

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВИБРОПНЕВМОСЕПАРАТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ РЖИ ОТ СПОРЫНЬИ НА ОСНОВЕ МАКСИМИННОЙ СТРАТЕГИИ

А.В. Иванов, докт. техн. наук, профессор, В.М. Поздняков, аспирант (УО «Могилевский государственный университет продовольствия»)

Аннотация

В работе описывается разработанный вибропневмосепаратор для очистки ржи от спорыньи с принципиально новыми конструктивными решениями, позволяющий значительно повысить степень очистки и при этом сократить потери годного зерна с примесями. Получены математические зависимости степени очистки и производительности от кинематических и конструктивных параметров его работы. Используя обобщенную целевую функцию, удалось получить оптимальные кинематические и конструктивные параметры работы, обеспечивающие максимальную степень очистки и производительность.

Введение

Зерновое производство в нашей стране традиционно является основной и наиболее значимой отраслью сельского хозяйства, от развития которой в значительной мере зависит обеспеченность населения продуктами питания, его жизненный уровень. Важнейшим звеном в единой технологической цепочке зернового производства является послеуборочная обработка и хранение зерна. Анализ зерна, поступающего на зерноперерабатывающие предприятия республики, позволяет судить о массовом распространении и развитии спорыньи. Спорынья содержит вредные для организма людей и животных вещества – эрготоксины. Мука из зерна с примесью спорыньи более 0,05% непригодна для выпечки хлеба, а зерно с содержанием спорыньи более 0,5% - для скармливания животным [1]. Повышение количества спорыньи снижает долю продовольственного зерна группы «А» и одновременно повышает количество зерна технического назначения группы «Б», что приводит к значительным материальным потерям для сельскохозяйственных предприятий в связи с более низкой закупочной стоимостью зерна группы «Б». Проведенный анализ существующего оборудования показывает, что на данный момент в нашей Республике не существует достаточно эффективного оборудования, позволяющего выделять такие трудноотделимые примеси как спорынья. Поэтому разработка конструкции отечественной машины для выделения спорыньи – необходимый этап в процессе совершенствования технологии очистки зерна и подготовки семенного материала.

Основная часть

Результаты теоретических и экспериментальных исследований

Основной проблемой выделения спорыньи из ржи является то, что размеры спорыньи находятся в достаточно широких пределах. На ситовых сепараторах и триерах выделяется крупная и мелкая фракция спорыньи. Средняя же фракция, геометрические ха-

рактеристики которой близки к характеристикам ржи остаётся в зерновой массе.

В настоящее время зарубежные изготовители зерноочистительного оборудования для очистки ржи от рожков спорыньи предлагают применять фотоэлектронные сепараторы, использующие различия по цвету ржи и рожков спорыньи. Однако высокая стоимость, сложность технического обслуживания и настроек под конкретную партию зерна снижают эффект сепарирования и делают данный тип машин для большинства отечественных зерноперерабатывающих предприятий недоступными. Исходя из этого, наиболее эффективное разделение зерновой массы и спорыньи, на наш взгляд, следует проводить по различиям в плотности рожков спорыньи и ржи на машинах вибропневматического принципа действия. Попытки создания вибропневмосепаратора для очистки ржи от спорыньи предпринимались и ранее, однако при этом в отходы уходило до 30% годного зерна, что делало использование данных машин экономически неэффективным.

В МГУП несколько лет ведутся исследования по разработке технологий и оборудования для выделения спорыньи из ржи. Одним из направлений является разделение ржи и рожков спорыньи по различию плотности. Наиболее эффективным оборудованием для разделения сыпучей смеси по плотности являются машины, работающие по вибропневматическому принципу действия [2]. Изучение поведения зерновой смеси, находящейся в состоянии псевдооживления на вибрирующей шероховатой поверхности усложняет многообразие факторов, влияющих на процесс: угол наклона сетчатой деки, направление действия добавочной силы от электровибраторов, амплитуда колебаний и частота колебаний сетчатой деки, нагрузка на сетчатую деку, длина ситовой поверхности, равномерность распределения скоростей воздушного потока. Для изучения влияния кинематических и конструктивных параметров работы вибропневмосепаратора на эффективность разделения зерновой массы, состоящей из ржи и спорыньи, был изготовлен экспериментальный вибропневмосепаратор (рис. 1) [3-4].



Рисунок 1. Экспериментальный вибропневмосепаратор для разделения сыпучих продуктов по плотности

Конструкция экспериментального вибропневмосепаратора позволяет регулировать следующие основные параметры: угол наклона сетчатой деки, направление действия добавочной силы от электровибраторов, амплитуду и частоту колебаний сетчатой деки, подачу продукта на сетчатую деку. На элементы вибропневмосепаратора подано 7 заявок на предполагаемые изобретения республики Беларусь.

Для определения оптимальных кинематических и конструктивных параметров работы экспериментального вибропневмосепаратора был проведен многофакторный эксперимент по плану Бокса-Уилсона 2^4 +звезда. Факторами варьирования выбраны: угол наклона сетчатой деки ($A=2\div5^\circ$), направление действия добавочной силы от электровибраторов ($B=42\div50^\circ$), разряжение внутри вибропневмосепаратора ($H=38\div46$ мм вод.ст.) и частота вращения электровибраторов ($n=900\div1400$ об/мин). В качестве выходной функции были исследованы такие показатели, характеризующие эффективность работы вибропневмосепаратора, как степень очистки ржи от рожков спорыньи $C, \%$ и производительность $\Pi, \text{кг/ч}$. При проведении эксперимента создавалась зерновая смесь с заданной концентрацией спорыньи 1%, что имитировало некондиционную по содержанию спорыньи рожь.

В результате анализа полученных данных при помощи статистического пакета программ STATGRAPHICS Plus были получены графические и математические зависимости, позволяющие оценить влияние входных факторов на выходную функцию. Критерием оптимизации являлась степень очистки, при обеспечении максимальной производительности.

На рис. 2 представлена карта Парето для степени очистки и производительности.

Наибольшее влияние на степень выделения ржи от спорыньи оказывает фактор Н (разряжения внутри вибропневмосепаратора). С ростом значения данного фактора степень очистки С будет возрастать, числовое значение коэффициента при Н в математической модели наибольшее. На втором месте по степени влияния находится квадрат фактора А. С ростом значения фактора сила влияния на параметр оптимизации С, т.е. на степень очистки, убывает. Наименьшее влияние на процесс очистки ржи от спорыньи оказывает частота вращения электровибраторов n. Наибольшее влияние на производительность экспериментального вибропневмосепаратора оказывает угол наклона сетчатой деки к горизонту. Увеличение данного фактора приводит к уменьшению производительности. На втором месте по степени влияния находится фактор Н. При увеличении данного фактора производительность уменьшается. Значительное влияние на производительность также оказывает направление действия добавочной силы от электровибраторов В. Увеличение данного фактора (в пределах экспериментального диапазона) приводит к повышению производительности вибропневмосепаратора. Влияние на производительность такого фактора как частота вращения электровибраторов n незначительно (не пересекает линию значимости).

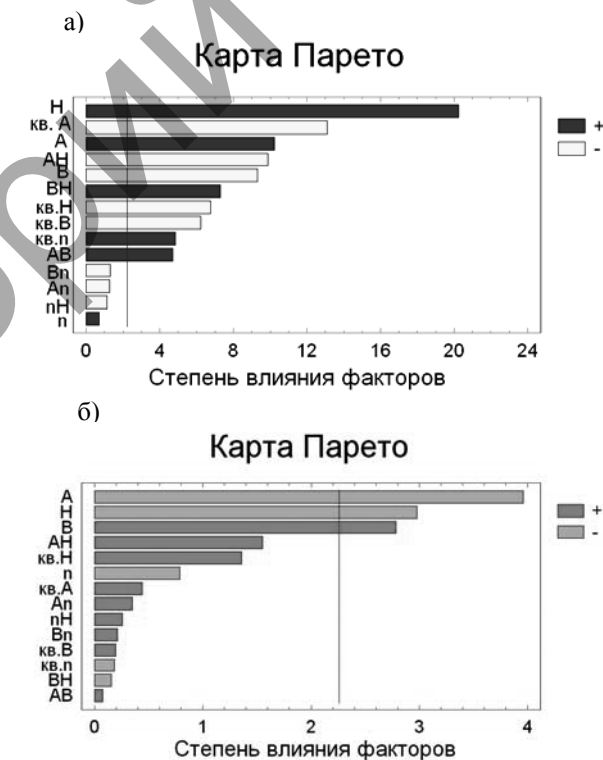


Рисунок 2. Степень влияния входных параметров на степень очистки и производительность: а) – выходная функция степень очистки; б) – выходная функция производительность

На рис. 3 представлена графическая зависимость степени очистки и производительности от величины угла сетчатой деки А и направления действия добавочной силы от электровибраторов В при частоте

вращения электровибраторов $n=1150$ об/мин. и избыточном давлении $H=42$ мм.вод.ст.

Знание зависимости производительности и степени очистки вибропневмосепаратора от его кинематических и конструктивных параметров позволяет оптимизировать его работу. Как отмечалось ранее, критерием оптимизации работы вибропневмосепаратора для очистки ржи от спорыньи является обеспечение максимальной степени очистки при максимальной производительности вибропневмосепаратора. На рис. 4 представлены линии уровней поверхностей отклика, представленных на рис. 3.

Используя график, представленный на рис. 4, и зная требуемую степень очистки, можно подобрать оптимальные кинематические и конструктивные параметры работы вибропневмосепаратора, обеспечивающие максимальную производительность и соответственно максимально эффективную эксплуатацию данного оборудования.

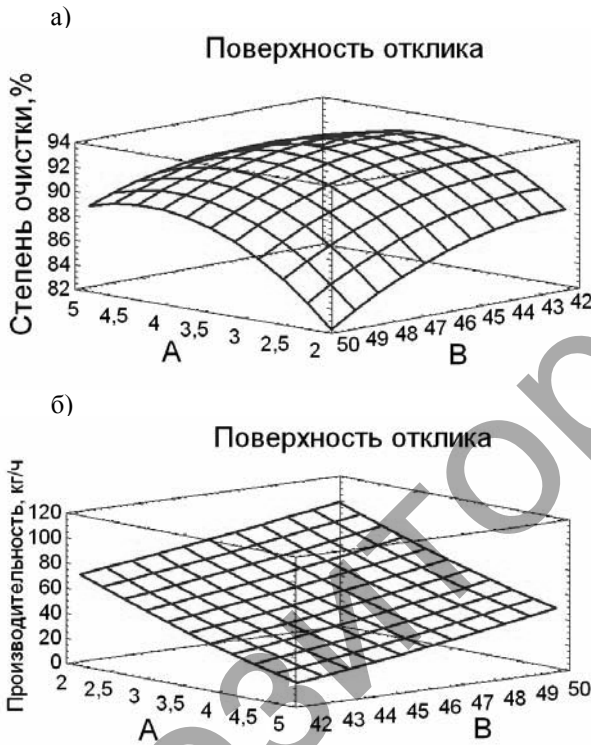


Рисунок 3. Поверхности отклика: а) – выходная функция степень очистки; б) – выходная функция производительность

С точки зрения обеспечения максимальной степени очистки оптимальные режимы вибропневмосепарирования для разделения зерновой массы, состоящей из ржи и спорыньи, с процентным содержанием спорыньи в исходной смеси 1%, на экспериментальном вибропневмосепараторе являются: угол наклона сетчатой деки к горизонту $A=3,1^\circ$; направление действия добавочной силы от электровибраторов $B=44,9^\circ$; частота вращения электровибраторов $n=1650$ об/мин; избыточное давление $H=46,6$ мм вод.ст.

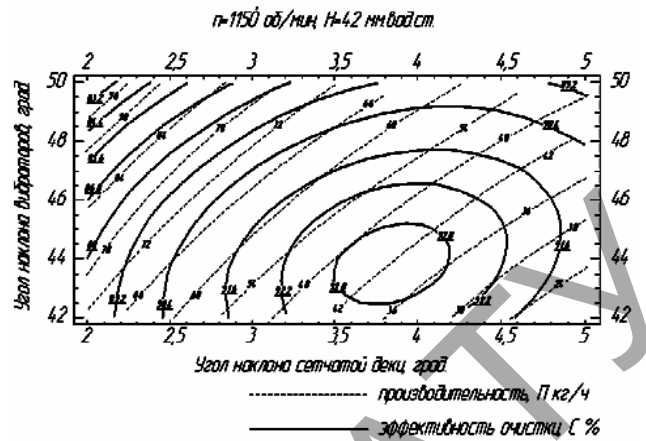


Рисунок 4. Линии равных уровней поверхностей отклика

Предполагаемая степень очистки при данных кинематических параметрах работы составляет 98,7%. Параметрами, обеспечивающими максимальную производительность, являются: $A=0,5^\circ$; $B=53,9^\circ$; $n=978$ об/мин; $H=34,1$ мм.вод.ст.

На основании экспериментальных данных были получены математические зависимости (1-2), позволяющие прогнозировать степень очистки и производительность экспериментального вибропневмосепаратора при изменении кинематических и конструктивных параметров работы. Осуществлена оценка адекватности математических моделей по критерию Фишера.

$$C = -149,68 + 20,912A + 3,172B - 0,022n + 6,304H - 1,439A^2 + 0,201AB - 0,00086An - 0,421AH - 0,0964B^2 - 0,00033Bn + 0,116BH + 0,00023n^2 - 0,00029nH - 0,105H^2 \quad (1)$$

$$P = 1622,21 - 113,547A - 2,705B - 0,127n - 56,608H + 1,577A^2 + 0,083AB + 0,006An + 1,761AH + 0,0014Bn - 0,06BH - 0,000023n + 0,0017nH + 0,563H^2 \quad (2)$$

Конечной целью оптимизации является получение наилучших из числа возможных альтернатив кинематических и конструктивных параметров работы проектируемого вибропневмосепаратора, обеспечивающих максимально возможную степень очистки и производительность. Оптимизация работы вибропневмосепаратора предусматривает совместное решение уравнений (1), (2) и отыскание входных факторов A , B , n , H , при которых выходные функции C , P должны быть максимальными.

Для решения многокритериальной задачи оптимизации необходимо построить целевую функцию, которая обеспечивала бы обобщённую оценку процесса вибропневмосепарирования, отображаемую векторным критерием. В этом случае исходная задача сводится к однокритериальной. Исходя из условия оптимизации процесса вибропневмосепарирования (обеспечение максимальной степени очистки и производительности) наиболее целесообразно в качестве пути решения многокритериальной задачи оптимизации

принять максиминную стратегию решения [5]. 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:

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

где B - некоторое вещественное число; b_i — коэффициенты.

Максиминная стратегия решения многокритериальных задач лишена недостатков, присущих другим стратегиям, при которых улучшение одних критериев 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 целевая функция формируется в виде:

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

где c_1, c_2 — коэффициент веса, характеризующий значимость критериев; $C_{min}=70\%$, $C_{max}=97\%$ — минимальное и максимальное значение степени очистки, достигаемое в области варьирования факторов \bar{X} в процессе эксперимента; $P_{min}=12$ кг/ч, $P_{max}=170$ кг/ч — минимальное и максимальное значение производительности, достигаемое в области варьирования факторов \bar{X} в процессе эксперимента; C_{extr}, P_{extr} — экстремальные значения степени очистки и производительности (при максимизации критериев $C_{extr} = C_{max}=97\%$ и $P_{extr} = P_{max}=170$ кг/ч).

Коэффициенты веса выбираются из условия:

$$\sum_{j=1}^m c_j = 1 \quad c_j > 0 \quad (5)$$

Для процесса очистки зерновой массы наибольшее значение имеет такой параметр как степень очистки. Достижение необходимой степени очистки является необходимым условием проектирования высокоэффективного оборудования. На основании опытных данных целесообразно принять коэффициенты веса для степени очистки $c_1=0,8$ и для производительности $c_2=0,2$.

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. В результате решения задачи оптимизации были получены оптимальные кинематические и конструктивные параметры работы экспериментального

вибропневмосепаратора максимально удовлетворяющие условию минимизации целевой функции. Оптимальными параметрами работы экспериментального вибропневмосепаратора для очистки ржи от спорыньи являются: угол наклона сетчатой деки к горизонту $A=2,8^\circ$; направление действия добавочной силы от электровибраторов $B=49,2^\circ$; частота вращения электровибраторов $n=900$ об/мин; избыточное давление $H=46$ мм.вод.ст. При данных параметрах работы степень лабораторного вибропневмосепаратора равняется 92,1%, а производительность 105 кг/ч. Лабораторный вибропневмосепаратор поддается физическому моделированию. При этом производительность промышленного модернизированного вибропневмосепаратора с площадью ситовой поверхности, равной площади ситовой поверхности машин аналогичного принципа действия, будет равняться 4-5 т/ч.

Заключение

Разработан экспериментальный вибропневмосепаратор для очистки ржи от спорыньи с принципиально новыми конструктивными решениями, позволяющий значительно повысить эффективность очистки ржи от спорыньи и при этом снизить потери годного зерна с примесями. Получены математические зависимости степени очистки и производительности от кинематических и конструктивных параметров его работы. Оптимальными кинематическими и конструктивными параметрами работы вибропневмосепаратора, обеспечивающими степень очистки (92,1%) и максимальную производительность (105 кг/ч), являются: угол наклона сетчатой деки к горизонту $A=2,8^\circ$; направление действия добавочной силы от электровибраторов $B=49,2^\circ$; частота вращения электровибраторов $n=900$ об/мин; избыточное давление $H=46$ мм.вод.ст.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рожь. Требования при заготовках и поставках: ГОСТ 16990-88. – Введен 01.07.1996. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 21 с.
2. Гортинский, В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях/ В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – М.: Колос, 1980. – 303 с.
3. Иванов, А.В. Повышение эффективности и снижение потерь годного зерна при выделении спорыньи из ржи/ А.В. Иванов, В.М. Поздняков// Материалы VII Всероссийской конференции молодых ученых «Пищевые технологии». – Казань: УО «КГТУ», 2007. – С. 120.
4. Поздняков, В.М. Модернизация вибропневмосепаратора для разделения спорыньи и ржи/ В.М. Поздняков, А.В. Иванов// Техника и технология пищевых производств: тезисы докл. VI-й Международ. научно-технич. конференции, Могилев, 22-23 мая 2007 г./ УО «МГУП». – Могилев, 2007. – С. 332-333.
5. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем/ В.П. Тарасик. – Мн.: Дизайн-ПРО, 2004. – 640 с.