентов; $f_Q(B)$ – плотность вероятности распределения подачи Q зернового материала по ширине B рабочих органов зерноочистительных машин в ЗОА; \vec{A}_i – векторы управляющих факторов элементов системы ($\vec{A}_{\text{ВРМ}}$ – воздушно-решетной машины; \vec{A}_C – скельператора; $\vec{A}_{\text{ПС}}$ – пневмосепаратора; $\vec{A}_{\text{РМ}}$ – решетного модуля, $\vec{A}_{\text{ТБ}}$ – триерного блока) (см.рис.1), где $B_{\text{П}i}, h_{\text{П}i}$ – ширина и глубина пневмосепараторов воздушно-решетной зерноочистительной машины (ВРЗОМ); V_{ei} – рабочая скорость воздушного потока; плотность вероятностей распределения подачи $f_q(B_n)$ зернового материала и воздушного потока $f_v(B_n)$ по ширине B_n пневмосепаратора; $P_{\text{СХ}}(P_i)$ – функциональные схемы решетных модулей; плотности вероятности распределения зернового материала по решет-

ным ярусам $f_{Qx}(H)$ и по ширине решет $f_{Qx}(B)$; $K_{\delta M}(x)$ – функциональная схема и параметры ВРЗОМ; D_c, V_c, n_c – диаметр, ширина и частота вращения скельператора; Γ, B, d_n – ширина, длина отверстий и диаметр проволоки скельператора; α, β, R, n – угол наклона, направленность, амплитуда и частота колебаний решет; T_i, l_i, V_i, b_i – тип i -го решета, его длина, ширина, размеры отверстий; $K_M(X)$ – функциональная схема решетного модуля. D, L, n_{TC} – соответственно диаметр, длина и частота вращения триерных цилиндров; α_{TC} – угол наклона приемного лотка, $K_{\delta T}(x)$ – функциональная схема триерных блоков. Здесь x – набор технологических операций из $G_i(x, u)$ множества, реализуемых в $K_{\delta M}$ функциональной схеме ЗОА; $G_{\delta} [K_{\delta M}(x), T_{\delta M}(x)]$ – математическая модель, определяющая показатели технологического процесса в ЗОА для принятой $K_{\delta M}(x)$ -й его схемы.

Выходные показатели функционирования ВРЗОМ (входные для триерных блоков) определяются вектором \vec{B}_{BPM} и всего агрегата – вектором $\vec{B}_{ЗОА}$, независимые аргументы которого случайные в вероятностно-статистическом смысле величины (см.рис.1), где E_{ϕ} – критерий эффективности реализации технологического процесса в ВРЗОМ или в ЗОА [1]; $\varepsilon_{bj\mu}$ – полнота выделения из зернового материала отделяемых j -х компонентов, δ_{zi}, δ_z – потери зерна на xi операции и общие; $Q_o, Q_{\phi}, Q_{ок}$ – массы выхода очищенного зерна, фуражных отходов и отходов разных категорий; содержание b_{jxi} j -х компонентов, содержащихся в зерновом материале после реализации xi -й операции; масса Q_{nxi} всех компонентов, выделенных из зернового материала после реализации xi -й операции; содержание j -го компонента в массе b_{jo} очищаемого материала и в выделяемых фракциях b_{jxi} ; полнота прохода ε_{bjxi} j -го компонента в очищаемый зерновой материал после выполнения xi -й операции.

Обоснуем математическую модель $G_{\delta} [K_{\delta M}(x), T_{\delta M}(x)]$ ЗОА. В соответствии с принципиальной схемой рассматриваемого варианта (см.рис.1) ЗОА содержит зерноочистительную машину ОЗС-50/25/10 и один или два триерных блока (ТБ) с известными функциональными связями между частными технологическими операциями, определяющими фракционную технологию очистки зернового материала [1].

Для этих условий полнота выхода ε_{bj} j -го компонента исходного зернового материала в очищенную в ЗОА фракцию зерна

$$\varepsilon_{bj} = \varepsilon_{bjc} \varepsilon_{bjnc1} \left\{ \left[(1 - \varepsilon_{j01}) \varepsilon_{j02} \sum_{c=1}^m P_c \varepsilon_{m\delta c} \right] + \left[(1 - \varepsilon_{j01}) (1 - \varepsilon_{j02}) \varepsilon_{j03} \right] \varepsilon_{bjnc2} \right\}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{bjc}, \varepsilon_{bjnc1}, \varepsilon_{bjnc2}$ – полнота выхода j -го компонента зернового материала ($j=1,2,\dots,b$) в очищенную скельператором, пневмосепаратором (ПС) ПС №1 и ПС №2 фракции зерна; $\varepsilon_{j01}, \varepsilon_{j02}, \varepsilon_{j03}$ – полнота прохода j -го компонента через первые (01), вторые (02) и третьи (03) решёта, обобщённая по четырём ярусам; P_c – вероятности поступления зернового материала, прошедшего через четыре фракционных решета ($Q_{n12}, Q_{n22}, Q_{n32}, Q_{n42}$) в каждый c -й триерный блок ($c=1,2,\dots,m$).

$$\vec{F}_{3OA} = \{Q, \alpha_j, W, M(b_j), \sigma^2(b_j), f_Q(B)\}$$

$$\vec{A}_{BPM} = \left\{ \begin{matrix} B_{\Pi_1}, h_{\Pi_1}, V_{b_1}, \\ f_Q(B_{\Pi_1}), f_V(B_{\Pi_1}), \\ P_{CX}(P_i), f_{QX}(B), \\ K_{\delta M}(X) \end{matrix} \right\}$$

$$\vec{A}_C = \left\{ \begin{matrix} D_c, B_c, n_c, \\ \Gamma, B, d_{\Pi} \end{matrix} \right\}$$

$$\vec{A}_{\Pi C_1} = \left\{ \begin{matrix} B_{\Pi_1}, h_{\Pi_1}, V_{b_1}, \\ f_q(B_{\Pi_1}), f_V(B_{\Pi_1}) \end{matrix} \right\}$$

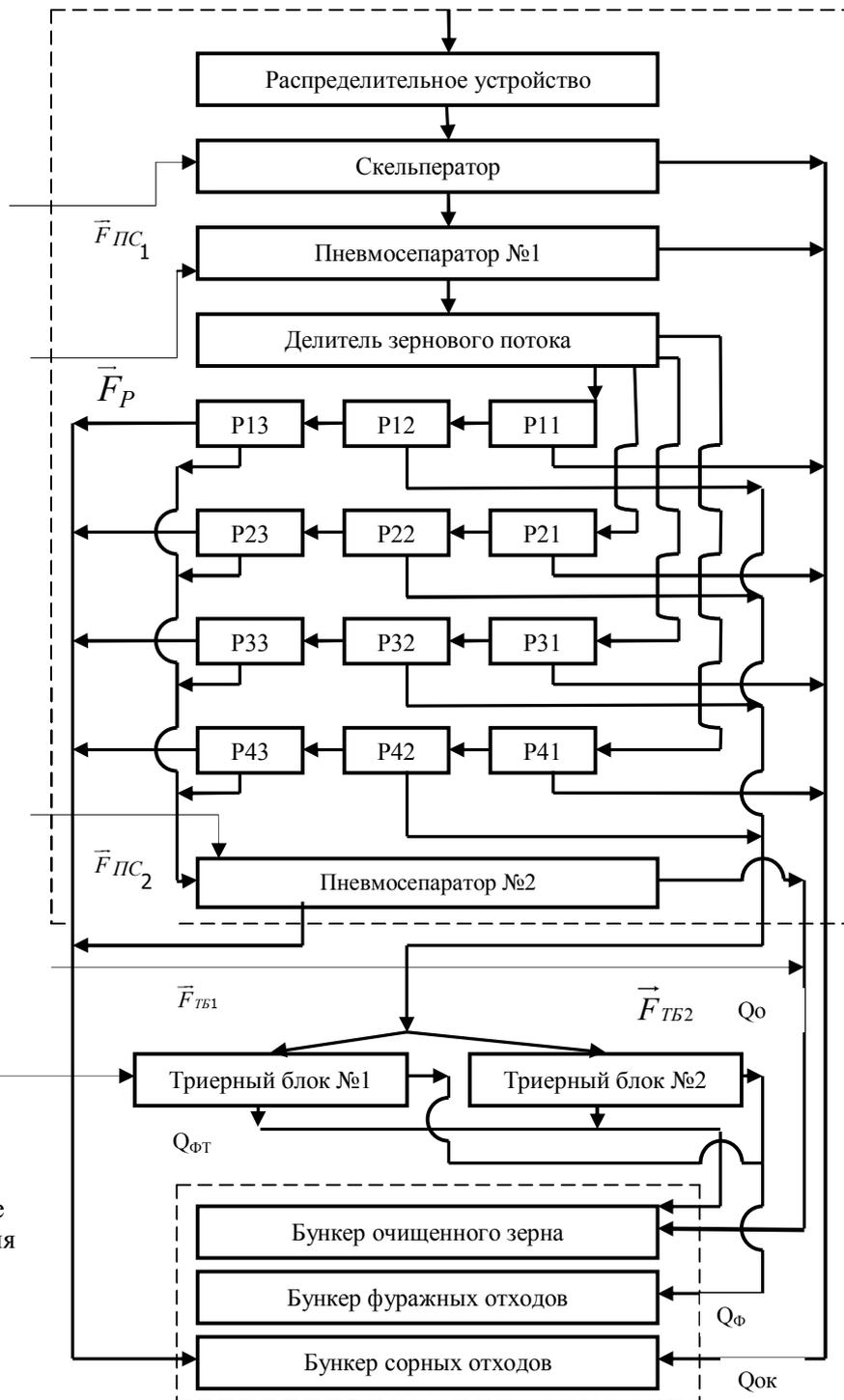
$$\vec{A}_{PM} = \left\{ \begin{matrix} \alpha, \beta, R, n, T_i, l_i, \\ B_i, b_i, K_M(X) \end{matrix} \right\}$$

$$\vec{A}_{\Pi C_2} = \left\{ \begin{matrix} B_{\Pi_2}, h_{\Pi_2}, V_{b_2}, \\ f_q(B_{\Pi_2}), f_V(B_{\Pi_2}) \end{matrix} \right\}$$

$$\vec{B}_{BPM} = \left\{ \begin{matrix} E_{\Phi}, \varepsilon_{bj\mu}, W, b_{\Pi j}, b_{jxi}, \\ \delta_3, Q_0, Q_{\Phi}, Q_{OK} \end{matrix} \right\}$$

$$\vec{A}_{TB} = \left\{ \begin{matrix} D, L, n_{\Pi C}, \\ \alpha_{\Pi C}, K_{\delta T}(X) \end{matrix} \right\}$$

Отделение
накопления
фракций
зернового
материала



$$\vec{B}_{3OA} = \{E_{\Phi}, \varepsilon_{vj\mu}, W, b_{jxi}, b_{j0}, b_{\Phi}, b_C, \delta_{zi}, \delta_3, Q_0, Q_{\Phi}, Q_{OK}, \varepsilon_{bjxi}, Q_{\Pi xi}\}$$

Рис.1. Структурная схема зерноочистительного агрегата

$$\sum_{c=1}^m P_c = 1, \text{ при } c = m = 1 \longrightarrow P_c = 1. \quad (5)$$

Полнота выделения в агрегате из исходного зернового материала сорных ($j=n\dots m$) (сход со скельператора Q_{CKC} , сход с третьих решёт $Q_{cx13}, Q_{cx23}, Q_{cx33}, Q_{cx43}$ ярусов, проход первых решёт $Q_{n11}, Q_{n21}, Q_{n31}, Q_{n41}$ выделение лёгкой фракции в ПС №1 и ПС №2 – Q_{bnc1}, Q_{bnc2}) ε_{bc} и зерновых ($j=g\dots e$) (выходы из ТБ№1 Q_{bzn1} и из ТБ№2 Q_{bzn2}) ε_{bnz} примесей:

$$\varepsilon_{bc} = \sum_{j=n}^m (1 - \varepsilon_{bj}) \cdot a_j / \sum_{j=n}^m a_j, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{bnz} = \sum_{j=z}^e (1 - \varepsilon_{bj}) \cdot a_j / \sum_{j=z}^e a_j. \quad (7)$$

Выход сорных Q_{ok} и зерновых Q_{ϕ} отходов:

$$Q_{CK} = \sum_{j=n}^m Q a_j \varepsilon_{bc}; \quad Q_{\phi} = \sum_{j=z}^e Q a_j \varepsilon_{bnz}. \quad (8)$$

Подача зерновых фракций в триерные блоки Q_{TB} и содержание в них j -х компонентов b_{jTB} :

$$Q_{TB} = \sum_{j=1}^b Q a_j \varepsilon_{bjc} \varepsilon_{bjnc} 1 (1 - \varepsilon_{j01}) \varepsilon_{j02}, \quad (9)$$

$$b_{jTB} = Q a_j \varepsilon_{bjc} \varepsilon_{bjnc} 1 (1 - \varepsilon_{j01}) \varepsilon_{j02} / Q_{TB}. \quad (10)$$

Проход зерновой фракции через третьи решёта решётных ярусов Q_{n03} и содержание в ней j -х компонентов b_{j03} (зерновая фракция, поступающая в ПС №2 ВРЗОМ):

$$Q_{n03} = \sum_{j=1}^b \left[Q a_j \varepsilon_{bjc} \varepsilon_{bjnc} 1 (1 - \varepsilon_{j01}) (1 - \varepsilon_{j02}) \varepsilon_{j03} \right], \quad (11)$$

$$b_{j03} = \left[Q a_j \varepsilon_{bjc} \varepsilon_{bjnc} 1 (1 - \varepsilon_{j01}) (1 - \varepsilon_{j02}) \varepsilon_{j03} \right] / Q_{n03}. \quad (12)$$

Выход очищенной в ВРЗОМ фракции зерна Q_{bnc2} (проход третьих решёт в ярусах $Q_{n13}, Q_{n23}, Q_{n33}, Q_{n43}$ и их пневмосепарация в ПС №2) и содержание в нём j -х компонентов b_{jzo} :

$$Q_{bnc2} = \sum_{j=1}^b \left[Q a_j \varepsilon_{bjc} \varepsilon_{bjnc} 1 (1 - \varepsilon_{j01}) (1 - \varepsilon_{j02}) \varepsilon_{j03} \varepsilon_{bjnc2} \right], \quad (13)$$

$$b_{jzo} = \left[Q a_j \varepsilon_{bjc} \varepsilon_{bjnc} 1 (1 - \varepsilon_{j01}) (1 - \varepsilon_{j02}) \varepsilon_{j03} \varepsilon_{bjnc2} \right] / Q_{bnc2}. \quad (14)$$

Выход очищенного в триерных блоках зерна Q_o и содержание в нём j -х компонентов b_{jo} :

$$Q_o = \sum_{j=1}^b Q a_j \varepsilon_{bj}; \quad b_{jo} = Q a_j \varepsilon_{bj} / Q_o. \quad (15)$$

Для операции распределения зернового материала по ширине скельператора распределительного устройства (см.рис.1) очевидно, что $\varepsilon_{bjPY} = 1$. Воздействие этой операции на последующую определится плотностью вероятности $f_Q(B)$ распределения подачи Q зернового материала по ширине B скельператора и последующих рабочих элементов в ВРЗОМ.

Проход зернового материала через скельператор $Q_{ПС}$ - подача его в ПС №1 определится из выражения

$$Q_{ПС} = \sum_{j=1}^b Q_{aj} \varepsilon_{bjc} \quad (16)$$

В первом приближении (по результатам эксперимента) полнота прохода крупных примесей $\varepsilon_{бкпс} \approx 0,2 - 0,8\%$, для остальных j -х компонентов $\varepsilon_{bjc} = 1$. Рассмотрим процесс пневмосепарации зернового материала в пневмоканале (ПК) шириной B и глубиной S (рис.2) с подачей

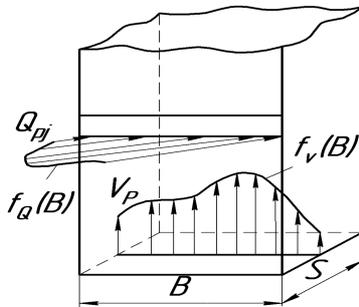


Рис. 2. Схема пневмоканала сепаратора

$Q_{ПС}$ в него зернового материала с известной или задаваемой плотностью вероятностей $f_Q(B)$ распределения этой подачи по ширине бокового ввода в ПК и плотностью вероятности $f_v(B)$ распределения средних по сечению пневмоканала скоростей воздушного потока.

Для этих условий полнота прохода j -го компонента ($j=1,2,...b$) зернового материала в очищенную на этой частной операции фракцию [2]

$$\varepsilon_{bjпс} = \frac{\sum_{p=1}^e Q_p \varepsilon_{pj}(Q_p, V_p)}{B \cdot Q_{ПС} e} m_{js} \cdot m_{jw}, \text{ здесь } K = B/e, \quad (17)$$

где m_{jB}, m_{jW} - коэффициенты изменения величины $\varepsilon_{bjПС}$ от изменения глубины S пневмоканала и влажности W зерна [1]. Количество зернового материала Q_p , попадающего на каждый p -й участок ($p=1,2,...,e$) k -й ширины рабочего органа:

$$V_p = \frac{B \cdot V}{k} \cdot \frac{\int_{p-1}^p f_v(B) dB}{\int_{p=1}^e f_v(B) dB},$$

а средняя скорость воздушного потока на p -м участке:

$$Q_p = \frac{B \cdot Q_{ПС}}{k} \cdot \frac{\int_{p-1}^p f_Q(B) dB}{\int_{p=1}^e f_Q(B) dB}, \quad (18)$$

здесь $\varepsilon_{pj}(Q_p, V_p)$ - полнота выхода в очищенное пневмосепаратором зерно j -го компонента зернового материала с p -го участка ширины пневмоканала ($p = 1, 2, \dots, e$) определится из известных выражений [1;3] при $Q = Q_p$ и $V = V_p$.

Выход $Q_{ПС}$ очищенного в пневмосепараторе зерна определится из выражения

$$Q_{ПС} = \sum_{j=1}^b Q_{ПС} a_{jПС} \varepsilon_{bjПС}, \quad (19)$$

где $a_{jПС}$ - содержание j -го компонента в зерновой фракции $Q_{ПС}$.

Содержание сорных примесей $b_{СПС}$ в очищенном зерне

$$b_{СПС} = \sum_{j=n}^m a_j \varepsilon_{bjПС} / \left(\sum_{j=1}^b a_j \varepsilon_{bjПС} \right), \quad (20)$$

полнота выделения пневмосепаратора в отходы сорных примесей

$$\varepsilon_{bСПС} = \sum_{j=n}^m \left[a_j (1 - \varepsilon_{bjПС}) \right] / \sum_{j=n}^m a_j, \quad (21)$$

содержание j -х компонентов в очищенном пневмосепаратором зерне

$$b_{jПС} = a_j \varepsilon_{bjПС} / \left(\sum_{j=1}^b a_j \varepsilon_{bjПС} \right), \quad (22)$$

полнота выделения j -го компонента из зернового материала в пневмосепараторе

$$\varepsilon_{jПС} = (1 - \varepsilon_{bjПС}), \quad (23)$$

содержание $b_{jЛ}$ j -го компонента зернового материала в легких отходах

$$b_{jЛ} = a_j (1 - \varepsilon_{bjПС}) / \left(\sum_{j=1}^b a_j (1 - \varepsilon_{bjПС}) \right), \quad (24)$$

масса $Q_{bПС}$ выделенных в пневмосепараторе отходов

$$Q_{bПС} = \sum_{j=1}^b Q a_j (1 - \varepsilon_{bjПС}). \quad (25)$$

Входное воздействие на рассматриваемый решетный модуль (см.рис.1) выражается вектором \vec{F}_p , независимые аргументы которого – случайные в вероятностно-статистическом смысле величины:

$$\vec{F}_p = \left[Q_{PM}, b_{jПС}, W, M(b_j), \sigma^2(b_j), f_Q(B_i), f_Q(H), f(l_i) \right]. \quad (26)$$

Активные средства, определяющие эффективность функционирования решетного модуля, определялись вектором \vec{A}_{PM} (см.рис.1), где Q_{PM} - подача зернового материала $Q_{PM} = Q_{ПС}$; $f_{\delta Q}(B_i)$, $f_Q(H)$ - плотность вероятности распределения j -го компонента по ширине B_i i -го решета в δ -м ярусе и по высоте H ярусов в решетном модуле; $f(l_i)$ - закономерность поступления зернового материала на решета.

С учетом известной гипотезы об аддитивности процесса сепарации сыпучего материала на p -х участках ширины решетных ярусов полнота просеивания j -го компонента на i -м решете ($i=1,2,3$) δ -го решетного яруса ($\delta=1,2,\dots,4$ для ВРМ ОЗС-50/25/10) определится известным выражением [3].

При известных $f_Q(H)$ и $f_{\delta Q}(B)$

$$\varepsilon_{\delta ij} = \frac{\sum_{p=1}^e Q \cdot \frac{\int_{r=1}^r f_Q(H) dH}{\int_{r=1}^r f_Q(H) dH} \cdot \frac{\int_{l=1}^l f_{\delta Q}(B) dB}{\int_{l=1}^l f_{\delta Q}(B) dB} \cdot b_{jPC} \cdot \varepsilon_{\delta ij p} (q_{\delta p})}{\sum_j q_{\delta} \cdot a_j}, \quad (27)$$

где $\varepsilon_{\delta ij p}$ - полнота просеивания j -го компонента зернового материала на p -м участке ширины i -го решета на δ -м решётном ярусе (см.рис.1) при подаче $q_{\delta p}$ на этот p -й участок.

Для первых решёт ярусов (P11 или P21, или P31, или P41) $\varepsilon_{\delta 1 j p} = \varepsilon_{\delta 1 j}$; для вторых решёт в ярусах (P12 или P22, или P32, или P42) $\varepsilon_{\delta 2 j p} = (1 - \varepsilon_{\delta 1 j}) \varepsilon_{\delta 2 j}$; для третьих решёт в ярусах (P13 или P23, или P33, или P43) $\varepsilon_{\delta 3 j p} = (1 - \varepsilon_{\delta 1 j})(1 - \varepsilon_{\delta 2 j}) \varepsilon_{\delta 3 j}$. При этом подача зернового материала на δ -й решетный ярус

$$q_{\delta} = Q_{PM} \cdot P_{GQ} \cdot \kappa, \quad (28)$$

здесь P_{GQ} - вероятность попадания случайной величины Q_{PM} на δ -й решетный ярус; $\varepsilon_{\delta ij}$ - определится из различных выражений [1] в зависимости от многих факторов:

$$\varepsilon_{\delta ij p} (q_{\delta p}) = f(Q, a_j, W, \gamma, f_j, L_{\delta i}, d_i, \alpha_i, \beta_i, R_i, N_i, n), \quad (29)$$

где f_j, γ - вид сыпучего материала (зерно, семена трав и др.) и его плотность; $L_{\delta i}$ - длина i -го решета δ -го решётного яруса; $d_{\delta i}$ - рабочий размер отверстий i -го решета δ -го яруса; $\alpha_{\delta i}, \beta_{\delta i}, R_{\delta i}, N_{\delta i}$ - угол наклона к горизонту, направленность, амплитуда и частота колебаний i -го решета в δ -м ярусе; n - количество решет в ярусе.

При известной полноте просеивания $\varepsilon_{\delta ij}$ j -го компонента на отдельных решётах яруса решет ($\delta = 1, 2, \dots, k$) суммарная полнота просеивания j -го компонента на i -х решётах всех 4-х ярусов решетного модуля определится из выражения [3]

$$\varepsilon_{j0i} = \frac{\sum_{\delta=1}^4 q_{\delta} \cdot a_{\delta j} \cdot \varepsilon_{\delta ij}}{Q_{PM} \cdot b_{jPC} \cdot k}, \quad (30)$$

где $a_{\delta j}$ - содержание j -го компонента в сыпучем материале, поступающем на δ -й решетный ярус.

Полнота прохода ε_{bjPC2} j -го компонента в зерновую фракцию Q_{bPC2} , очищенную ПС №2 (см.рис.1), определится из выражения (17) при замене Q_{PC} на $Q_{П03}$ из выражения (11), а a_j на b_{j03} - из выражения (12) с соответствующими вероятностными характеристиками $f_Q(B)$ и $f_V(B)$ ПС №2. Показатели процесса пневмосепарации зерновой фракции $Q_{П03}$ определяются для этих условий из выражений (18)-(25).

Приведенные математические модели частных технологических операций и всей системы операций с учетом их адекватности [1] известной модели $\varepsilon_{ТБС}$ процесса сепарации зернового материала в триерные блоки (ТБ) позволили разработать программу для ЭВМ, использующую метод нелинейного программирования для параметрического синтеза системы рассматриваемых частных операций, технических средств для их реализации и оценки рациональных функциональных показателей различных структур зерноочистительного агрегата.

Моделирование процесса сепарации по фракционным схемам. Для реализации поставленных задач исследований с использованием методов математического моделирования и выбранного критерия оптимизации E_{ϕ} рассмотрены две фракционные схемы ЗОА. Схема №1 состоит из двух норий НПЗ-25, зерноочистительной машины с размерами отверстий решёт: первое решето $\square 1,7$; второе решето фракционное с вариантами рабочих размеров отверстий: $\square 2,2$; $\square 2,4$; $\square 2,6$; $\square 2,8$; $\square 3,0$; третье – $\square 3,4$ и триерного блока ЗАВ 10.90000 (укомплектованного двумя кукольными цилиндрами) (рис.3).

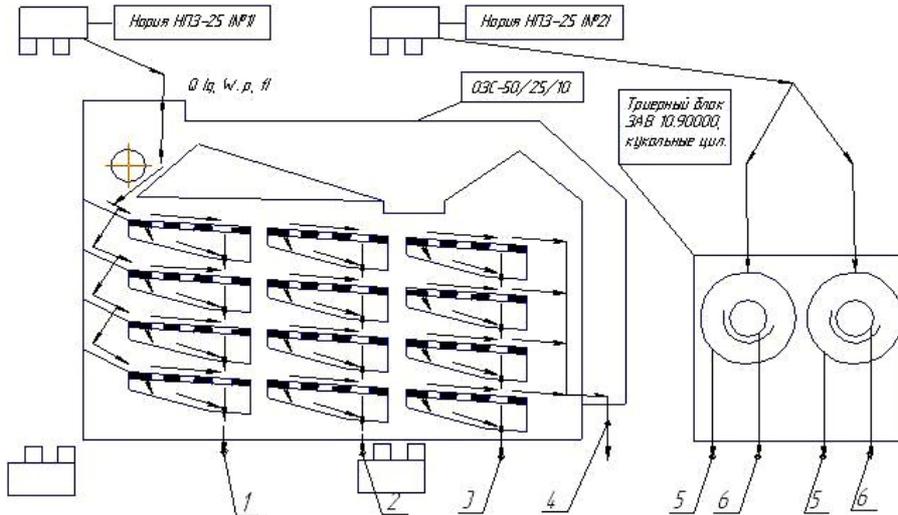


Рис.3. Схема №1 (фракционная, ярус вторых решет-фракционеров с вариантами размеров отверстий: $\square 2,2$; $\square 2,4$; $\square 2,6$; $\square 2,8$; $\square 3,0$): Q – поток обрабатываемого материала; 1 – мелкие сорные примеси; 2 – фуражные отходы и мелкое зерно; 3 – крупные примеси; 4 – очищенное зерно (ВРЗОМ); 5 – мелкое очищенное зерно (ТБ); 6 – короткие примеси (ТБ)

Схема №2 состоит из двух норий НПЗ-25, зерноочистительной машины ОЗС-50/25/10, ярусы решет которой имеют размеры отверстий: первое решето $\square 1,7$; второе решето фракционное с вариантами рабочих размеров отверстий: $\square 2,2$; $\square 2,4$; $\square 2,6$; $\square 2,8$; $\square 3,0$; третье – $\square 3,4$ и двух триерных блоков ЗАВ 10.90000(укомплектованных двумя кукольными цилиндрами каждый) (рис.4).

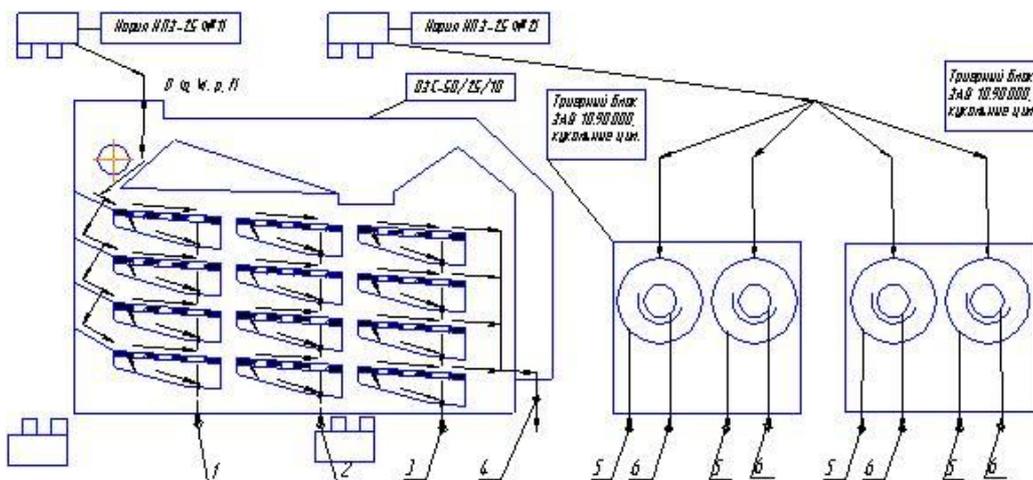


Рис.4. Схема №2 (фракционная, ярус вторых решет-фракционеров с вариантами размеров отверстий: $\square 2,2$; $\square 2,4$; $\square 2,6$; $\square 2,8$; $\square 3,0$): Q – поток обрабатываемого материала; 1 – мелкие сорные примеси; 2 – фуражные отходы и мелкое зерно; 3 – крупные примеси; 4 – очищенное зерно (ВРЗОМ); 5 – мелкое очищенное зерно (ТБ); 6 – короткие примеси (ТБ)

За исходный зерновой материал взята пшеница, поступающая для первичной очистки в ЗОА после уборки комбайном с усредненным (ЮФО, Ростовская область) содержанием основных компонентов: зерно пшеницы (0,886), зерновые примеси (0,040), мелкие сорные примеси (0,010), солома (0,005), соломистые примеси (0,003), крупные примеси (0,040), овсюг (0,001), дробленое зерно (0,015). Состав зернового материала изменялся в следующих интервалах: зерновые примеси {0,025;0,04;0,06;0,08}. Подача зернового материала в ЗОА варьировалась при функционировании по всем схемам {6;9;12;15;18;21}т/ч.

Построены алгоритмы и программы для ПК, проведен многомерный анализ и параметрический синтез отдельных сепараторов и всего ЗОА, определены основные его показатели функционирования (полнота выделения j -го компонента из зернового материала (E_j), чистота очищенного зерна (A), содержание сорных (B_c) и зерновых (B_z) примесей в очищенном зерне пшеницы и потери (Π) зерна пшеницы в отходы для двух схем функционирования ЗОА.

Проведена оценка ограничения производительности ЗОА, функционирующего по технологическим схемам №1 и №2, согласно агротребованиям по ГОСТ 9353-90 (рис.5).

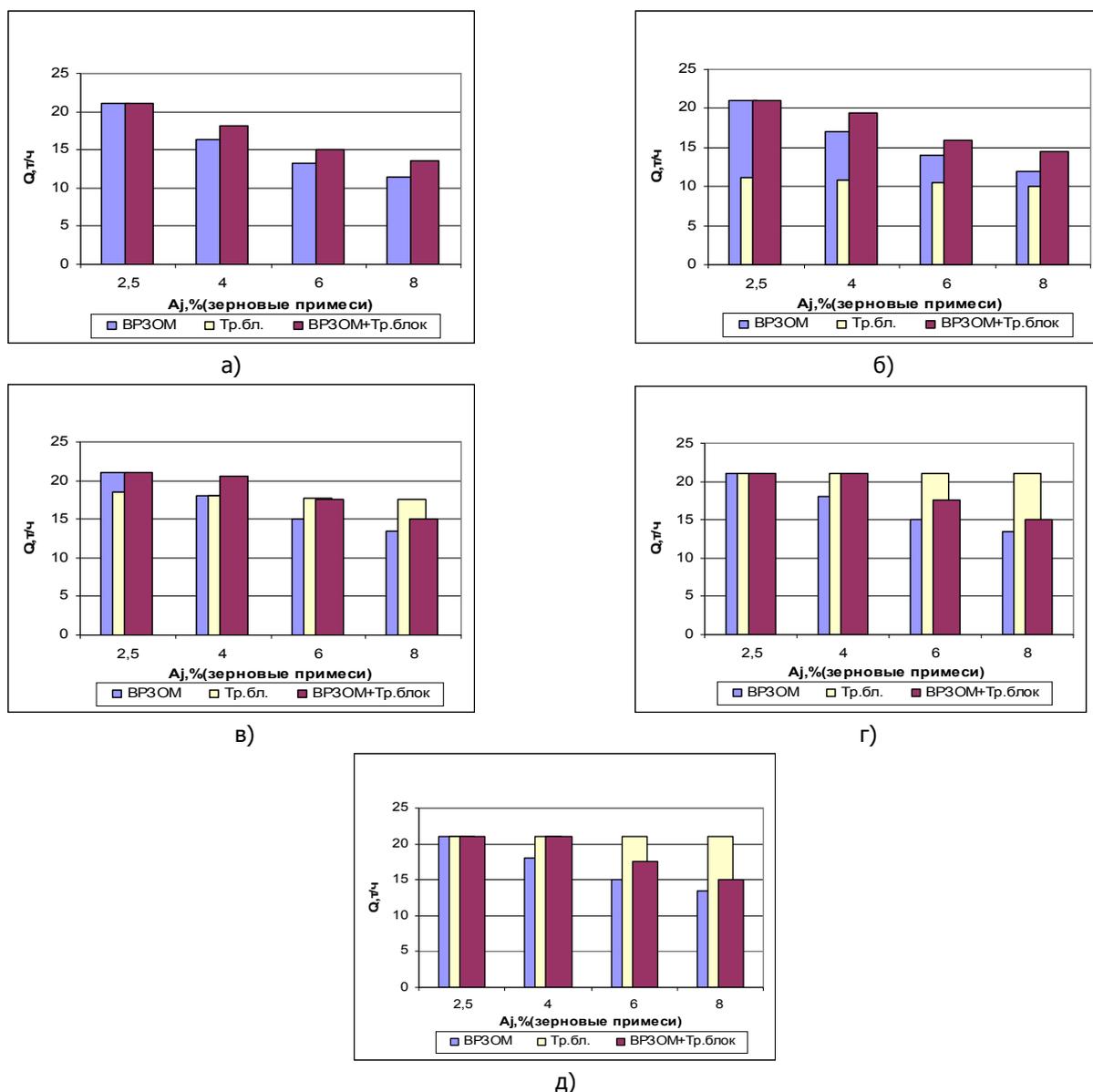


Рис.5. Изменение производительности Q агрегата при функционировании ЗОА по схемам №1 и №2 с вариантами размеров отверстий 2-го в ярусах решета-фракционера: 2,2мм – а), 2,4мм – б), 2,6мм – в), 2,8мм – г), 3,0мм – д)

Фракционные схемы №1 и №2 близки по функциональным характеристикам, потому что увеличение количества триерных блоков до двух не влияет на показатели очистки зерна пшеницы. Так как количество очищенного в триерном блоке зерна колеблется на уровне 10% (6,04-12,46%) от общего количества очищенного в ЗОА зерна, увеличение размера ячейки решета-фракционера с 2,2 мм до 3,0 мм облегчает работу ВРЗОМ ОЗС-50/25/10, несущественно нагружая триерный блок (см.рис.5).

Результаты моделирования и их обсуждение. Проведенное моделирование процессов фракционирования с применением триерных блоков при первичной очистке зерна пшеницы показало, что при варианте размера отверстий фракционного решета $\square 2,2$ мм кукольные цилиндры триерного блока не обеспечивают качественного выделения сорных примесей (содержание сорных примесей в очищенном зерне превышает 1%, $B_{СИ} = 1,05-2,55\%$). При содержании в исходном зерновом материале зерновых примесей 8% производительность ЗОА снижается до 13,5-15т/ч (варианты размеров отверстий решёт фракционеров 2,2- 3,0 мм, схемы №1, 2 соответственно).

Фракционную схему №1 целесообразно применять при содержании в исходном зерновом материале зерновых примесей не более 4-5%.

Выводы. Математическое моделирование позволило с использованием методов анализа и параметрического синтеза выявить, что фракционная схема №1 с одним триерным блоком предпочтительней схемы №2 с двумя триерными блоками при исходной подаче зернового материала от 6 до 21 т/ч. Применение дополнительного триерного блока фактически не влияет на основные функциональные показатели. При варианте размеров отверстий решета-фракционера 2,6 мм функционирование ЗОА стабилизируется, и дальнейшее увеличение размеров отверстий существенно не влияет на изменение производительности ЗОА. Эффективность использования фракционной схемы с применением триера определится экономическим анализом функционирования ЗОА с различными структурами.

Библиографический список

1. Ермольев Ю.И. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна воздушно-решетными зерноочистительными машинами и агрегатами: дис... д-ра техн. наук. – Ростов н/Д, 1990. – С. 300.
2. Ермольев Ю.И. Тенденции и перспективы развития технологий и технических средств для семенной очистки зерна / Ю.И. Ермольев, М.В. Шелков, М.Н. Московский // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Технические науки». – Ростов н/Д, 2005. – С.112-119.
3. Ермольев Ю.И. Моделирование процесса сепарации зерна в воздушно-решётной зерноочистительной машине/ Ю.И. Ермольев, М.В. Шелков // Научные основы решения проблем сельскохозяйственного машиностроения: сб. науч. тр. / Изд. Тул. ГУ. – Тула, 2003. – С. 86-95.

Материал поступил в редакцию 26.02.10.

Y.I. ERMOLYEV, M.Y. KOCHKIN, G.I. LUKINOV, A.V. BUTOVCHENKO

FRACTIONAL GRAIN SEPARATION PROCESS MODELING IN THE GRAIN CLEANING AGGREGATE

A general approach to the mathematical modelling of the grain fractional cleaning process in the grain cleaning aggregate with different function charts is given. Its rational characteristics and functional values are synthesized.

Key words: fractional cleaning, functional chart, mathematical model, local operations, system, functioning values.

ЕРМОЛЬЕВ Юрий Иванович (р. 1943), доктор технических наук (1991), профессор (1992), заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины и оборудование» ДГТУ. Окончил РИСХМ (1969).

Область научных интересов: решение проблемы системной сепарации сыпучих гетерогенных сред сельскохозяйственного назначения, направленной на создание новых современных технологий и технических средств для поточной сепарации зерновых и других сельхозматериалов.

Имеет более 200 публикаций.

КОЧКИН Максим Юрьевич (р. 1981), аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и оборудование» ДГТУ. Окончил ДГТУ (2004).

Область научных интересов: сепарация сыпучих сред.

Имеет 11 публикаций.

ЛУКИНОВ Георгий Ильич (р. 1937), директор Ростовской государственной МИС, кандидат технических наук (2007). Окончил Московский институт пищевой промышленности (1965).

Область научных интересов: очистка, хранение, оценка качества зерновых и продуктов их переработки.

Имеет 25 публикаций.

БУТОВЧЕНКО Андрей Владимирович (р. 1982), старший преподаватель кафедры «Сельскохозяйственные машины и оборудование», кандидат технических наук (2009). Окончил ДГТУ (2004).

Область научных интересов: современные технологии очистки сельскохозяйственных материалов.

Имеет 35 публикаций.