

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗРЫХЛИТЕЛЕЙ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА

Пивень М.В., к.т.н., доц., Слипченко М.В., к.т.н., доц.
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)

Методом планування багатofакторного експерименту обґрунтовані конструктивні параметри розпушувачів зернових сумішей вібровідцентрового сепаратора.

Постановка проблемы. Одним из главных путей увеличения продукции животноводства является повышение качества кормов. Корма изготавливают на основе зернового сырья, очищенного от примесей и отсортированного на фракции. В связи с этим, особую актуальность приобретают задачи сепарирования зерновых смесей. Однако, существующие вибрационные и виброцентробежные сепараторы не полностью удовлетворяют возрастающие требования производства, возникает необходимость интенсификации процессов зерновых сепараторов.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1, 2] интенсификация процессов зерновых сепараторов достигается оптимизацией кинематических режимов работы и разработкой новых форм колебаний решет.

В работах [3, 4, 5] исследовано влияние формы рабочей поверхности решета, геометрии его отверстий и предварительного расслоения смеси на интенсификацию процесса сепарирования.

Исследованиями Б.И. Котова [6, 7] установлено, что повышение эффективности работы зерновых сепараторов заключается в интенсификации внутрислоевых процессов, путем увеличения разрыхленности зерновой смеси. И.А. Гуриным [8], В.М. Дринчей [9] и другими предложены различные конструкции разрыхлителей зерновой смеси, однако в литературе отсутствуют исследования по обоснованию их конструктивных параметров.

Цель исследований – обоснование конструктивных параметров разрыхлителей зерновой смеси при сепарировании цилиндрическими виброцентробежными решетками.

Результаты исследований. Лабораторией послеуборочной обработки зерна ХНТУСХ имени Петра Василенка разработаны новые конструкции разрыхлителей в виде наваренных на поперечных перемычках ребер или выштампованных продолговатых рифлей (рис.1, а, б).

При вибрациях решета разрыхлители сообщают воздействия в смесь и разрыхляют ее, что способствует быстрому продвижению частиц из слоя к решету и дальнейшему просеиванию сквозь отверстия.

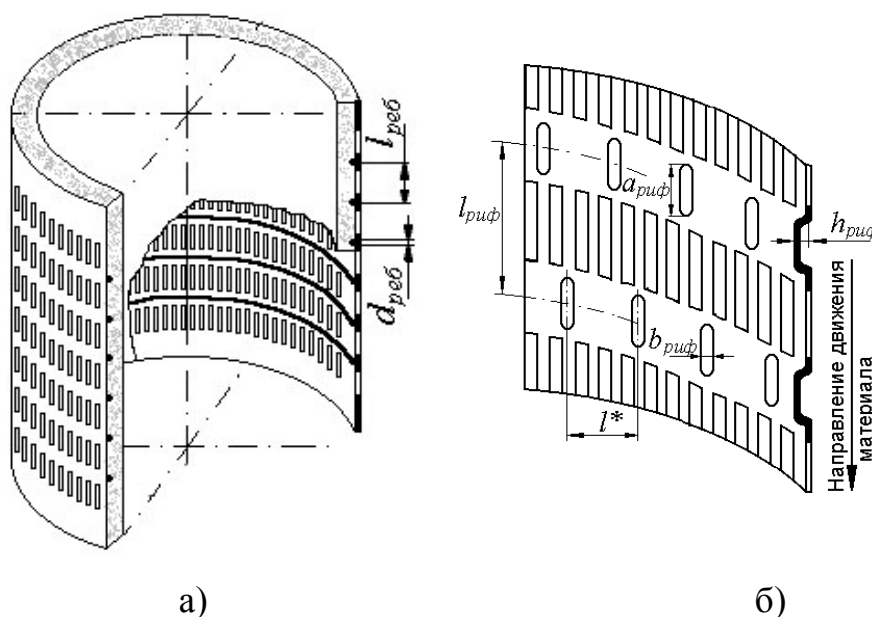


Рисунок 1 - Конструктивные схемы цилиндрических решет с разрыхлителями: а – ребрами; б – рифлями

Ребра устанавливаются на подсевном решете, а рифли на сортировальном решете. Размеры продолговатых отверстий подсевного решета $1,7 \times 16 \text{ мм}^2$, сортировального $2,2 \times 20 \text{ мм}^2$. Конструктивными параметрами разрыхлителей являются: диаметр ребер $d_{реб}$; расстояние между ребрами $l_{реб}$; высота рифлей $h_{риф}$; расстояние между рядами рифлей $l_{риф}$; расстояние между рифлями l^* ; ширина рифлей $b_{риф}$; длина рифлей $a_{риф}$.

Для обоснования конструктивных параметров разрыхлителей была применена методика планирования многофакторного эксперимента. Математическая модель процесса сепарирования зерновой смеси цилиндрическими виброцентробежными решетками с разрыхлителями получена в работе [10] путем реализации центрального композиционного равномер-рототабельного плана второго порядка

$$\begin{aligned}
 q = & 50,8485 + 24,970d_{реб} + 0,0122l_{реб} + 7,2746h_{риф} + 0,00573l_{риф} + 0,2724l^* + \\
 & + 0,00015d_{реб}l_{реб} + 0,078d_{реб}h_{риф} + 0,00045d_{реб}l_{риф} - 0,0094d_{реб}l^* + \\
 & + 0,00015l_{реб}h_{риф} - 0,0000014l_{реб}l_{риф} + 0,00003l_{реб}l^* + 0,0016h_{риф}l_{риф} - \\
 & - 0,00104h_{риф}l^* - 0,00001l_{риф}l^* - 8,325d_{реб}^2 - 0,00048l_{реб}^2 - \\
 & - 2,875h_{риф}^2 - 0,0003l_{риф}^2 - 0,0096l^{*2}.
 \end{aligned} \quad (1)$$

За критерий оптимизации процесса сепарирования зерновых смесей с интенсификацией разрыхлителями принята удельная производительность $q \text{ кг/час дм}^2$, определяемая величиной удельной загрузки при заданной чистоте сходовой фракции. Факторы ширина $b_{риф}$ и длина $a_{риф}$ рифлей были исключены из опытов как малозначащие.

Анализ полученной математической модели и определение оптимальных значений изучаемых факторов проводилось методом двумерных сечений по-

верхности отклика, описываемой уравнением (1). Для облегчения расчетов анализ модели проводился с закодированными значениями факторов

$$Y = 75,771 + 0,3348x_1 - 0,153x_2 + 0,2172x_3 - 0,0971x_4 + 0,257x_5 + 0,000625x_1x_2 + 0,00312x_1x_3 + 0,00187x_1x_4 - 0,00562x_1x_5 + 0,000625x_2x_3 - 0,000625x_2x_4 + 0,00187x_2x_5 + 0,00687x_3x_4 - 0,000625x_3x_5 + 0,000625x_4x_5 - 0,333x_1^2 - 0,211x_2^2 - 0,115x_3^2 - 0,134x_4^2 - 0,086x_5^2, \quad (2)$$

где Y – удельная производительность, x_1 – диаметр ребер, x_2 – расстояние между ребрами, x_3 – высота рифлей, x_4 – расстояние между рядами рифлей, x_5 – расстояние между рифлями.

Двумерное сечение поверхности, характеризующей удельную производительность виброцентробежного сепаратора с разработанными решетками в зависимости от диаметра ребер (x_1) и расстояния между ними (x_2). Для получения этого сечения подставляем значения $x_3=0$; $x_4=0$; $x_5=0$ в уравнение (2). В результате имеем

$$Y = 75,771 + 0,23348x_1 - 0,153x_2 + 0,000625x_1x_2 - 0,333x_1^2 - 0,211x_2^2. \quad (3)$$

Определяем координаты центра поверхности дифференцированием уравнения (3) и решением системы уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx_1} &= 0,3348 + 0,000625x_2 - 0,664x_1 = 0, \\ \frac{dy}{dx_2} &= -0,153 + 0,000625x_1 - 0,422x_2 = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

После решения системы (4) определены координаты центра поверхности отклика: $x_{1S} = 0,504$; $x_{2S} = -0,3617$. Подставляя их в уравнение (3) получили значение удельной производительности вибросепаратора с разработанными решетками в центре поверхности $Y_S = 75,883$ кг/час·дм².

Для канонического преобразования уравнения (3) решаем характеристическое уравнение

$$B^2 - 0,544B + 0,0702 = 0. \quad (5)$$

Собственными корнями данного характеристического уравнения будут: $B_{11} = 0,333$; $B_{22} = 0,2105$, а само уравнение в канонической форме запишется

$$Y - 75,88 = 0,333X_1^2 + 0,2105X_2^2. \quad (6)$$

Угол поворота осей координат в центре поверхности отклика для нашего случая равен

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{0,000625}{-0,333 - (-0,211)} = -0,0051; \quad \alpha = -0^\circ 8'. \quad (7)$$

Подставляя различные значения показателя удельной производительности решет в уравнение (4), получаем уравнения соответствующих контурных кривых – эллипсов, в совокупности представляющих целое семейство сопряженных эллипсов (линий равного значения показателя удельной производительности). Результаты расчетов представлены на рис. 2.

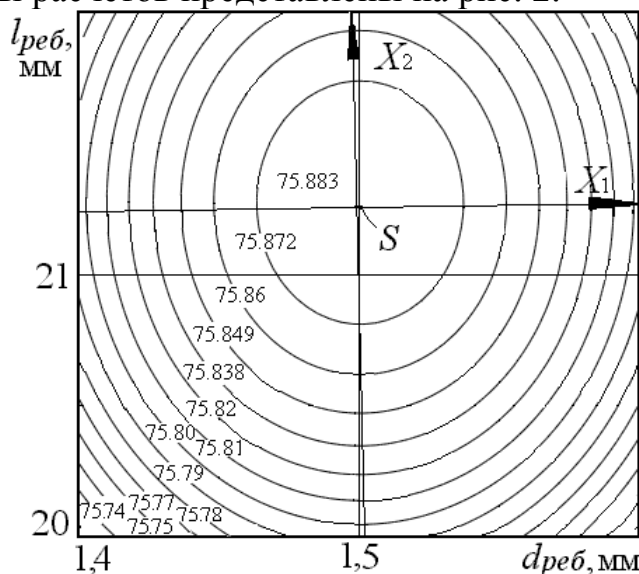


Рисунок 2 - Двумерное сечение поверхности отклика при $x_3=0$; $x_4=0$; $x_5=0$

На рис. 2 видно, что максимальное значение удельной производительности q в рассматриваемом сечении поверхности отклика при прочих факторах (x_3, x_4, x_5), взятых на нулевом уровне, равно $75,88 \text{ кг/час}\cdot\text{дм}^2$ и имеет место при диаметре ребер около $1,5 \text{ мм}$ и расстоянии между ними 21 мм . На основании этого рисунка можно также заключить, что оптимальные значения рассматриваемых факторов находятся в пределах $d_{\text{реб}}=1,4\dots 1,6 \text{ мм}$, $l_{\text{реб}}=21 \text{ мм}$.

Двумерное сечение поверхности отклика, описываемой уравнением (2) по факторам: высота рифлей (x_3) и расстояние между рядами рифлей (x_4) представлены на рис. 3. Для получения этого сечения подставляем значения: $x_1=0$; $x_2=0$; $x_5=0$ в уравнение (2) и находим

$$Y = 75,771 + 0,2172x_3 - 0,0971x_4 + 0,00687x_3x_4 - 0,115x_3^2 - 0,134x_4^2. \quad (8)$$

При дифференцировании уравнения (8) были найдены координаты центра:

$x_{3S} = 0,934$; $x_{4S} = -0,338$. Подставляя эти значения в уравнение (8) получим значение удельной производительности вибросепаратора в центре поверхности: $Y_S = 75,89 \text{ кг/час}\cdot\text{дм}^2$. Угол поворота новых осей координат равен $\alpha = 0^\circ 32'$. После расчета коэффициентов уравнения регрессии в канонической форме оказалось, что: $B_{33} = 0,1345$; $B_{44} = 0,1155$. Само уравнение в канонической форме запишется:

$$Y - 75,89 = 0,1345X_3^2 + 0,115X_4^2. \quad (9)$$

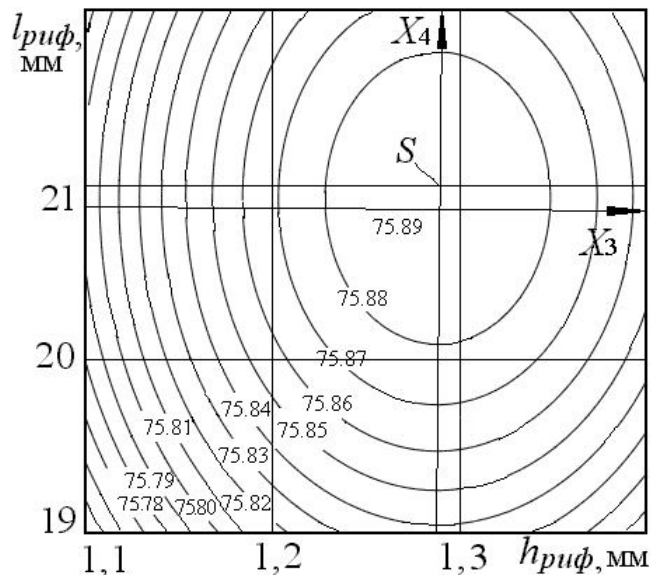


Рисунок 3 - Двумерное сечение поверхности отклика при $x_1=0$; $x_2=0$; $x_5=0$

Из рис. 3 следует, что максимальное значение удельной производительности в рассматриваемом сечении поверхности отклика равно $75,99 \text{ кг/час}\cdot\text{дм}^2$ и имеет место при высоте рифлей около $1,3 \text{ мм}$ и расстоянии между их рядами 21 мм . На основании этого рисунка можно заключить, что область оптимума находится в пределах, $h_{\text{риф}}=1,2\dots 1,4 \text{ мм}$ и $l_{\text{риф}}=21 \text{ мм}$.

При рассмотрении двумерного сечения поверхности отклика по уравнению регрессии (2) относительно факторов: высота рифлей (x_3) и расстояние между ними (x_5), прочие факторы фиксировались на нулевом уровне. В результате аналогичных расчетов получили: $X_{3S} = 0,940$; $X_{5S} = 1,490$; $Y_S = 76,06 \text{ кг/час}\cdot\text{дм}^2$; $\alpha = 0^\circ 37'$. Подсчет коэффициентов канонического уравнения показал, что $B_{33} = 0,1007$; $B_{55} = 0,1003$. Уравнение в канонической форме запишется:

$$Y - 76,06 = 0,1007X_3^2 + 0,1003X_5^2. \quad (10)$$

После подстановки в уравнение (10) различных значений критерия оптимизации получили уравнения второй степени в стандартной форме, с помощью которых построена система контурных кривых, характеризующих удельную производительность вибросепаратора при различных значениях изучаемых факторов. Результаты расчетов представлены на рис. 4.

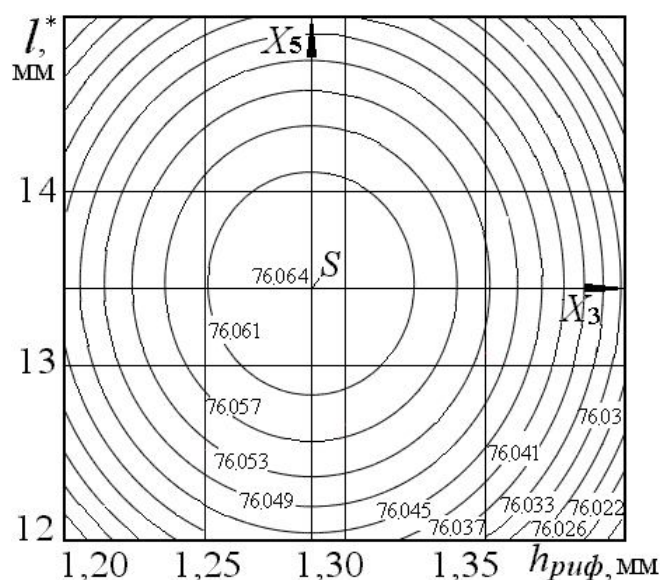


Рисунок 4 - Двумерное сечение поверхности отклика при $x_1=0$; $x_2=0$; $x_4=0$

Рассмотрение данного сечения показывает, что совместное взаимодействие факторов x_3 и x_5 в области эксперимента имеет экстремум по величине удельной производительности в точке с $Y_S = 76,06$ кг/час·дм² при значении факторов, соответственно, $h_{риф}=1,3$ мм и $l^*=13$ мм. Причем оптимальные значения описываемых факторов находятся в пределах $h_{риф}=1,2...1,4$ мм и $l^*=12...14$ мм.

Вывод. Применением методики планирования факторного эксперимента установлены оптимальные значения конструктивных параметров ребер подсевого и рифлей сортировального решет при сепарировании виброцентробежным сепаратором: диаметр ребер $d_{реб}=1,4...1,6$ мм; высота рифлей $h_{риф}=1,2...1,4$ мм; расстояние между ребрами и рядами рифлей $l_{реб}=l_{риф}=21$ мм; расстояние между рифлями $l^*=12...14$ мм.

Список литературы

1. Гончаров Е.С. Оптимальная частота колебаний решет при обработке зерновых материалов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Урожай, 1976. – Вып.33. – С. 19 – 25.
2. Быков В.С. Определение кинематических параметров решета // Техника в сельском хозяйстве. – 1997. – №5. – С. 16 – 18.
3. Странадко Г.Г. Интенсификация процесса центробежного сепарирования зерна: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Воронежская государственная технологическая академия. – Воронеж, 1995. – 16 с.
4. Решето семяочистительной машины: А.с. 1639771 СССР, МКИ В07В 1/04 / В.М. Дринча, Е.И. Кучер, И.Н. Зинь (СССР). – №4672021/03; Заявл. 03.04.89; Оpubл. 07.04.91, Бюл. №13. – 3 с.
5. Стрикунов Н.И. Очистка зерна центробежно-решетным сепаратором с предварительной подготовкой на делительном решете: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Новосибирский сельскохозяйственный институт. – Новосибирск, 1989. – 18 с.

6. Котов Б.І., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г. Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння // Вибрації в техніке и технологиях. – 2004. – №3 (35). – С.61 – 63.

7. Котов Б.І., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів // Зб. наук. праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – Вип.33. – С. 53 – 59.

8. Сито: А.с. 1567285 СССР, МКИ В07В1 / 00 / И.А. Гурин, Г.И. Никитин, А.П. Филлипов (СССР). – №4454912/25-03; Заявл. 05.07.88; Опубл. 30.05.90, Бюл. №20. – 3 с.

9. Решетный стан семяочистительной машины: А. с. 1611463 СССР, МКИ В07В 1/12 / В.М. Дринч, Е.И. Кучер, И.И. Зинь (СССР). – №4692028/03; Заявл. 19.05.89; Опубл. 15.08.91, Бюл. №30. – 3 с.

10. Пивень М.В. Планирование эксперимента в исследовании процесса сепарирования зерновых смесей цилиндрическими виброцентробежными решетами // Технічний прогрес в АПК. Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 156– С.5-11.

Аннотация

Обоснование конструктивных параметров разрыхлителей зерновой смеси виброцентробежного сепаратора

Пивень М.В., Слипченко М.В.

Методом планирования многофакторного эксперимента обоснованы конструктивные параметры разрыхлителей зерновой смеси виброцентробежного сепаратора.

Abstract

Substantiation of the constructional parameters of looseners of grain mixtures separated by vibrocentrifugal separator

M. Piven, M. Slipchenko

Constructional parameters of looseners of grain mixtures separated by vibrocentrifugal separator have been substantiated in the article by multifactorial experiment planning method.