

**Моделирование процесса сепарации измельчённого соломистого вороха
в пневмосепараторе с двумя пневмоканалами***

Ю. И. Ермольев, С. В. Белов, И. А. Иващенко, Р. Е. Фоменко

Описывается функциональная схема пневмосепаратора, имеющего в своём составе два пневмоканала с известными характеристиками воздушного потока. Каждый пневмоканал для расчёта разбит на участки с различными вероятностными характеристиками распределения скоростей воздушного потока, различным фракционным составом и скоростями витания каждого компонента. Определены математические выражения усредняющие показатели пневмосепарации по всей ширине последовательно функционирующих двух пневмоканалов. Построена стохастическая квазистатичная математическая модель процесса функционирования пневмосепаратора с двумя пневмоканалами. Проведено моделирование процесса пневмосепарации при заданных технологических характеристиках компонентов вороха, их долевого содержания в ворохе и структуры воздушного потока, поступающего в пневмоканалы. Приведены результаты параметрического синтеза пневмосепаратора, технологические показатели его функционирования, показаны долевые составляющие компонентов вороха и их массовые показатели в каждой выделенной фракции, установлена возможность пневмосепарации измельчённого соломистого вороха на задаваемые фракции при производительности 0,689 кг/(м·с).

Ключевые слова: пневмосепаратор, математическая модель, измельчённый соломистый ворох, моделирование, результаты сепарации.

Введение. Использование измельчённой соломы для её дальнейшей технологической обработки и получения из неё целлюлозного полуфабриката требует ограничений её длины в основной массе в пределах 30–50 мм. Эти требования ставят задачу по сепарации измельчённой соломы из исходной измельчённой соломистой массы с известным фракционным составом и технологическими свойствами компонентов (табл. 1–2). Анализ этих технологических свойств позволил принять гипотезу о возможной сепарации этого вороха в пневмосепараторе с одним или несколькими вертикальными пневмоканалами с выделением соломистой фракции [1].

При многомерном анализе этой технологической операции необходимо учесть вероятностные характеристики ввода компонентов гетерогенного соломистого вороха в вертикальные пневмоканалы и вероятностные характеристики распределения скоростей воздушного потока по ширине B пневмоканалов [1–9].

Постановка задачи: построение стохастической функциональной математической модели и моделирование процесса сепарации измельчённого соломистого вороха в пневмосепараторе с 2 пневмоканалами.

Методы исследований: аналитические методы построения функциональной модели, моделирование на ЭВМ процесса функционирования пневмосепаратора, многомерный анализ показателей сепарации.

Построение модели. В качестве исходного вороха взят измельчённый на специальном стенде соломистый ворох из тюков соломы, полученных после зерноуборочного комбайна с предварительной настройкой измельчающего устройства для длины резки соломы 40мм. Состав вороха и его характеристики представлены в табл. 1–2.

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

Объект исследования — процесс сепарации соломистого вороха в пневмосепараторе с двумя вертикальными пневмоканалами с нагнетательным воздушным потоком (рис. 1, 2). Вероятностные характеристики скоростей воздушного потока приведены на рис. 2, б [10].

Для учёта вероятностных характеристик $f(B)$, $f_Q(B)$ условно разделим каждый пневмоканал по ширине B на равные участки ($P = 1, 2, \dots, e$) (рис. 2, а). Количество e участков определяется из условий точности расчётных показателей процесса пневмосепарации в зависимости от числа e .

Для этих условий оценивается сепарация зернового вороха на каждом p -м участке при соответствующей на нём средней V_p скорости воздушного потока, средней подачи Q_p на него зернового вороха с известными вероятностными характеристиками $f(V_j)$ его j -х компонентов постоянными для каждого p -го участка [1].

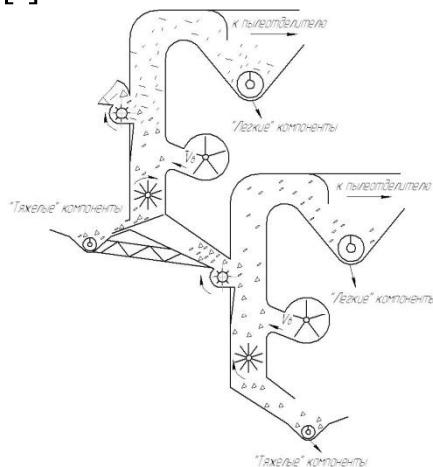


Рис. 1. Схема пневмосепараторов с двумя пневмоканалами

На первом этапе исследований использовались вертикальные пневмоканалы с параметрами $B = 1\text{ м}$, с нагнетательным воздушным потоком, формируемым центробежным вентилятором [10] с известной вероятностью $f(B)$ распределения скоростей воздушного потока по ширине B пневмоканалов (рис. 2). Плотность вероятности распределения $f_Q(B)$ принята в виде нормально-го закона

$$f_Q(B) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma_Q} \cdot e^{-\frac{(Q - m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}}, \quad (1)$$

где Q — случайная величина подачи соломистого вороха на интервале О — Б, матожидание случайной величины $m_Q = 2,27 \text{ т/(м} \cdot \text{час)}$, дисперсия $\sigma_Q^2 = 1,838 \left[\text{кг} / \text{м} \cdot \text{с} \right]^2$ (по результатам стендовых испытаний).

Плотности вероятностей скоростей витания j -х компонентов постоянны на каждом p -м участке ширины пневмоканалов и соответствуют найденным $f(V_j)$ (рис. 2, а) [1].

Из [3, 4] известно, что при заданных вероятностных характеристиках процесса сепарации соломистого вороха на p -х участках по ширине пневмоканала при известных показателях полноты выделения j -го компонента в тяжёлую фракцию ε_{pj} на p -м участке, математическое ожидание полноты выделения j -го компонента в «тяжёлую» фракцию соломистого вороха определяется выражением

$$\varepsilon_{\sum \eta_j} = \frac{\sum_{p=1}^e Q_p \cdot \varepsilon_{\eta_j} \cdot (Q_p, V_p, f_{v_j})}{Q \cdot e}, \quad (2)$$

где Q_p — подача соломистого вороха на p -й участок ширины B пневмоканала.

$$Q_p = \frac{B \cdot Q}{K} \cdot \frac{\int_{p-1}^p f_Q(B) dB}{\int_p^e f_Q(B) dB}; \quad (3)$$

$$K = \frac{B}{e}. \quad (4)$$

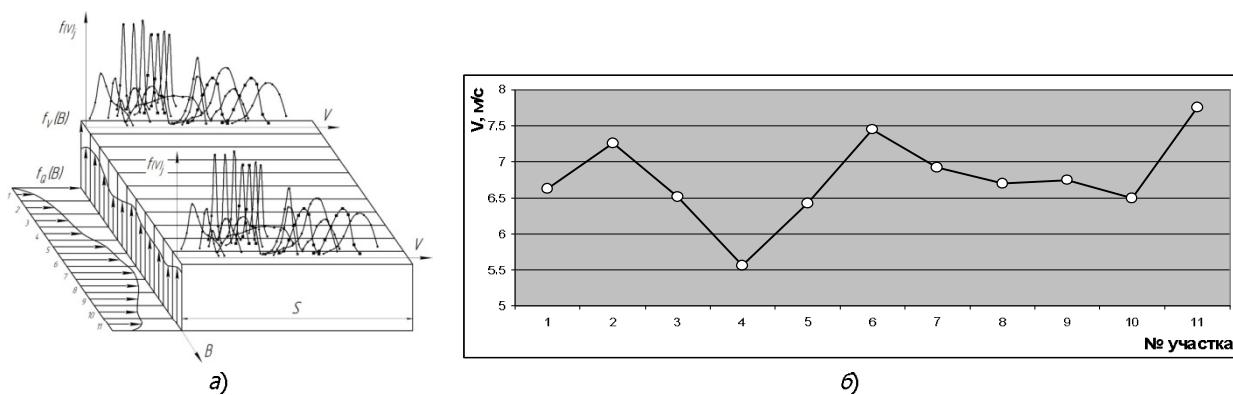


Рис. 2. Вероятностные характеристики распределения скоростей воздушного потока $f_V(B)$, подачи соломистого вороха $f_Q(B)$ по ширине B пневмоканала и плотности вероятностей $f(V)$; распределения скоростей витания компонентов соломистого вороха на участках 1, 2, ..., e ширины пневмоканала (а), пример среднего по глубине вертикального пневмоканала распределения скоростей воздушного потока (б)

Для оценки показателей функционирования вертикального пневмоканала приняты следующие выражения.

Полнота выделения (унос) j -го компонента в «лёгкую» фракцию

$$\varepsilon_{bj} = \left(1 - \varepsilon_{\sum \eta_j}\right). \quad (5)$$

Величина и долевое содержание j -го компонента в выделенной «лёгкой» фракции

$$q_{ja} = Q \cdot a_j \left(1 - \varepsilon_{\sum \eta_j}\right); b_{ja} = \frac{a_j \cdot \left(1 - \varepsilon_{\sum \eta_j}\right)}{\sum_{j=1}^b [a_j \cdot \left(1 - \varepsilon_{\sum \eta_j}\right)]}. \quad (6)$$

V_p — средняя скорость воздушного потока на p -м участке ширины пневмоканала.

Величина и долевое содержание j -го компонента в «тяжёлой» фракции

$$q_{ja} = Q \cdot a_j \cdot \varepsilon_{\sum \eta_j}; b_j = \frac{a_j \cdot \varepsilon_{\sum \eta_j}}{\sum_{j=1}^b a_j \cdot \varepsilon_{\sum \eta_j}}. \quad (7)$$

Величины и долевое содержание соломистых $b_{j, \text{сол}}$ (для различных средних длин / соломин), зерновых $b_{j, \text{зерн}}$ и сорных $b_{j, \text{сорн}}$ примесей в выделенной «тяжёлой» фракции

$$b_{l,col.} = \frac{\sum_{l=1}^b b_{l,col}}{\sum_{j=1}^b b_j}; \quad (8)$$

$$q_{n,сорн.} = \sum_{сорн.} Q \cdot a_j \cdot \varepsilon_{\sum_{l,j}}; \quad b_{n,сорн} = \frac{\sum_{сорные} b_j}{\sum_{j=1}^b b_j}; \quad (9)$$

$$q_{n,зерн.} = \sum_{зерновые} Q \cdot a_j \cdot \varepsilon_{\sum_{l,j}}; \quad b_{n,зерн} = \frac{\sum_{зерн} b_j}{\sum_{j=1}^b b_j}. \quad (10)$$

Таблица 1

**Технологические свойства и подача измельчённого
соломистого вороха в пневмосепаратор**

№	Наименование компонентов исходного зерносоломистого вороха	Содержание	Подача, кг/(м·с)
1	Щуплое зерно	0,000615	0,000418
2	Дроблённое зерно	0,000861	0,000585
3	Корзинки осота	0,0054	0,003672
4	Колоски	0,0036	0,002448
5	Минеральные примеси	0,0123	0,008364
6	Полова	0,0203	0,013804
7	Зерно толщиной более 2,2 мм	0,009594	0,006524
8	Семена сорняков	0,0006	0,000408
9	Зерно толщиной от 1,7 мм до 2,2 мм	0,00123	0,000836
10	Сухая трава	0,0162	0,011016
11	Осты	0,0004	0,000272
12	Солома длиной 20 мм	0,018578	0,012633
13	Солома длиной 30 мм	0,074312	0,050532
14	Солома длиной 40 мм	0,538762	0,366358
15	Солома длиной 50 мм	0,204358	0,138963
16	Солома длиной 60 мм	0,046445	0,031583
17	Солома длиной 70 мм	0,023223	0,015791
18	Солома длиной 80 мм	0,023223	0,015791
19	Солома	0,9289	0,631652

Разработана математическая модель процесса сепарации соломистого вороха в вертикальном пневмоканале с учётом указанных вероятностных характеристик компонентов зерносоломистого вороха, вероятностей распределения воздушного потока и подачи вороха по ширине В пневмоканала.

Моделирование проведено при следующих допущениях: пневмосепарация соломистого вороха рассматривалась без учёта влияния компонентов вороха друг на друга при перемещении в пневмоканале; вероятностные характеристики воздушного потока в пневмоканале не изменяли

свою структуру $f_V(B)$ при сепарации. Для этих допущений, в первом приближении можно принять

$$\varepsilon_{\eta j} = \int_{V_1}^{V_2} f(V)_j dV, \quad (11)$$

где V_1 и V_2 — интервал вариации скоростей воздушного потока в вертикальном пневмоканале для выделения части j -го компонента в «тяжёлую» или «лёгкую» фракцию со скоростями витания $V_2 - V_1$.

При известной плотности вероятности $f(V)_j$ j -го компонента соломистого вороха величины $\varepsilon_{\eta j p}$ для различных вариаций V_2 и V_1 (рис. 4) определяются в соответствии с выражением (12):

$$\varepsilon_{\eta j p 2} = \int_{V_{min}}^{V_2} f(V)_j dV - \int_{V_{min}}^{V_1} f(V)_j dV. \quad (12)$$

Или в общем виде для вариации V в пределах от V_k до V_{k-1} :

$$\varepsilon_{\eta j p k} = \int_{V_{min}}^{V_k} f(V)_j dV - \int_{V_{min}}^{V_{k-1}} f(V)_j dV. \quad (13)$$

Выделение массы m_{jp} j -го компонента в «тяжёлую» или «лёгкую» фракцию на p -м участке ширины B вертикального пневмоканала определяется из выражений:

$$m_{jpT} = Q_p \cdot a_j \cdot \varepsilon_{\eta j p}; \quad (14)$$

$$m_{jpL} = Q_p \cdot a_j \cdot \varepsilon_{bj}. \quad (15)$$

На всей ширине B пневмоканала определяется из выражений:

$$m_{jT} = \sum_{p=1}^e Q_p \cdot a_j \cdot \varepsilon_{\eta j p}; \quad (16)$$

$$m_{jL} = \sum_{p=1}^e Q_p a_j \varepsilon_{bj}. \quad (17)$$

Анализ совмещённых кривых плотностей вероятностей $f(v)$ распределения скоростей витания j -х компонентов соломистого вороха и предварительные подсчёты определили необходимость выполнения агротребований к процессу пневмосепарации. Полнота выделения «лёгкой» соломистой фракции в первом пневмоканале:

$$(1 - \varepsilon_{\sum \eta j}) \rightarrow \max, \quad (18)$$

j = соломины, l = 30–50 мм.

Содержание в «лёгкой» соломистой фракции минеральных примесей и зерна

$$b_{n, \text{мин.}} \leq 1\%, \quad (19)$$

$$b_{n, \text{зер.}} \leq 0,5\%. \quad (20)$$

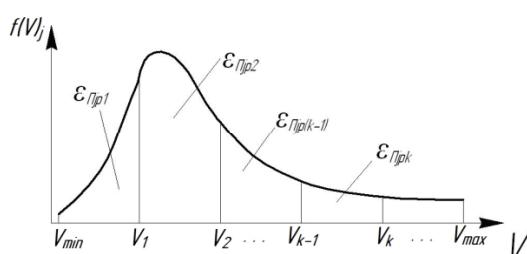


Рис. 3. Схема определения величины $\varepsilon_{\eta j p}$ для различных интервалов скоростей витания V

Таблица 2

Уравнения регрессии, описывающие плотности вероятностей скоростей витания компонентов соломистого вороха $f(V) = C_1 \cdot V^4 + C_2 \cdot V^3 + C_3 \cdot V^2 + C_4 \cdot V + C_0$

№	Компоненты зерносоловистого вороха	Скорости витания		Коэффициенты при переменных				
		V_{\min}	V_{\max}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_0
1	Щуплое зерно	5,18	7,052	-0,0613	0,6892	-1,0939	-1,844	4,3889
2	Дроблённое зерно	5,68	7,273	0,1094	-2,357	15,902	-34,215	22,556
3	Корзинки осота	3,32	5,48	0,0657	-1,2994	7,5321	-11,603	11,028
4	Колоски	7,57	10,144	0,0721	-1,6725	11,868	-25,888	18,194
5	Минеральные примеси	8,05	11,02	0,0029	-0,3504	3,9323	-9,4644	7,7778
6	Полова	1,12	3,487	-0,0568	1,3939	-12,311	42,655	-29,167
7	Зерно толщиной более 2,2 мм	7,1	9,107	0,0248	-0,5997	4,0389	-6,0867	3,3889
8	Семена сорняков	2,8	6,967	-0,0412	0,7939	-5,6101	18,221	-10,722
9	Зерно толщиной от 1,7 мм до 2,2 мм	5,92	8,098	0,0248	-0,5997	4,0389	-6,0867	6,3889
10	Сухая трава	2,5	4,3	0,0165	-0,4223	2,8339	-3,9774	8,2222
11	Осты	2,1	3,1444	0,0721	-1,6725	11,868	-25,888	18,194
12	Солома длиной 20 мм	2,5	3,3	7,2938	-86,831	347,81	-533,35	273,41
13	Солома длиной 30 мм	3	3,8	7,2979	-87,993	358,02	-559,26	290,26
14	Солома длиной 40 мм	3,45	4,25	8,6854	-103,25	414,89	-646,85	333,53
15	Солома длиной 50 мм	3,85	4,65	4,8667	-57,01	221,23	-319,29	156,86
16	Солома длиной 60 мм	4,2	5	5,5583	-65,59	258,76	-387,19	198,46
17	Солома длиной 70 мм	4,5	5,3001	6,2542	-73,938	293,12	-443,92	230,15
18	Солома длиной 80 мм	4,75	5,55	5,9063	-69,626	275,11	-413,21	210,15

Первый пневмоканал пневмосепаратора с двумя пневмоканалами функционировал, выделяя деловую «лёгкую» фракцию (рис. 1).

Второй пневмоканал предназначен для выделения в «лёгкую» фракцию зерна и зерновых компонентов из «тяжёлой» фракции после первого пневмоканала. Структурная схема моделирования процесса функционирования пневмосепаратора с двумя пневмоканалами приведена на рис. 4, где $Q_{зф}$, $B_{зфj}$ — выход зерновой фракции и содержание в ней j -х компонентов.

Используя разработанную методологию (выражения (1) — (11)), для оценки качества и количества выделенной зерновой фракции («лёгкая» фракция), в выражения (7) — (18) вместо a_j введём величины B_j — содержание j -х компонентов в «тяжёлой» фракции первого пневмоканала и, используя выражения (14), оценим величины полноты выделения j -х компонентов вороха в «лёгкую» фракцию.

$$\left(1 - \varepsilon_{2\sum j}\right) = \int_{V_1}^{V_2} f(V)_j dV, \quad (21)$$

где $V_2 = 11$ м/с, $V_1 = 8$ м/с.

Расчётное значение величин полноты выделения $\left(1 - \varepsilon_{2\sum j}\right)$ и $\varepsilon_{2\sum j}$ j -х компонентов из «тяжёлой» фракции после первого пневмоканала в «лёгкую» и «тяжёлую» фракции во 2-м пневмоканале, рациональные скорости воздушных потоков на p -х участках вероятности и подачи q_p

вороха по ρ -м участкам ширины пневмоканала, содержание в них j -х компонентов приведены в табл. 3 (рис. 5, 6).

Используя выражение (13), где первый член равен величине полноты выделения во втором пневмоканале j -х компонентов в «лёгкую» фракцию $(1 - \varepsilon_{2\sum j})$ (5), а второй член равен величине полноты выделения j -х компонентов в «лёгкую» фракцию в первом пневмоканале, оценены величины полноты выделения и содержание j -х компонентов в «лёгкой» фракции второго пневмоканала (рис. 6).

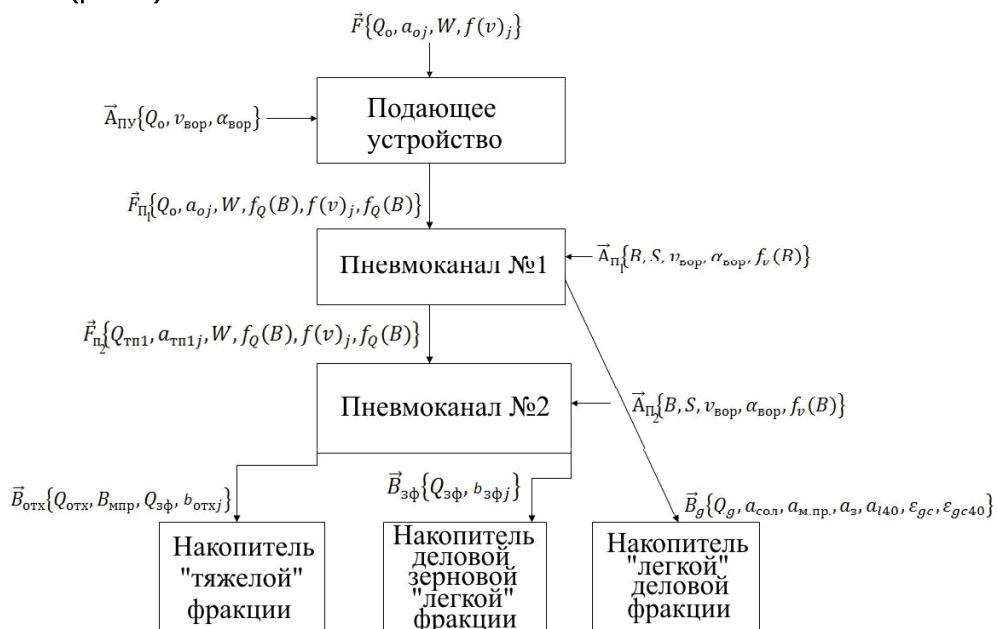


Рис. 4. Структурная расчётная схема функционирования пневмосепаратора с двумя пневмоканалами

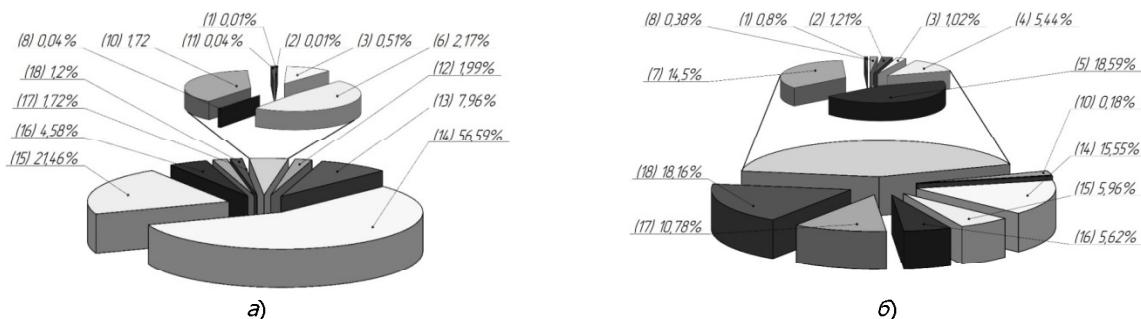


Рис. 5. Содержание j -х компонентов в «лёгкой» и «тяжёлой» фракциях в первом пневмоканале (вариант № 1), где 1 — щучье зерно; 2 — дроблённое зерно; 3 — корзинки осота; 4 — колоски; 5 — минеральные примеси; 6 — половы; 7 — зерно толщиной более 2,2 мм; 8 — семена сорняков; 9 — зерно толщиной от 1,7 мм до 2,2 мм; 10 — сухая трава; 11 — осты; 12 — солома длиной 20 мм; 13 — солома длиной 30 мм; 14 — солома длиной 40 мм; 15 — солома длиной 50 мм; 16 — солома длиной 60 мм; 17 — солома длиной 70 мм; 18 — солома длиной 80 мм

Масса выделяемой из соломистого вороха деловой «лёгкой» соломистой фракции («лёгкая» фракция первого пневмоканала) составляет 0,680 кг/(м·с) (2,448 т/(ч·м)). Выделяемая масса зерновых отходов («лёгкая» фракция второго пневмоканала) составляет 0,00709 кг/(м·с) (0,02551 т/(ч·м)). Масса выделяемых за рабочую смену 8 ч отходов составляет 0,2041 т/м и содержание в ней зерна и зерновых примесей равно 20,930 %. Выделяемая масса минеральных сорных примесей («тяжёлая» фракция второго пневмоканала) равна 0,007944 кг/(м·с) (0,028599 т/(ч·м)), что за смену 8 ч составляет 0,22879 т.

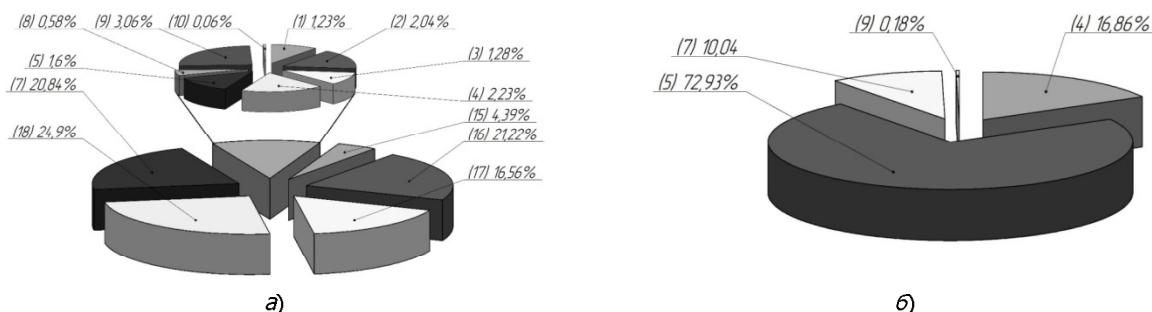


Рис. 6. Содержание j -х компонентов в «лёгкой» и «тяжёлой» фракциях второго пневмоканала пневмосепаратора с 2 пневмоканалами, где 1 — щуплое зерно; 2 — дроблённое зерно; 3 — корзинки осота; 4 — колоски; 5 — минеральные примеси; 6 — половы; 7 — зерно толщиной более 2,2 мм; 8 — семена сорняков; 9 — зерно толщиной от 1,7 мм до 2,2 мм; 10 — сухая трава; 11 — ости; 12 — солома длиной 20 мм; 13 — солома длиной 30 мм; 14 — солома длиной 40 мм; 15 — солома длиной 50 мм; 16 — солома длиной 60 мм; 17 — солома длиной 70 мм; 18 — солома длиной 80 мм

Таблица 3

Вероятности подачи P_{Q2} вороха «тяжёлой» фракции после первого пневмоканала на p -е участки ширины B второго пневмоканала и рациональные скорости V_p на этих участках первого и второго пневмоканалов

Показатели	№ p -х участков										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вероятность подачи соломистого вороха, P_{Q2}	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11	0,12	0,13	0,12	0,10	0,08	0,07
Рациональные скорости воздушного потока											
В первом пневмоканале	5,34	5,97	5,23	4,27	5,13	6,16	5,63	5,41	5,46	5,21	6,47
Во втором пневмоканале	8,39	9,02	8,28	7,32	8,18	9,21	8,68	8,46	8,51	8,26	9,52

Выводы. Многомерный анализ результатов моделирования показывает:

1. Разработана методология параметрической оптимизации пневмосепаратора с двумя последовательными пневмоканалами, обеспечивающая оценку показателей функционирования пневмосепараторов при вероятностных характеристиках подачи в них соломистого вороха, а также известных плотностях вероятности распределения скоростей витания компонентов вороха и заданных вероятностных функциях распределения воздушных потоков по ширине пневмоканалов.

2. Моделированием исследуемого процесса сепарации гетерогенной соломистой среды показана возможность сепарации рассматриваемого соломистого вороха и выделения соломистой фракции, отвечающей заданным характеристикам.

Библиографический список

- Ермольев, Ю. И. Технологические операции и технические средства для современных технологий агропромышленного комплекса / Ю. И. Ермольев. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2012. — 158 с.
- Ермольев, Ю. И. Моделирование воздушно-решётной зерноочистительной машины / Ю. И. Ермольев // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10, № 8 (51). — С. 1245–1254.
- Ермольев, Ю. И. Энергосберегающие технологии сепарации зерновых отходов на предприятиях приёма, переработки и хранения зерна / Ю. И. Ермольев, Г. И. Лукинов. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2007. — 234 с.

4. Проектирование технологических процессов и воздушно-решётных и решётных зерноочистительных машин / Ю. И. Ермольев [и др.]. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2010. — 638 с.
5. Матвеев, А. С. Теоретический анализ разделения зерновой смеси восходящим воздушным потоком воздуха / А. С. Матвеев // Труды ВИМ. — 1964. — Т. 36. — С. 286–295.
6. Ермольев, Ю. И. Оценка основных закономерностей функционирования подсистемы решётный ярус — пневмосепаратор воздушно-решётной зерноочистительной машины / Ю. И. Ермольев [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 4 (55). — С. 480–488.
7. Сайтов, В. Е. Оптимизация конструктивно-технологических параметров первого пневмосепарирующего и дополнительного каналов замкнутой малогабаритной пневмосистемы / В. Е. Сайтов, Р. Г. Гатауллин // Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzglednieniem ochrony srodowiska i standardow UE: XIV Miedzynarodowa Konferencja Naukowa. — Warszawa, 2008. — С. 71–79.
8. Сайтов, В. Е. Математическое моделирование разделения воздушным потоком отходов при очистке зерна / В. Е. Сайтов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 5. — С. 39–41.
9. Ермольев, Ю. И. Моделирование процесса функционирования центробежных вентиляторов в воздушно-решётной очистке зерноуборочного комбайна / Ю. И. Ермольев, Д. К. Муратов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 8 (59). — С. 1238–1245.

Материалы поступили в редакцию 23.07.2013.

References

1. Yermolyev, Y. I. Tekhnologicheskiye operatsii i tekhnicheskiye sredstva dlya sovremennoykh tekhnologiy agropromyshlennogo kompleksa. [Technological operations and technical means for modern technologies of agro-industrial complex.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2012, 158 p. (in Russian).
2. Yermolyev, Y. I. Modelirovaniye vozдушно-reshetnoy zernoochistitelnoy mashiny. [Air-and-screen cleaner modeling.] Vestnik of DSTU, 2010, vol. 10, no. 8 (51), pp. 1245–1254 (in Russian).
3. Yermolyev, Y. I., Lukinov, G. I. Energosberegayushchiye tekhnologii separatsii zernovykh otkhodov na predpriatiyakh priyema, pererabotki i khraneniya zerna. [Energy-saving technologies of screening separation at enterprises of grain receiving, processing, and storage.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2007, 234 p. (in Russian).
4. Yermolyev, Y. I., et al. Proyektirovaniye tekhnologicheskikh protsessov i vozдушno-reshetnykh i reshetsnykh zernoochistitelnykh mashin. [Designing of technological processes, and air screen and sieve grain cleaning machines.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2010, 638 p. (in Russian).
5. Matveyev, A. S. Teoreticheskiy analiz razdeleniya zernovoy smesi voskhodyashchim vozduhnym potokom vozdukh. [Theoretical analysis of the grain mixture separation by the ascending air flow.] Trudy VIM, 1964, vol. 36, pp. 286–295 (in Russian).
6. Yermolyev, Y. I., Shaforostov, V. D., Butovchenko, A. V., et al. Otsenka osnovnykh zakonomernostey funktsionirovaniya podsistemy reshetsnyy yarus-pnevmoseparator vozдушно-reshetnoy zernoochistitelnoy mashiny. [Assessment of operation basic trends of screen tier-pneumoseparator of air-and-screen cleaner subsystems.] Vestnik of DSTU, 2011, vol. 11, no. 4 (55), pp. 480–488 (in Russian).
7. Saitov, V. E., Gataullin, R. G. Optimizatsiya konstruktivno-teknologicheskikh parametrov pervogo pnevmosepariruyushchego i dopolnitelnogo kanalov zamknutoy malogabaritnoy pnevmosistemy. [Optimization of constructive-technological parameters of the first aspirating and additional channels of closed compact pneumatic system.] Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z

uwzglednieniem ochrony srodowiska i standardow UE: XIV Miedzynarodowa Konferencja Naukowa. Warszawa, 2008, pp. 71–79 (in Russian).

8. Saitov, V. E. Matematicheskoye modelirovaniye razdeleniya vozдушным потоком отходов при очистке зерна. [Mathematical modeling of screening separation by the air flow under grain cleaning.] Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny, 2007, no. 5, pp. 39–41 (in Russian).

9. Yermolyev, Y. I., Muratov, D. K. Modelirovaniye protsessa funktsionirovaniya tsentrobezhnykh ventilatorov v vozдушно-решетной очистке зерноворочного комбайна. [Modeling of centrifugal fan performance in air-screen separator of combine harvester.] Vestnik of DSTU, 2011, vol. 11, no. 8 (59), pp. 1238–1245 (in Russian).

MODELING OF MILLED STRAW HEAP SEPARATION IN AIR-FLOW CLASSIFIER WITH TWO PNEUMATIC DUCTS*

Y. I. Yermolyev, S. V. Belov, I. A. Ivashchenko, R. E. Fomenko

The functional diagram of a grain-cleaner with two ducts and certain air speed characteristics is described. Each pneumatic duct is segmented into blocks with various probabilistic characteristics of the airflow velocity distribution, various density composition and terminal velocities of each component. The mathematical expressions averaging the air separation indices full-width of two sequentially operating pneumatic ducts are defined. A stochastic quasi-static mathematical model of the operation process of a grain-cleaner with two pneumatic ducts is developed. The air-separation process at the specified manufacturing characteristics of the heap components, their fractional value in the heap, and of the structure of the airflow entering the pneumatic ducts, is simulated. The results of the parametric air-flow classification synthesis, the technological characteristics of its operation are described; the heap fractional makeup and measurable characteristics in each separated fraction are given; the possibility of the air-flow classification of the crushed haulm heap on the controlled fractions with the output of 0,689 kg/(m·s) is defined.

Keywords: air-flow classifier, mathematical model, milled straw heap, modeling, separation results.

* The research is done within the frame of the independent R&D.