

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛОСОВОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕШЕТА

А.А. Князев, научн.сотр., П.П. Казакевич, докт. техн. наук (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»)

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментальных исследований процесса сепарации зернового вороха колосовым цилиндрическим решетом с винтовым транспортирующим элементом.

Введение

Анализ существующих конструктивно-технологических схем машин предварительной очистки зерна показал, что наиболее перспективным направлением их развития является разработка конструкций с рабочими органами барабанного типа. Такое техническое решение позволяет значительно упростить конструкцию как самого сепаратора, так и механизма очистки решетной поверхности, снизить металлоемкость, а также затраты мощности на привод сепарирующего рабочего органа [1].

Теоретическими исследованиями [2] обоснована конструктивно-технологическая схема сепарирующего рабочего органа барабанного типа, выполненного в виде цилиндрического решета, на внутренней поверхности которого расположен винтовой транспортирующий элемент, а само решето установлено с уклоном к горизонту в сторону, противоположную осевому движению сепарируемого материала. Такое исполнение рабочего органа позволяет повысить его сепарационную способность, снизить потери зерна сходом и обеспечить постоянство скорости осевого перемещения сепарируемого материала независимо от степени загрузки решета.

С целью исследования процесса сепарации зернового вороха колосовым цилиндрическим решетом выполнены экспериментальные исследования.

Основная часть

Исследования проводились на лабораторной установке (рис. 1), которая работает следующим образом: зерновой ворох из загрузочного бункера 2 подается по лотку 4 на внутреннюю поверхность вращающегося цилиндрического решета 5, где совершает колебательные движения в плоскости основания решета и поступательные – вдоль его оси. В результате самосортирования основная культура (зерно) просеивается через решетную поверхность и поступает в приемный бункер 7.

Крупные примеси (солома, полова, обломки колосьев и т.п.) перемещаются в осевом направлении к выходу из барабана и сбрасываются в приемник

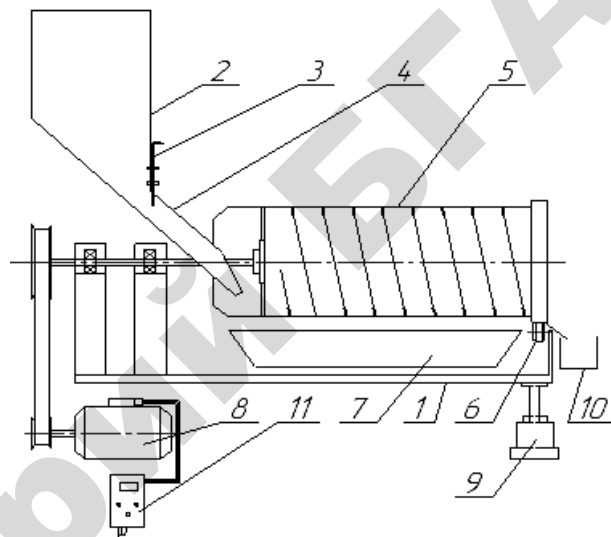


Рисунок 1. Схема лабораторной установки:
1 – рама; 2 – бункер загрузочный; 3 – шибер;
4 – лоток; 5 – цилиндрическое решето; 6 – опорные ролики; 7 – бункер приемный; 8 – привод;
9 – механизм подъема; 10 – приемник крупных примесей; 11 – частотный преобразователь.

крупных примесей 10. Подача зернового вороха регулируется шибером 3. Уклон решета к горизонту изменяется механизмом подъема 9. Частота вращения цилиндрического решета регулируется посредством частотного преобразователя 11.

Влияние конструктивно-кинематических параметров решета и условий его работы на качество очистки зернового вороха

Постановка эксперимента выполнялась с учетом факторов, выявленных априорным ранжированием: режима работы цилиндрического решета (K_6), размера отверстий цилиндрического решета (d , мм), подачи материала (Q_0 , кг/с).

В соответствии с методикой проведения эксперимента [3] кодировку факторов (таблица 1), наиболее сильно влияющих на показатель полноты выделения примесей E , выполняли по формуле:

$$x_i = \frac{2z_i - z_{i1} - z_{i2}}{z_{i2} - z_{i1}}, \quad (1)$$

где z_i – натуральное значение i -го фактора;

z_{i1} и z_{i2} – соответственно нижняя и верхняя границы изменения величины.

При этом значениям z_{i1} и z_{i2} соответствуют кодированные значения $x_{i1} = -1$ и $x_{i2} = +1$.

Таблица 1. Уровни варьирования факторов

Варьируемые параметры	d	Q_0	K_6
Единицы измерения	мм	кг/с	-
Кодовые обозначения факторов	x_1	x_2	x_3
Основной уровень ($x_i = 0$)	10	0,35	0,45
Интервал варьирования	2	0,15	0,3
Нижний уровень ($x_i = -1$)	8	0,2	0,15
Верхний уровень ($x_i = +1$)	12	0,5	0,75

Уравнение регрессии, полученное в результате обработки экспериментальных данных, имеет вид:

$$y = 72,42 - 9,7x_1 + 6,8x_2 + 5,91x_3 + 1,66x_1x_2 + 1,99x_1x_3 - 2,66x_2x_3 - 1,31x_3^2 \quad (2)$$

Анализ поверхностей отклика (рис. 2, 3), построенных по уравнению (2), показал, что увеличение подачи материала, а также кинематического режима работы решета способствует повышению качества очистки зернового вороха.

В ходе проведения эксперимента установлено:

- увеличение подачи материала требует увеличения длины решетной поверхности, необходимой для его полного просеивания;

- с ростом кинематического режима работы решета скорость осевого перемещения сепарируемого материала и, как следствие, длина занимаемой им решетной поверхности, возрастают.

Исходя из этого, можно сделать заключение, что полнота выделения соломистых примесей из состава зернового вороха непосредственно зависит от степени загрузки решета по длине. Так, например, при увеличении подачи материала с 0,1 кг/с (частичная загрузка) до 0,37 кг/с (максимальная загрузка) на решете с размером отверстий $d = 10$ мм, работающем в режиме $K_6 = 0,45$, полнота выделения примесей возрастает с 66 до 78%. Кроме того, при подаче, равной 0,37 кг/с, качество очистки материала на решете с размером отверстий $d = 10$ мм на 4% выше, чем на решете с отверстиями $d = 9$ мм и подачей 0,16 кг/с. Это объясняется тем, что зерновой ворох, находящийся

на внутренней поверхности цилиндрического решета, движется по винтовой линии, копируя профиль транспортирующего элемента. В результате этого происходит самосортирование зерновой смеси: соломистые примеси, обладающие объемным весом, меньшим веса зерна, «всплывают» на поверхность зернового слоя и движутся по ней в осевом направлении к выходу из барабана.

В условиях максимальной загрузки (решето покрыто сплошным слоем зерна) частицы с низким удельным весом перемещаются по поверхности зернового слоя, не контактируя с решетом. В случае, когда решетная поверхность покрыта зерновым материалом лишь частично (неполная загрузка), соломистые примеси вступают в контакт с поверхностью цилиндрического решета в тот момент, когда зерновая масса, по которой они двигались, полностью просеялась. Таким образом, чем больший участок решета не покрыт зерном, тем более продолжительный путь проходят примеси непосредственно по решетной поверхности и тем выше засоренность очищенного продукта.

Из вышеизложенного следует, что наибольшая

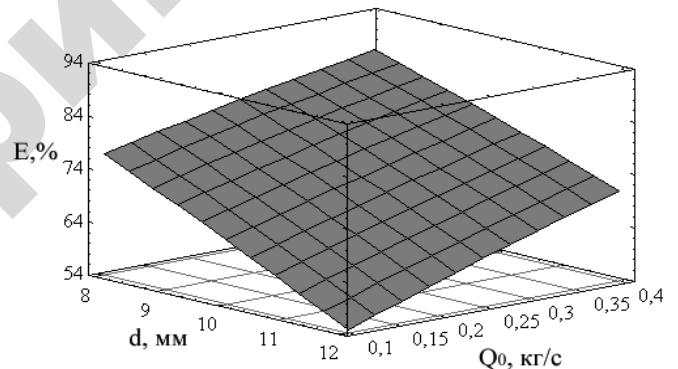


Рисунок 2. Поверхность отклика $E = f(d; Q_0)$.

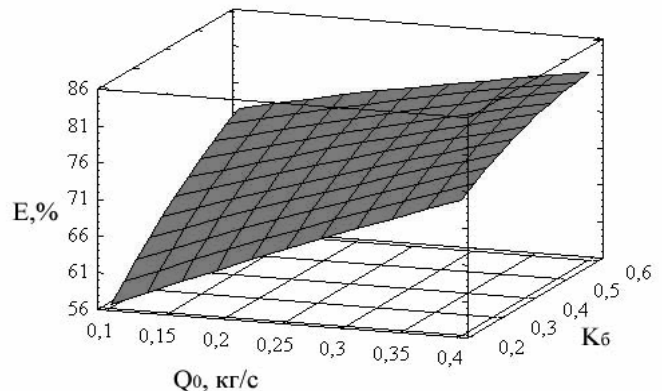


Рисунок 3. Поверхность отклика $E = f(K_6; Q_0)$.

эффективность выделения соломистых примесей достигается в случае, когда сепарируемый материал располагается по всей длине решетной поверхности.

Оснащение цилиндрического решета устройством регулирования частоты вращения позволяет равномерно распределить зерновой ворох по длине барабана независимо от величины подачи исходного материала. Возможность регулировки режима работы сепарирующего рабочего органа и, как следствие, скорости осевого перемещения зернового вороха позволяет также сократить диапазон размеров отверстий решетных полотен, применяемых для очистки различных культур.

Принимая во внимание, что в результате самосортирования зернового вороха соломистые примеси проходят через решетную поверхность только после просеивания основной культуры (т.е. ближе к выходу из барабана), диаметр отверстий решета со стороны загрузки материала можно увеличить. При этом качество очистки зерна не ухудшится, а производительность сепаратора существенно возрастет.

Следует отметить, что наиболее целесообразным является изготовление цилиндрического решета секционным (составным из 3-х секций) с последовательным уменьшением размеров отверстий в каждой последующей секции по ходу осевого движения сепарируемого материала. При этом контакт соломистых примесей с поверхностью цилиндрического решета (при максимальной загрузке) произойдет в последней его секции, имеющей наименьший размер отверстий. В результате вероятность просеивания крупных соломистых примесей значительно снижается. Сепарация зернового вороха будет происходить в двух первых секциях решета (секция загрузки и секция сортировки). Назначение последней (контрольной) секции – улавливание единичных, неуспевших ранее просеяться зерен, для предотвращения потерь основной культуры сходом, а крупных примесей – проходом.

Определение оптимального режима работы решета и степени его загрузки

В качестве функции отклика двухфакторного эксперимента по определению оптимального режима работы решета K_6 и степени его загрузки Q_0 выбран коэффициент сепарации b , характеризующий сепарационную способность решета. Кодировка факторов выполнялась по формуле (1), результаты операции представлены в таблице 2.

В результате обработки экспериментальных данных получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 0,0313 + 0,0039x_1 - 0,0041x_2 - 0,0087x_1^2 - 0,0036x_2^2 \quad (3)$$

Определив частные производные уравнения (3), найдем экстремум функции отклика. Свое максимальное значение ($b = 0,033$) функция принимает в точке с координатами: $x_1 = 0,22$, $x_2 = -0,57$. Вычислив по формуле (1) координаты точки экстремума, находим оптимальные значения кинематиче-

ского режима работы решета и подачи: $K_6 = 0,28$, $Q_0 = 0,57$ кг/с, при этом центральный угол расположения зернового сегмента составит $2\theta = 151^\circ$. Поверхность отклика, построенная по уравнению (3), представлена на рисунке 4.

В результате анализа полученных экспериментальных данных установлено: с увеличением кинематического режима работы решета K_6 его сепарацион-

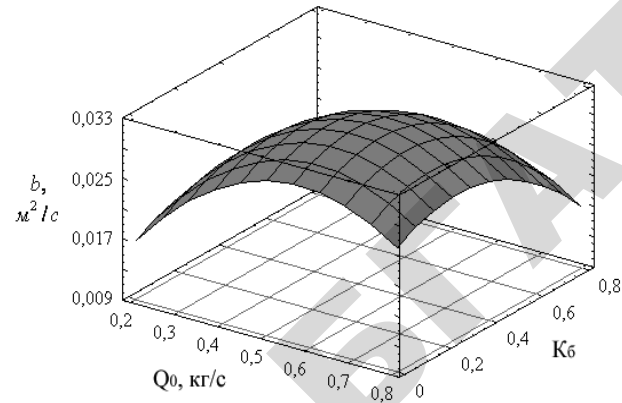


Рисунок 4. Поверхность отклика $b=f(K_6; Q_0)$.

ная способность сначала растет за счет увеличения длины дуги кругового сегмента, а также роста центробежной силы, способствующей более интенсивному прохождению материала через решетную поверхность, а затем уменьшается, что вызвано снижением интенсивности процесса самосортирования (разделения компонентов по размерам и удельному весу) в результате чрезмерного увеличения центробежной силы инерции, а также роста скорости осевого перемещения сепарируемого материала.

Таблица 2. Уровни варьирования факторов

Варьируемые параметры	K_6	Q_0
Единицы измерения	-	кг/с
Кодовые обозначения факторов	x_1	x_2
Основной уровень ($x_i = 0$)	0,45	0,5
Интервал варьирования	0,3	0,3
Нижний уровень ($x_i = -1$)	0,15	0,2
Верхний уровень ($x_i = +1$)	0,75	0,8

С увеличением подачи площадь поперечного сечения решета, занимаемая зерновым сегментом, увеличивается, что, в свою очередь, способствует росту производительности сепаратора. При достижении значения подачи $Q_0 \max$ (соответствует центральному углу $2\theta_{\max} = 151^\circ$) сепарационная способность решета начинает снижаться. Это объясняется увеличением зоны относительного покоя материала на внутренней поверхности решета вследствие увеличения угла подачи. Иными словами, с увеличением подачи материала кинематический режим работы решета необходимо снижать.

Следует также отметить, что при одном и том же режиме работы решета значительное уменьшение подачи материала приводит к снижению величины коэффициента сепарации. Это объясняется тем, что при малых подачах в барабане находится небольшое количество зерна, и вероятность его просеивания в данном случае существенно снижается вследствие возникновения эффекта «скачущих» зерен, которые не имеют продолжительного контакта с решетной поверхностью.

Таким образом, для каждой конкретной подачи существует свой оптимальный режим работы решета $K_{б\text{ опт}}$, значение которого с увеличением подачи сначала растет, а затем начинает снижаться. Так, например, при подаче $Q_0 = 0,2$ кг/с $K_{б\text{ опт}} = 0,18$, $Q_0 = 0,5$ кг/с $K_{б\text{ опт}} = 0,34$, а при подаче $Q_0 = 0,8$ кг/с $K_{б\text{ опт}} = 0,26$.

Определение коэффициента сепарации различных видов зерновых культур

Экспериментальные исследования по определению зависимости коэффициента сепарации основных видов зерновых культур (пшеница, рожь, ячмень, овес) от размера отверстий решетной поверхности проводились с соблюдением следующих условий: кинематический режим работы решета $K_6 = 0,28$, центральный угол расположения зернового сегмента – $2\theta = 151^\circ$. Графическая интерпретация результатов эксперимента представлена на рисунке 5. Уравнения регрессии, полученные в результате аппроксимации экспериментальных данных в табличном редакторе Excel, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Уравнения регрессии $b=f(d)$

Наим-е культуры	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции r^2
Пшеница	$b = 0,0346 \ln(d) - 0,0528$	0,9994
Рожь	$b = 0,0395 \ln(d) - 0,0671$	0,9998
Ячмень	$b = 0,0383 \ln(d) - 0,072$	0,9999
Овес	$b = 0,0487 \ln(d) - 0,105$	0,9983

Полученные уравнения регрессии позволяют установить коэффициент сепарации соответствующих видов зерновых культур, что делает возможным определение производительности барабанного сепаратора с различными размерами перфораций.

Выводы

Наибольшая эффективность выделения соломистых примесей из состава зернового вороха достигается в случае, когда сепарируемый материал располагается по всей длине колосового решета. Для равномерного распределения зернового вороха по решетной поверхности (независимо от подачи исходного материала) цилиндрическое решето с винтовым транспортирующим элементом следует оснастить устройством регулирования частоты вращения.

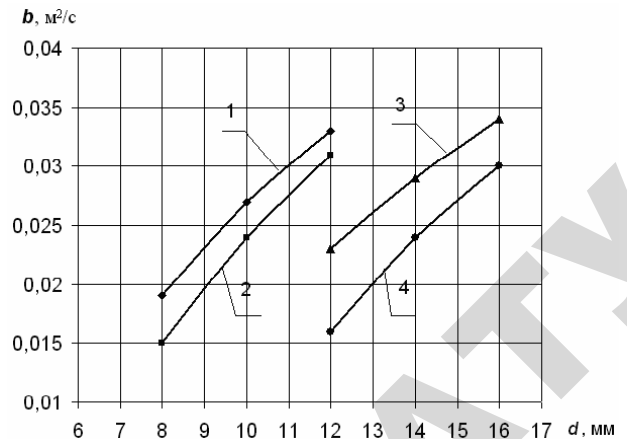


Рисунок 5. Зависимость коэффициента сепарации b зерна различных культур от размера d отверстий решетной поверхности:

1 – пшеница; 2 – рожь; 3 – ячмень; 4 – овес.

Для увеличения производительности сепаратора при неизменном качестве очистки зернового материала цилиндрическое решето целесообразно изготавливать секционным с последовательным уменьшением размеров отверстий в каждой последующей секции по ходу осевого движения сепарируемого материала. При этом последняя секция должна иметь наименьший размер отверстий, предотвращая потери основной культуры сходом, а крупных примесей – проходом.

В результате экспериментальных исследований определены: оптимальный кинематический режим работы решета $K_6 = 0,28$, а также степень его загрузки (выражена через центральный угол расположения зернового сегмента $2\theta = 151^\circ$), соответствующие максимальному значению коэффициента сепарации b .

ЛИТЕРАТУРА

1. Состояние и направления развития средств механизации предварительной очистки зерновороха в Республике Беларусь: ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 19-21 октября 2004 г. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»; под ред. П.П. Казакевича.– Мн., 2004. – Т. 1. – С. 196-199.
2. Казакевич, П.П. Теоретические предпосылки к разработке конструктивно-технологической схемы машины предварительной очистки зерна / П.П. Казакевич [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»; под общ. ред. В.Н. Дашкова. – Мн., 2006. – Вып. 40. – С. 186 – 192.
3. Фатеев, М.Н. Основы планирования эксперимента в сельскохозяйственных машинах: руководящий технический материал / М.Н. Фатеев, М.М. Фирсов. – М.: ВИСХОМ, 1974. – 116 с.