

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ГОДНОГО ЗЕРНА ПРИ ОЧИСТКЕ РЖИ ОТ СПОРЫНЬИ НА МАШИНАХ ВИБРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

А. В. Иванов, доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств Могилевского государственного университета прогровольствия,

В. М. Поздняков, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственного сырья Белорусского государственного аграрного технического университета

А. А. Бренч, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственного сырья Белорусского государственного аграрного технического университета,

Г. Н. Белохвостов, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственного сырья Белорусского государственного аграрного технического университета

Доведение зерновой массы, поступающей от сельхозпроизводителей, до базисных кондиций, соответствующих ГОСТу — одна из основных задач зерноперерабатывающих предприятий. В себестоимости производства зерна доля очистки и сортирования при послеуборочной обработке не превышает и десяти процентов, но отказ от этих операций или недостаточно качественное их выполнение приводит к большим потерям, цена которых может значительно превышать затраты на их проведение [1].

При очистке зерновой массы от примесей наибольшую сложность представляет выделение так называемых трудноотделимых примесей. К трудноотделимым примесям относят примеси, которые сходны с зерновками основной культуры по тем физическим признакам (ширине, толщине, длине, форме, скорости витания), которые играют главную роль в отделении на сепарирующих машинах.

Проведенный анализ существующего оборудования, позволяет сделать вывод, что на данный момент в Беларуси не существует достаточно эффективного оборудования, позволяющего отделять спорынью — одну из трудноотделимых примесей. Поэтому разработка конструкции новой отечественной машины, позволяющей очищать рожь от рожков спорыньи, — необходимый этап в процессе совершенствования технологии очистки зерна и подготовки семенного материала.

Существующие конструкции машин вибропневматического принципа действия для очистки зерна от трудноотделимых примесей работают не достаточно эффективно при разделении продуктов, имеющих незначительные различия плотностей и небольшое содержание фракции с меньшей плотностью к общей массе продукта.

Разработанный вибропневмосепаратор имеет ряд существенных конструкторских изменений, которые позволяют повысить коэффициент очистки ржи от спорыньи и при этом значительно сократить потери годного зерна, уходящего в примеси [2, 3].

Конструктивные отличия разработанного вибропневмосепаратора по сравнению с существующими аналогами:

- наличие отбойной пластины;
- наличие отражающей пластины;
- периодичность открытия отражающей пластины.

По результатам экспериментальных исследований проведенных ранее были получены оптимальные режимно-конструктивные параметры работы вибропневмосепаратора исходя из необходимого коэффициента очистки [4].

Таблица 1

Режимно-конструктивные параметры работы

Необходимый коэффициент очистки ржи от спорыньи η , %	Удельная производительность $Q_{уд}$, кг/ч·см	Кинематические и конструктивные параметры работы			
		Угол наклона сетчатой деки α , град	Угол наклона электро-вibrаторов β , град	Частота вращения электровибраторов n , мин ⁻¹	Разрежение в рабочей камере H , Па
72	10,15	2	50	1043	38
73	10,39	2	49,95	900	38
74	10,23	2	49,7	900	38
75	10,07	2	48,9	900	38
76	9,90	2	48,3	900	38
77	9,72	2	47,7	900	38
78	9,53	2	47	900	38
79	9,33	2	46,2	900	38
80	9,11	2	45,3	900	38
81	8,86	2	44,2	900	38
82	8,57	2,1	44,1	900	38
83	8,26	2,3	44	900	38
84	7,94	2,4	44	900	38
85	7,61	2,3	44,8	900	38
86	7,31	2,2	46	900	40,5
87	7,09	2	50	900	43,8
88	6,91	2	50	900	44,4
89	6,73	2	50	900	45
90	6,58	2	50	900	45,7
91	6,39	2,1	50	900	46
92	6,14	2,4	50	900	46
93	5,87	2,6	50	900	46
94	5,54	2,8	49,3	900	46
95	4,71	2,8	49,1	1500	46
96	4,31	2,9	48,1	1500	46
97	3,13	3,45	45,3	1500	44,7

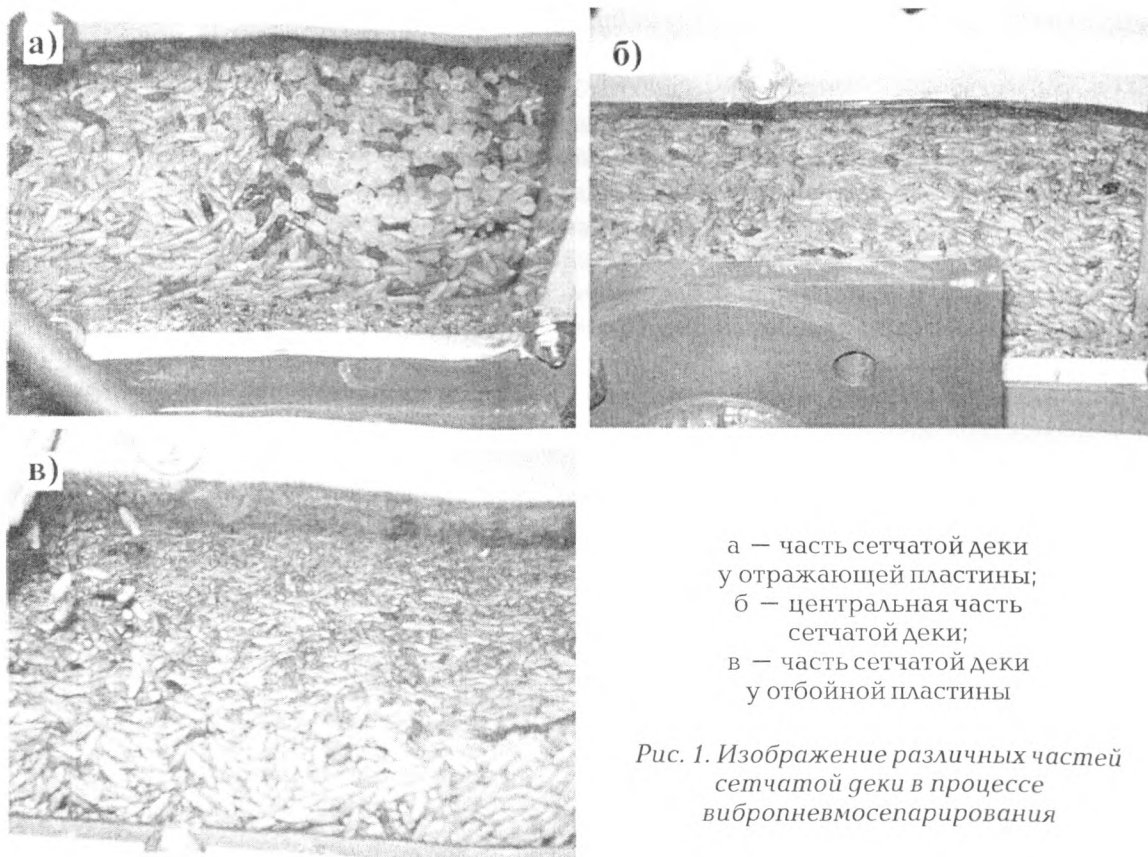
Режимно-конструктивные параметры работы вибропневмосепаратора, представленные в табл. 1, обеспечивают эффективное расслоение зерновок ржи и рожков спорыньи, что создает благоприятные условия для их дальнейшего разделения.

В процессе вибропневмосепарирования происходит накопление спорыньи в верхних слоях зерновой массы у выходного патрубка для менее плотной фракции (рис. 1).

С целью уменьшения количества потерь годного зерна, уходящего в патрубок примесей необходимо определить режимы открытия отражающей пластины, обеспечивающие максимальную степень очистки при минимальных потерях годного зерна с фракцией примесей.

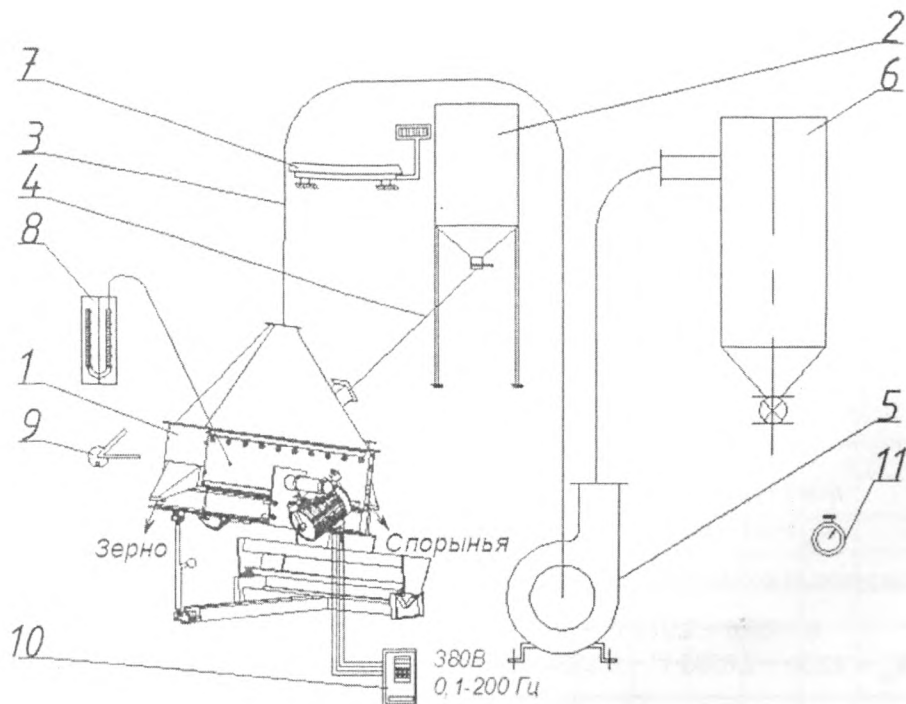
Для исследования влияния режимов вывода фракции примесей на эффективность выделения рожков спорыньи был создан экспериментальный стенд. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 2.

В процессе работы разработанного вибропневмосепаратора количество фракции, выходящие в патрубок для примесей, определяется режимом вывода. С целью определения оптимальных этих режимов при работе вибропневмосепаратора, настроенного на заданный



- а — часть сетчатой деки у отражающей пластины;
 б — центральная часть сетчатой деки;
 в — часть сетчатой деки у отбойной пластины

Рис. 1. Изображение различных частей сетчатой деки в процессе вибропневмосепарирования



- 1 — вибропневмосепаратор; 2 — загрузочный бункер; 3 — воздуховод; 4 — материалопровод;
 5 — вентилятор ВЦП-3; 6 — циклон БЦШ-3; 7 — весы электронные ВТНт-15;
 8 — U-образный манометр; 9 — угломер оптический ОУМ-3; 10 — частотный преобразователь тока VFD-B; 11 — секундомер.

Рис. 2. Схема экспериментального стенда

коэффициент очистки, были проведены 4 серии экспериментов для требуемого коэффициента очистки 74%, 81%, 88% и 95%.

Факторами варьирования в интервалах выбраны:

- периодичность открывания отражающей пластины (τ' , мин);
- продолжительность открытия отражающей пластины (τ'' , с)

В качестве выходной функции были исследованы следующие показатели:

1) *общее количество фракции примесей по отношению к исходной массе зерна, поступившей на сепарирование* k_{np} , %

$$k_{np} = \frac{m_{np}}{m_o} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_{np} – масса примесей, кг; m_o – исходная масса зерна, поступившая на сепарирование, кг.

2) *содержание годного зерна во фракции примесей по отношению к массе исходной зерновой массы* $k_{г.з.}$, %:

$$k_{г.з.} = \frac{m_{г.з.}}{m_o} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где $m_{г.з.}$ – масса годного зерна во фракции примесей.

3) *коэффициент очистки*

$$\eta = \frac{a-b}{a} \cdot 100, \% \quad (3)$$

где a – содержание спорыньи в исходной зерновой массе; b – содержание спорыньи в очищенной ржи.

Для проведения экспериментов рожь искусственно засоряется спорыньей до суммарной концентрации 1%. При этом содержание «крупной» (сход с сита 3,2x20), «средней» (сход с сита 2,5x20) и «мелкой» (проход с сита 2,5x20) фракции спорыньи одинаково и составляет 33,3% от общей массы спорыньи. Анализ эффективности очистки зерновой массы в процессе проведения экспериментов осуществлялось методом ручной разборки полученных фракций.

Обработка экспериментальных данных проводилась при помощи статистического пакета программ STATGRAPHICS Plus. Для каждой серии экспериментов были получены регрессионные зависимости, позволяющие прогнозировать изменение коэффициента очистки η и количества фракции примесей k_{np} при изменении периодичности открывания τ' и продолжительности открытия отражающей пластины τ'' . Ниже приводятся данные уравнения регрессии для прогнозируемого коэффициента очистки 74%, 81%, 88% и 95%.

Прогнозируемый коэффициент очистки 74%:

$$\eta = -11,2111 + 17,5111 \cdot \tau' + 12,6778 \cdot \tau'' - 0,577778 \cdot (\tau')^2 - 1,75556 \cdot \tau' \cdot \tau'', \quad (4)$$

$$k_{np} = 10,9645 - 2,504 \cdot \tau' - 0,599889 \cdot \tau'' + 0,138 \cdot (\tau')^2 + 0,143333 \cdot \tau' \cdot \tau'', \quad (5)$$

Прогнозируемый коэффициент очистки 81%:

$$\eta = 179,5 - 18,26 \cdot \tau' - 5,525 \cdot \tau'' + 0,706 \cdot (\tau')^2 + 0,787 \cdot \tau' \cdot \tau'', \quad (6)$$

$$k_{np} = 5,3 - 0,793 \cdot \tau' + 0,372 \cdot \tau'' + 0,029 \cdot (\tau')^2 + 0,0126 \cdot \tau' \cdot \tau'', \quad (7)$$

Прогнозируемый коэффициент очистки 88%:

$$\eta = 89,6 - 2,975 \cdot \tau' + 4,5 \cdot \tau'' + 0,1375 \cdot (\tau')^2 - 0,25 \cdot \tau' \cdot \tau'', \quad (8)$$

$$k_{np} = 22,39 - 2,8595 \cdot \tau' - 0,252667 \cdot \tau'' + 0,09675 \cdot (\tau')^2 + 0,0463333 \cdot \tau' \cdot \tau'', \quad (9)$$

Прогнозируемый коэффициент очистки 95%:

$$\eta = 85,24 + 0,694 \cdot \tau' + 1,404 \cdot \tau'' - 0,052 \cdot (\tau')^2 - 0,0436 \cdot \tau' \cdot \tau'', \quad (10)$$

$$k_{np} = -0,654 + 0,039 \cdot \tau' + 2,852 \cdot \tau'' + 0,00163 \cdot (\tau')^2 - 0,124 \cdot \tau' \cdot \tau'', \quad (11)$$

Адекватность реальному процессу полученных регрессионных зависимостей оценивалась при помощи критерия Фишера. Для всех полученных уравнений регрессии коэффициент детерминации $R^2 > 0,75$.

Исходя из полученных уравнений регрессии, необходимо определить оптимальные режимы вывода спорыньи (периодичность открывания отражающей пластины, время открытия отражающей пластины) для каждого значения коэффициента очистки. В данном случае задача оптимизации формулируется в следующем виде: **минимизации количества фракции примесей при обеспечении максимального коэффициента очистки.**

Для решения многокритериальной задачи оптимизации была построена целевая функция, которая обеспечивает обобщенную оценку исследуемого процесса. В этом случае исходная задача оптимизации свелась к **однокритериальной**. Исходя из условия оптимизации (**минимизации количества фракции примесей при обеспечении максимального коэффициента очистки**) наиболее целесообразно в качестве пути решения многокритериальной задачи оптимизации принять максиминную стратегию решения [5].

При наличии регрессионной математической модели технического объекта (уравн. 4 и 11) целевая функция формуруется в виде:

$$F(x) = c_1 \left(\frac{\eta(x) - \eta_{extr}}{\eta_{max} - \eta_{min}} \right)^2 + c_2 \left(\frac{k_{np}(x) - k_{np,extr}}{k_{np,max} - k_{np,min}} \right)^2. \quad (12)$$

где c_1, c_2 — коэффициенты, характеризующие значимость критериев; η_{min}, η_{max} — минимальное и максимальное значение коэффициента очистки, для данной серии экспериментов, %; k_{np} — количество фракции примесей по отношению к исходной массе зерна поступившей на сепарирование, %; η_{extr}, k_{extr} — экстремальные значения коэффициента очистки и количества фракции примесей (при максимизации критериев $\eta_{extr} = \eta_{max}$, при минимизации $k_{np,extr} = k_{np,min}$).

Целевая функция (12) подлежит минимизации. Она позволяет обеспечить приближение всех критериев к их экстремальным значениям и реализует стратегию минимакса.

Математическое решение задачи оптимизации процесса вибропневмосепарирования проводилось в системе MathCad.

Коэффициенты веса c_1, c_2 принимались равными 0,5, т. е. значимость критериев оптимизации (коэффициент очистки и количество фракции примесей) принималось одинаковой. Экстремальное значение количества фракции примесей $k_{np,extr}$ принималось равным 5% от общей массы зерновой смеси, поступившей на сепарирование.

Для каждой серии экспериментов на основании полученных уравнений регрессии была составлена целевая функция вида 12 и проведена поисковая оптимизация на основе максиминной стратегии.

На рис. 3 представлена графическая зависимость полученных оптимальных значений периодичности открытия отражающей пластины τ' .

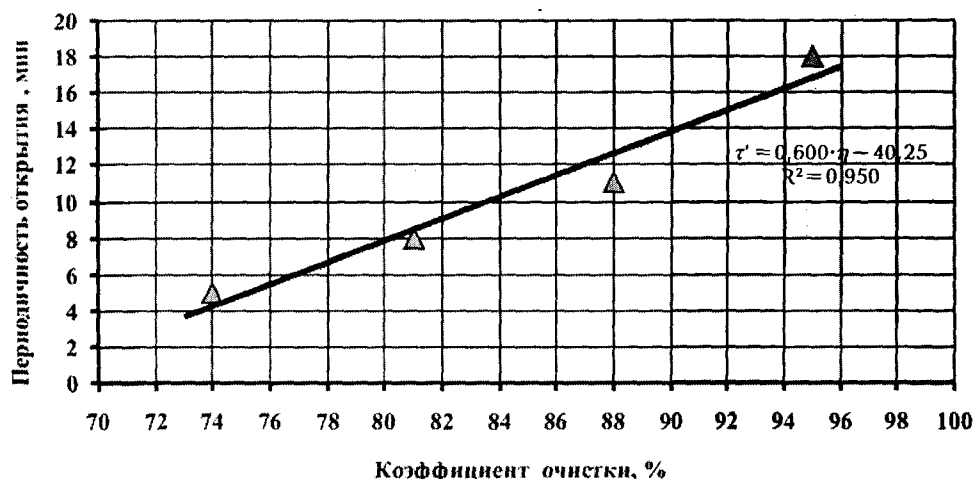


Рис. 3. Оптимальные режимы периодического открывания отражающей пластины в зависимости от требуемого коэффициента очистки

Таким образом, определив исходя из начальной засоренности зерновой массы, необходимую степень очистки ржи от спорыньи, обеспечивающую доведение до базисных кондиций, устанавливаются режимно-конструктивные параметры работы вибропневмосепаратора.

Из графика представленного на рис. 3 видно, что с увеличением требуемого коэффициента очистки от 74% до 96% периодичность открывания отражающей пластины увеличивается. Объясняется это тем, что с увеличением требуемого коэффициента очистки удельная производительность вибропневмосепаратора уменьшается и, следовательно, увеличивается время необходимое на очистку зерновой массы и, соответственно, на ее накопление в зоне выделения фракции примесей.

В процессе проведения экспериментальных исследований было отмечено, что в зависимости от частоты колебаний сетчатой деки, т. е. от частоты вращения электровибраторов, эффективность выделения рожков спорыньи в зависимости от крупности различна.

Для оценки влияния частоты колебаний сетчатой деки на эффективность выделения спорыньи из ржи проводилась дополнительная серия экспериментов. Эксперименты проводились при следующих режимно-конструктивных параметрах работы вибропневмосепаратора, соответствующих прогнозируемому коэффициенту очистки 88%: $a = 2^\circ$; $b = 49,7^\circ$; частота $n = 900$ мин⁻¹ и $H = 38$ мм вод. ст. В ходе проведения экспериментов изменялась частота колебаний сетчатой деки. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований зависимости частоты колебаний сетчатой деки на эффективность сепарирования.

Частота вращения электровибраторов, мин ⁻¹	Коэффициент очистки ржи от спорыньи, %		
	Спорынья «крупная»	Спорынья «средняя»	Спорынья мелкая»
900	72,3	79,2	95,2
1050	74,1	80,3	93,7
1200	78	82,6	92,2
1350	73,4	78,1	87,3
1500	70,1	73,6	90,9

На рис. 4 представлена графическая зависимость влияния частоты колебаний сетчатой деки на степень очистки ржи от спорыньи по крупности.

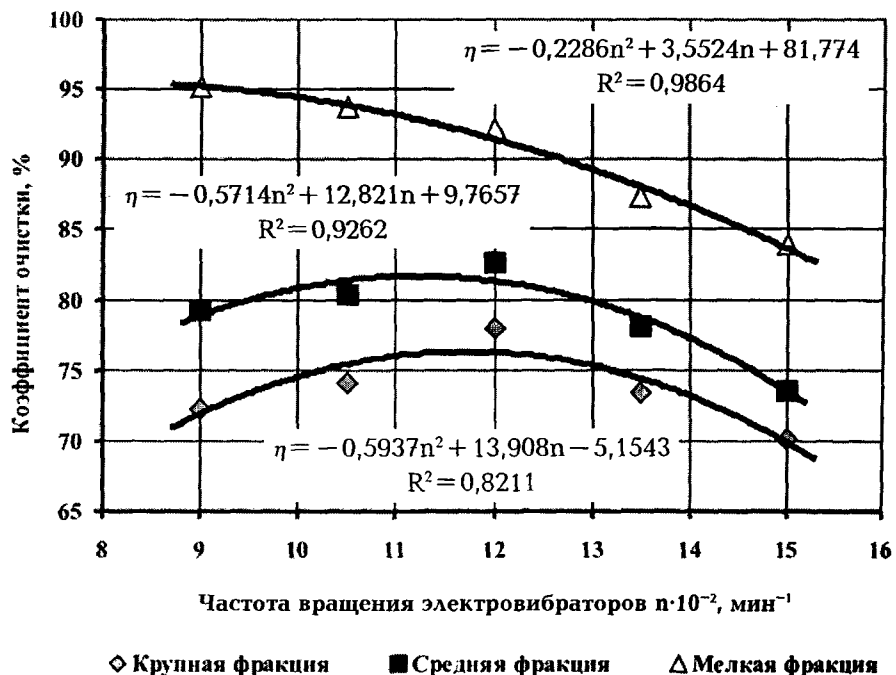


Рис. 4. Влияние частоты колебаний сетчатой деки на степень очистки

Из данного графика следует, что с увеличением частоты колебаний сетчатой деки эффективность выделения мелкой фракции спорыньи уменьшается. В диапазоне изменения частоты колебаний электровибраторов от 900 до 1200 мин⁻¹ эффективность выделения средней фракции спорыньи увеличивается, при этом дальнейшее увеличение частоты колебаний приводит к уменьшению коэффициента очистки. Зависимость влияния коэффициента очистки ржи от крупной фракции спорыньи носит аналогичный характер. Таким образом, учитывая, что наибольшую сложность представляет выделение «средней» фракции спорыньи, геометрические параметры которой близки к размерам зерновок ржи, 1200 мин⁻¹ будет оптимальной частотой вращения электровибраторов, при которой коэффициент очистки ржи от рожков спорыньи средней фракции является максимальной.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований была разработана конструкция опытного образца вибропневмосепаратора для очистки ржи от спорыньи производительностью 5 т/ч (рис. 5).

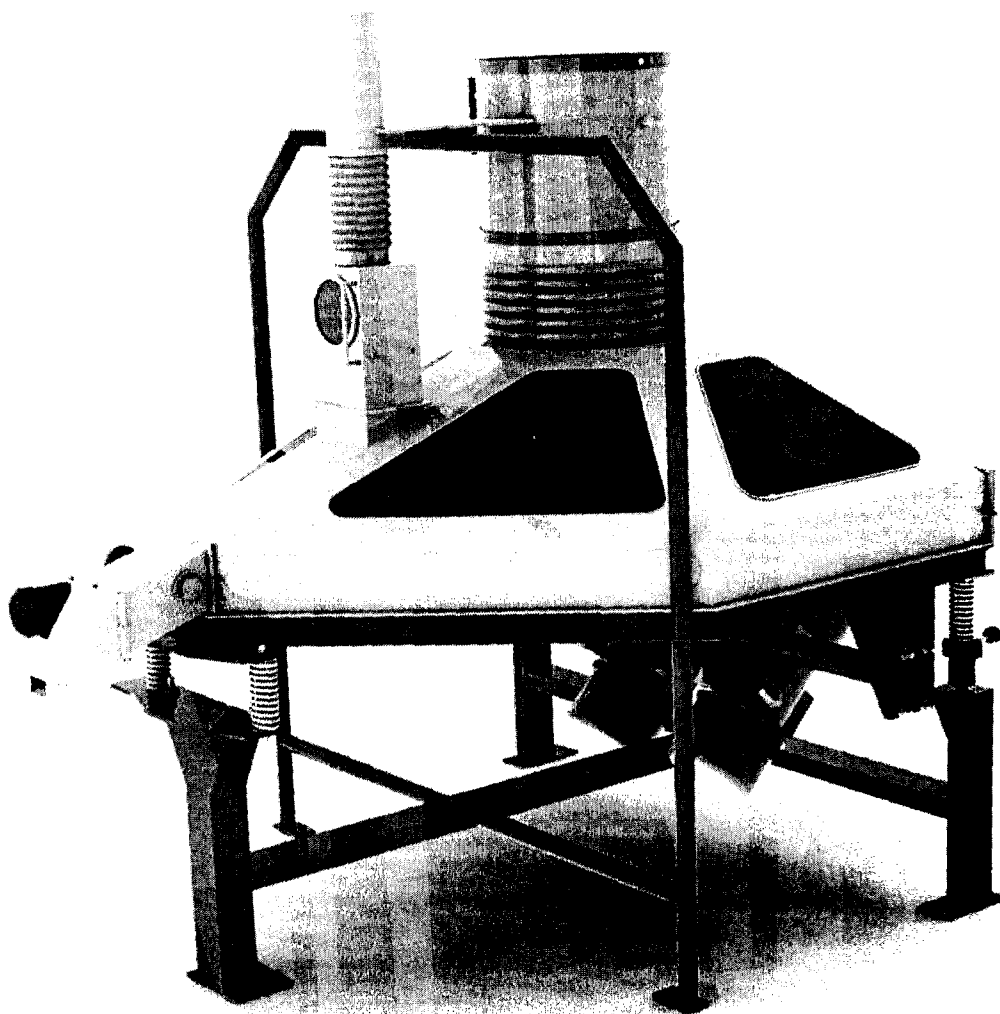


Рис. 5. Вибропневмосепаратор для очистки ржи от спорыньи

Конструкция вибропневмосепаратора позволяет регулировать все основные режимно конструктивные параметры работы (угол наклона сетчатой деки, угол наклона вибраторов, разрежение внутри вибропневмосепаратора, амплитуду и частоту колебаний сетчатой деки, периодичность вывода фракции примесей). Таким образом, зная исходную засоренность зерновой

массы спорыньей и, соответственно, необходимый коэффициент очистки, можно оперативно настраивать параметры работы вибропневмосепаратора с целью обеспечения максимальной производительности при обеспечении требуемого коэффициента очистки. Технические характеристики опытного образца вибропневмосепаратора представлены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики разработанного вибропневмосепаратора для очистки ржи от спорыньи

Производительность, т/ч	4–5
Площадь ситовой поверхности, м ²	2,56
Угол наклона деки, град	5–7
Амплитуда колебаний, мм	5–6
Расход воздуха, м ³ /ч	8000
Установленная мощность привода электровибраторов, кВт	2х0,18
Диапазон регулировки частоты вращения электровибраторов, об/мин	800–1650
Разрежение в рабочей камере, мм вод. ст	40–55
Габаритные размеры, м	
длина	2140
ширина	1600
высота	1850
Масса вибропневмосепаратора, кг не более	420

В результате теоретических и экспериментальных исследований определены оптимальные режимы периодического вывода фракции примесей при работе вибропневмосепаратора для очистки ржи от спорыньи, обеспечивающие минимальные потери годного зерна при обеспечении заданного коэффициента очистки. Исследовано влияние частоты колебаний сетчатой деки на эффективность выделения спорыньи. Установлено, что максимальное выделение «средней» фракции происходит при частоте вращения электровибраторов 1200 мин⁻¹. На основании проведенных исследований разработана конструкция опытного образца вибропневмосепаратора производительностью 4–5 т/ч с регулируемыми режимно-конструктивными параметрами работы.

Литература

1. Ямпиллов, С. С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян / С. С. Ямпиллов // Улан-Удэ. Издательство ВСГУТ., 2003. – 262 с.
2. Устройство для разделения сыпучих продуктов по плотности: пат. №11598 Респ. Беларусь, МПК В 07 В 4/08 / А. В. Иванов, В. М. Поздняков; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20070011; заявл. 10.01.07.; опубл. 28.02.09 // Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №1. – С. 62–63
3. Иванов, А. В. Повышение эффективности очистки ржи от спорыньи / А. В. Иванов, В. М. Поздняков, // Хранение и переработка сельхозсырья, – 2008. – № 11. – С. 54–57.
4. Иванов, А. В. Новые подходы к оптимизации зерноочистительного оборудования работающего по вибропневматическому принципу действия / А. В. Иванов, В. М. Поздняков // Вестник МГУП, – 2008. – № 2. – С. 107–112.
5. Тарасик, В. П., Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В. П. Тарасик. – Минск: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.: ил.