

УДК 664.726.9

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПО ВИБРОПНЕВМАТИЧЕСКОМУ ПРИНЦИПУ ДЕЙСТВИЯ

А.В. Иванов, В.М. Поздняков

Описан новый подход к оптимизации работы зерноочистительного оборудования, работающего по вибропневматическому принципу действия, сутью которого является определение кинематических и конструктивных параметров работы зерноочистительного оборудования исходя из начальной засорённости зерновой массы и требуемой степени очистки.

Введение

Одним из важнейших звеньев в единой технологической цепочке зернового производства является послеуборочная обработка и хранение зерна. В настоящее время повышение урожайности зерновых культур и, как следствие, валового сбора зерна обуславливают необходимость модернизации устаревших технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки семян. Эффективность работы зерноочистительного оборудования оценивается двумя показателями: производительностью и степенью очистки от примесей. И соответственно чем больше производительность и степень очистки, тем более эффективным считается работа оборудования.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ литературных данных показывает, что на данный момент при проектировании нового и модернизации уже существующего зерноочистительного оборудования, работающего по вибропневматическому принципу действия, задача оптимизации формулируется в виде: обеспечение максимальной степени очистки и производительности. Однако довольно часто такая постановка задачи оптимизации не совсем оправдывает себя. Причиной этому является то, что концентрация примесей в исходном зерне – величина не постоянная и варьирует в достаточно широких пределах. Также на каждом этапе очистки зерна необходимо достигнуть определённых качественных показателей по засорённости, соответствующих ГОСТу. Для изучения процессов вибропневмосепарирования зерновой массы был разработан экспериментальный стенд, представленный на рисунке 1.

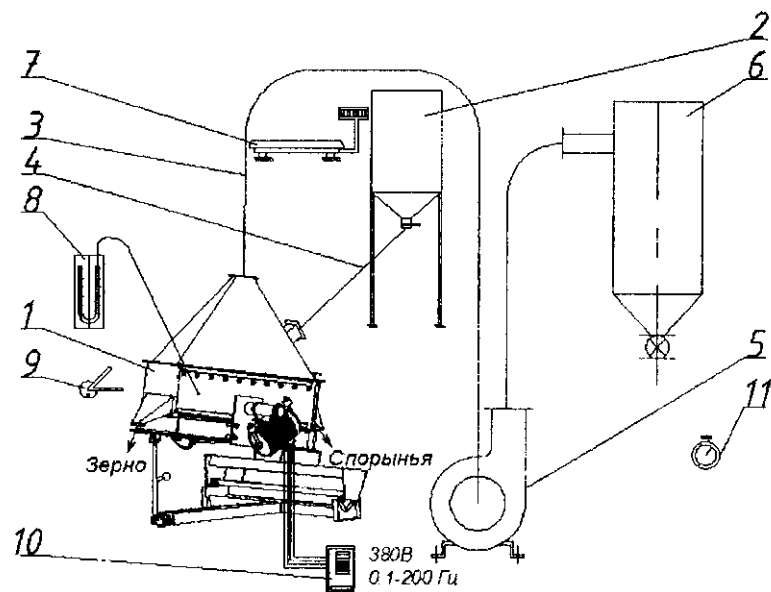
Для определения оптимальных кинематических и конструктивных параметров работы экспериментального вибропневмосепаратора был спланирован и проведён многофакторный эксперимент по плану Бокса-Уилсона 2^4 +звезда [1]. При проведении эксперимента на вибропневмосепараторе очищалась рожь, искусственно засорённая спорыньёй до концентрации 1%. В результате реализации матрицы планирования экспериментов были получены уравнения регрессии (1, 2), адекватно описывающие процесс очистки ржи от спорыньи и позволяющие прогнозировать степень очистки и производительность при изменении кинематических и конструктивных параметров работы. Оценка адекватности математических моделей проведена по критерию Фишера.

$$C = -149,68 + 20,912\alpha + 3,172\beta - 0,022n + 6,304H - 1,439\alpha^2 + 0,201\alpha\beta - 0,00086\alpha n - 0,421\alpha H - 0,0964\beta^2 - 0,00033\beta n + 0,116\beta H + 0,000023n^2 - 0,00029nH - 0,105H^2; \quad (1)$$

$$P = 1622,21 - 113,547\alpha - 2,705\beta - 0,127n - 56,608H + 1,577\alpha^2 + 0,083\alpha\beta + 0,006\alpha n + 1,761\alpha H + 0,0014\beta n - 0,06\beta H - 0,000023n + 0,0017nH + 0,563H^2; \quad (2)$$

где C – степень очистки, %;

- Π – производительность вибропневмосепаратора, кг/ч;
- α – угол наклона сетчатой деки;
- β – направление действия добавочной силы от электровибраторов, град;
- n – частота вращения электровибраторов, об/мин;
- H – разряжение внутри вибропневмосепаратора, мм вод.ст.



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 Delta VFD-B; 11 - секундомер

Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

Анализ экспериментальных данных показал, что чем больше степень очистки экспериментального вибропневмосепаратора, тем меньше его производительность. Связано это с тем, что для эффективного удаления трудноотделимых примесей необходимо определённое время для самосортирования фракций по слоям и отдельного их выведение из вибропневмосепаратора. Графическая зависимость производительности вибропневмосепаратора от степени очистки представлена на рисунке 2.

В настоящее время при настройке вибропневмосепараторов не учитывается первоначальная степень засорённости зерновой смеси. При этом рекомендуемые производителем кинематические параметры работы обеспечивают работу вибропневмосепаратора с постоянной производительностью и постоянным коэффициентом очистки.

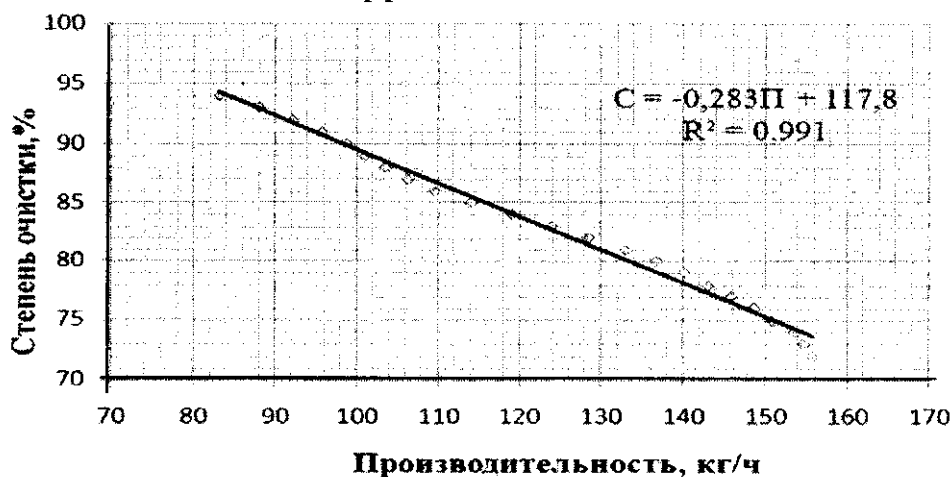


Рисунок 2 – Зависимость производительности экспериментального вибропневмосепаратора от степени очистки

Согласно ГОСТ 16990-88 рожь по содержанию спорыньи классифицируется на три основные группы: фуражная (содержание спорыньи 0,25-0,5%), продовольственная (содержание спорыньи 0,05%-0,25%) и рожь, предназначенная для помола (содержание спорыньи менее 0,05%) [2]. Следовательно, требуемая степень очистки ржи от спорыньи будет зависеть от исходной концентрации рожков спорыньи в зерновой массе и от того, в каком из звеньев технологической цепочки переработки зерна ржи необходимо устанавливать вибропневмосепаратор.

По статистическим данным за период с 1994 г. по 2007 г. в Могилёвской области во ржи, поступающей от сельхозпроизводителей, количество рожков спорыньи в зерновой массе варьирует в пределах от 0,1% до 1,8%. Исходя из этого определим необходимую степень очистки зерна в зависимости от места вибропневмосепаратора в технологической цепочке переработки зерна ржи и от степени засорённости зерновой массы.

Например, обе партии ржи по всем показателям качества относятся к категории «продовольственное», но содержание спорыньи превышает допустимые концентрации (0,25%). Содержание спорыньи в первой партии 0,45%, во второй партии 1,5%. Определим, какая должна быть степень очистки вибропневмосепаратора, чтобы очистить данную рожь до категории «продовольственное»:

$$C_1 = \frac{0,45 - 0,25}{0,45} \cdot 100 = 44,4\%;$$

$$C_2 = \frac{1,6 - 0,25}{1,6} \cdot 100 = 84,4\%.$$

Таким образом, степень очистки ржи от спорыньи 44,4% при начальной её концентрации 0,45% удовлетворяет условию очистки засорённой ржи до концентрации соответствующей продовольственной ржи (<0,25%). При начальной концентрации спорыньи 1,6% степень очистки вибропневмосепаратора для обеспечения продовольственных кондиций должна быть 84,4%.

Количество спорыньи в продовольственной ржи, поступающей в размольное отделение мукомольного предприятия не должно превышать 0,05%. Определим необходимую степень очистки вибропневмосепаратора для двух партий продовольственной ржи с содержанием спорыньи 0,08% и 0,24%.

$$C_3 = \frac{0,08 - 0,05}{0,08} \cdot 100 = 50\%$$

$$C_4 = \frac{0,25 - 0,05}{0,25} \cdot 100 = 80,0\%$$

Из приведённых примеров видно, что для доведения ржи до требуемых кондиций в зависимости от начальной концентрации спорыньи и поставленной задачи, требуемая степень очистки варьирует в достаточно широких пределах. При этом из графика (рисунок 2) видно, что чем больше степень очистки, тем производительность вибропневмосепаратора меньше.

На основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований нами предлагается следующая формулировка задачи оптимизации: получение максимальной производительности при обеспечении требуемой степени очистки.

Для решения многокритериальной задачи оптимизации была построена целевая функция, которая обеспечивает обобщённую оценку процесса вибропневмосепарирования, отображаемую векторным критерием. В этом случае исходная задача оптимизации свелась к однокритериальной. Исходя из условия оптимизации процесса вибропневмосепарирования (обеспечение максимальной производительности исходя из требуемой степени очистки) наиболее целесообразно в качестве пути решения многокритериальной задачи оптимизации принять максиминную стратегию решения [3].

Максиминная стратегия решения многокритериальных задач оптимизации нацелена на максимальное удовлетворение технических требований, предъявляемых к объекту проектирования. В ее основе лежит идея равномерности, суть которой заключается в выравнивании всех нормированных критериев оптимальности:

$$\frac{b_i y_i(\vec{X})}{Y_i^0} \rightarrow B, \quad i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где B – некоторое вещественное число;

b_i – коэффициенты.

Максиминная стратегия решения многокритериальных задач лишена недостатков, присущих другим стратегиям, при которых улучшение одних критерия достигается за счёт бесконтрольного ухудшения других. При использовании максиминной стратегии влияние на целевую функцию оказывает лишь тот критерий, который в данной точке X пространства управляемых параметров является наихудшим с позиции выполнения технических требований к объекту. В результате происходит выравнивание оценок степени выполнения технических требований.

При наличии регрессионной математической модели технического объекта (уравнения (1) и (2)) целевая функция формируется в виде:

$$F(x) = c_1 \left(\frac{C(x) - C_{extr}}{C_{max} - C_{min}} \right)^2 + c_2 \left(\frac{\Pi(x) - \Pi_{extr}}{\Pi_{max} - \Pi_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

где c_1, c_2 – коэффициент веса, характеризующие значимость критериев;

$C_{min}=70\%$, $C_{max}=97\%$ – минимальное и максимальное значение степени очистки, достигаемое в области варьирования факторов \vec{X} в процессе эксперимента;

$\Pi_{min}=12$ кг/ч;

$\Pi_{max}=170$ кг/ч – минимальное и максимальное значение производительности, достигаемое в области варьирования факторов \vec{X} в процессе эксперимента;

C_{extr}, Π_{extr} экстремальные значения степени очистки и производительности (при максимизации критериев $C_{extr} = C_{max}=97\%$ и $\Pi_{extr} = \Pi_{max}=170$ кг/ч).

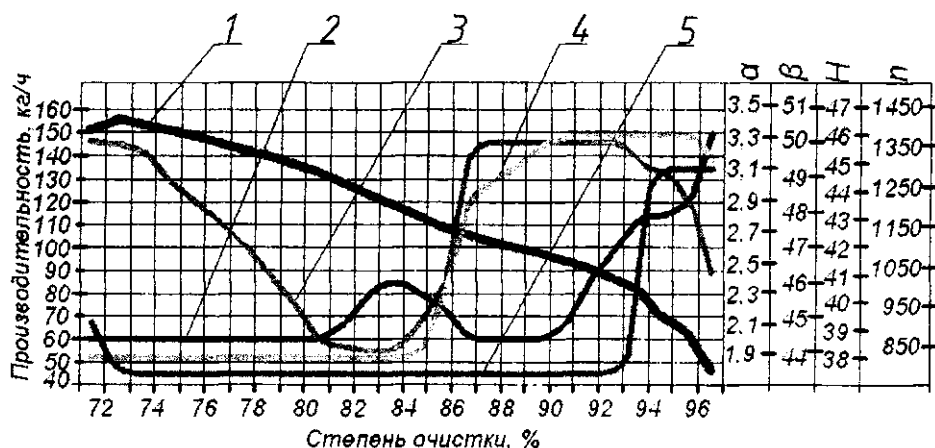
Целевая функция (4) подлежит минимизации. Она позволяет обеспечить максимальное приближение всех критериев к их экстремальным значениям и реализует стратегию минимакса.

Математическое решение задачи оптимизации процесса вибропневмосепарирования проводилось в системе Mathcad. При этом в целевой функции проводилось пошаговое фиксирование значения степени очистки, и находились параметры процесса, обеспечивающие максимальную для данного случая производительность.

В результате решения задачи оптимизации будут получены оптимальные кинематические и конструктивные параметры работы экспериментального вибропневмосепаратора максимально удовлетворяющие условию минимизации целевой функции для требуемой степени очистки.

По результатам оптимизации процесса вибропневмосепарирования на основе максиминной стратегии была построена номограмма, представленная на рисунке 3. Данная номограмма позволяет определить кинематические и конструктивные параметры работы вибропневмосепаратора, обеспечивающие максимально возможную производительность исходя из требуемой степени очистки исходной зерновой массы от примесей.

Для примера, рассмотренного ранее, (необходимая степень очистки $C_2=84,4\%$) максимальная производительность будет равна 119 кг/ч, а параметры, обеспечивающие данную производительность: угол наклона сетчатой деки $\alpha=2,4^\circ$; избыточное давление $H=38$ мм вод.ст.; направление действия добавочной силы от электровибраторов $\beta=44^\circ$; частота вращения электровибраторов $n=900$ об/мин. Результаты определения оптимальных кинематических и конструктивных параметров работы экспериментального вибропневмосепаратора сведены в таблицу 1.



1 – производительность, кг/ч; 2 – угол наклона сетчатой деки, град.; 3 – направление действия добавочной силы от электровибраторов, град.; 4 – избыточное давление, мм.вод.ст.; 5 – частота вращения электровибраторов, об/мин.

Рисунок 3 – Номограмма для определения оптимальных кинематических и конструктивных параметров работы вибропневмосепаратора исходя из требуемой степени очистки

Таблица 1 – Оптимальные кинематические и конструктивные параметры работы вибропневмосепаратора исходя из требуемой степени очистки

Необходимая степень очистки С, %	Макс. производительность для данной степени очистки П, кг/ч	Кинематические и конструктивные параметры работы			
		α, град	β, град	п, об/мин	Н, мм вод.ст.
1	2	3	4	5	6
72	152,3	2	50	1043	38
73	155,8	2	49,95	900	38
74	153,5	2	49,7	900	38
75	151	2	48,9	900	38
76	148,5	2	48,3	900	38
77	145,8	2	47,7	900	38
78	143	2	47	900	38
79	140	2	46,2	900	38
80	136,7	2	45,3	900	38
81	132,9	2	44,2	900	38
82	128,5	2,1	44,1	900	38
83	123,9	2,3	44	900	38
84	119,1	2,4	44	900	38
85	114,2	2,3	44,8	900	38
86	109,7	2,2	46	900	40,5
87	106,4	2	50	900	43,8
88	103,6	2	50	900	44,4
89	101	2	50	900	45
90	98,7	2	50	900	45,7
91	95,8	2,1	50	900	46
92	92,1	2,4	50	900	46
93	88	2,6	50	900	46
94	83,1	2,8	49,3	900	46
95	70,7	2,8	49,1	1500	46
96	64,7	2,9	48,1	1500	46
97	47	3,45	45,3	1500	44,7

Из таблицы 1 видно, что в зависимости от требуемой степени очистки производительность экспериментального вибропневмосепаратора для очистки ржи от спорыньи изменяется

от 47 кг/ч до 152 кг/ч. Таким образом, определив необходимую степень очистки, можно при помощи номограммы, представленной на рисунке 3, определить оптимальные кинематические и конструктивные параметры работы вибропневмосепаратора, обеспечивающие максимальную производительность. Данный подход по оптимизации экспериментального вибропневмосепаратора, применителен к промышленным образцам, и позволяет до 3-х раз увеличить производительность, и тем самым значительно сократить материальные и трудовые издержки на очистку зерновой массы.

Заключение

Разработана методика оптимизации, позволяющая определить оптимальные кинематические и конструктивные параметры работы зерноочистительного оборудования, обеспечивающие максимальную производительность в зависимости от требуемой степени очистки. Даны рекомендации по применению предложенной методики для оптимизации работы всего ряда зерноочистительных машин с регулируемыми кинематическими и конструктивными параметрами работы и с ярко выраженной зависимостью качества сепарирования от производительности.

Литература

1. Иванов, А.В. Очистка ржи от спорыньи на экспериментальном вибропневмосепараторе / Иванов А.В., Поздняков В.М., Рукшан Л.В. // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады международной научно-практической конференции, Минск, 12-13 июня 2008 г. / УО «БГАТУ». – Минск, 2008. – С. 162–166 (Часть 2).
2. ГОСТ 16990-88 Рожь. Требования при заготовках и поставках (Взамен ГОСТ 16990-71). – Введен 01.07.1996. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 21 с.
3. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем / В.П. Тарасик. – Минск.: ДизайнПРО, 2004. – 640с.

Поступила в редакцию 30.09.2008