

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРИСЛОЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕРНОВЫХ СМЕСЯХ, СЕПАРИРУЕМЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ РЕШЕТКАМИ

Тищенко Л.Н., д.т.н., проф., академик НААНУ, Пивень М.В., к.т.н., доц.
*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

В статье представлены результаты экспериментальных исследований внутрислоевых процессов в зерновых смесях сепарируемых цилиндрическими виброцентробежными решетками. Установлены закономерности пористости и скорости послойного движения зерновой смеси в зависимости от кинематических параметров решета, удельных загрузок, конструктивных параметров разрыхлителей, физико-механических свойств смеси.

Постановка проблемы. Эффективность сепарирования зерновых смесей (ЗС), в режимах высоких удельных загрузок, определяется интенсивностью сегрегации – поступлением мелких частиц из слоя к решету. Их продвижение сквозь слой происходит путем проникновения через поры между крупными частицами. Обязательным условием западания мелких частиц в поры является сдвиг элементарных слоев ЗС друг относительно друга. Следовательно, от величины пор и скорости сдвига слоев будет зависеть интенсивность сегрегации. Таким образом, исследование закономерностей внутрислоевых процессов, таких как изменение пористости и скорости послойного движения ЗС является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследование внутрислоевых процессов выполнено в работах [1-3]. Установлено, что с увеличением пористости и скорости послойного движения интенсивность сегрегации возрастает. Ряд авторов предлагают для увеличения пористости применять разрыхлители ЗС в виде штырей, пластин и др. [4, 5]. Однако закономерности внутрислоевых процессов ЗС сепарируемых цилиндрическими виброцентробежными решетками не установлены. Исследования влияния разрыхлителей на пористость и скорость послойного движения отсутствуют.

Цель исследований – исследование закономерностей внутрислоевых процессов в ЗС сепарируемых цилиндрическими виброцентробежными решетками с разрыхлителями.

Результаты исследований. Исследования внутрислоевых процессов выполнялись на лабораторном виброцентробежном сепараторе (рис.1).

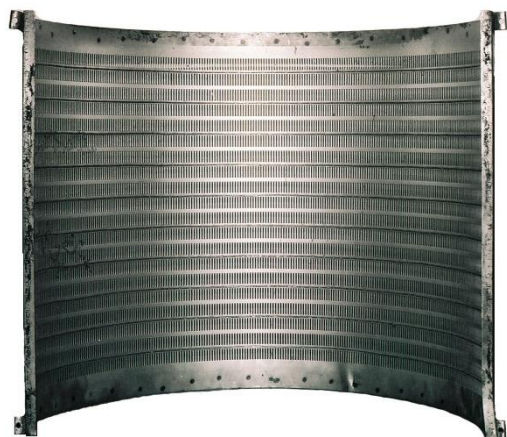
Пористость ЗС определялась по методике, основанной на специальной математической обработке изображения зерен слоя в состоянии разрыхления [6]. Для получения изображения слоя смеси производилась фотосъемка процесса через прозрачную радиальную стенку цилиндрического решета.



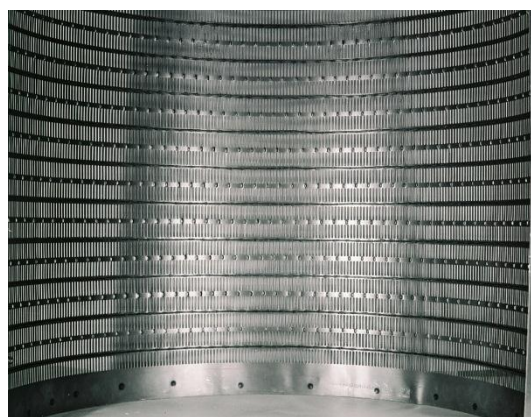
Рис. 1 – Лабораторный виброцентробежный сепаратор

Скорости перемещения элементарных слоев ЗС определялись с помощью видеосъемки процесса [7]. Для этого в ЗС, на различной глубине, вводили окрашенные частицы. По известным расстоянию и времени вычисляли скорости элементарных слоев. Материалом исследования являлась ЗС озимой пшеницы, сорта “Мироновская - 30”.

Лабораторией послеуборочной обработки зерна ХНТУСХ имени Петра Василенко разработаны новые конструкции решет (рис.2).



а)



б)

Рис.2 – Разработанные решета:

а) с разрыхлителями в виде ребер; б) с разрыхлителями в виде рифлей

На рабочей поверхности решет, на поперечных перемычках, расположены разрыхлители в виде наваренных ребер или выштампованных продолговатых рифлей. При работе решета, ребра и рифли сообщают воздействия ЗС, разрыхляют ее и оказывают дополнительное сопротивление нижнему элементарному слою, увеличивая интенсивность послыоного движения.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось определение влияния кинематических параметров решета, его удельных загрузок, конструктивных параметров разрыхлителей, физико-механических свойств ЗС на закономерности изменения пористости и скорости послыонного движения смеси.

Зависимости пористости ε ЗС от кинематических параметров и удельных загрузок цилиндрического виброцентробежного решета приведены на рис. 3,4.

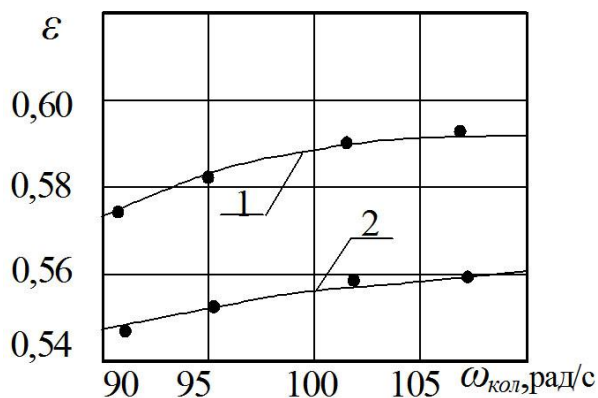


Рис. 3 – Зависимости пористости ε ЗС от круговой частоты колебаний $\omega_{\text{кол}}$ и угловой скорости вращения ω цилиндрического решета:
 1 – $\omega=11,3$ рад/с; 2 – $\omega=12,6$ рад/с; ($q=110$ кг/час·дм²)

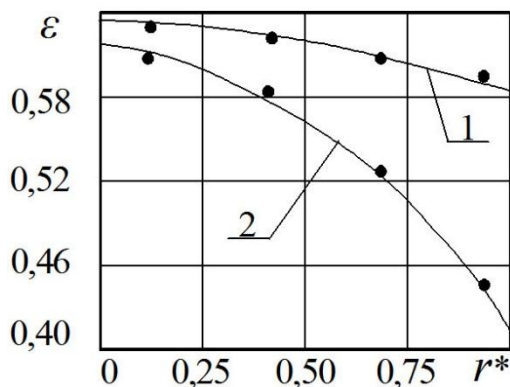


Рис. 4 – Зависимости пористости ε ЗС от глубины r^* и удельной загрузки q цилиндрического решета: 1 – $q=110$ кг/час·дм²; 2 – $q=180$ кг/час·дм²; ($\omega_{\text{кол}}=94,2$ рад/с; $\omega=11,3$ рад/с)

Глубина слоя определяется безразмерной величиной r^* , равной отношению расстояния между свободной поверхностью слоя и рассматриваемым элементарным слоем к общей толщине слоя. Так, свободной поверхности слоя соответствует $r^*=0$, а поверхности решета $r^*=1$. Из графиков следует, что с увеличением частоты колебаний решета $\omega_{\text{кол}}$, пористость увеличивается, при увеличении удельной загрузки и угловой скорости вращения цилиндрического решета – снижается. Воздействие вибраций приводит к увеличению подвижности частиц смеси, разрыхлению слоя и увеличению пористости. Вышележащие частицы оказывают давление на нижележащие, и тем самым, ограничивают их подвижность, уменьшая разрыхленность смеси. Сочетание этих противоположных факторов обуславливает величину

пористости.

Зависимости пористости от глубины слоя, конструктивных параметров ребер и рифлей представлены на рис. 5. Конструктивные параметры ребер и рифлей оценивались соотношением $d_{реб}/l_{реб}$, $h_{риф}/l_{риф}$. С увеличением данных соотношений диаметр ребер $d_{реб}$ и высота рифлей $h_{риф}$ возрастают, а расстояния между ними $l_{реб}$, $l_{риф}$ уменьшаются.

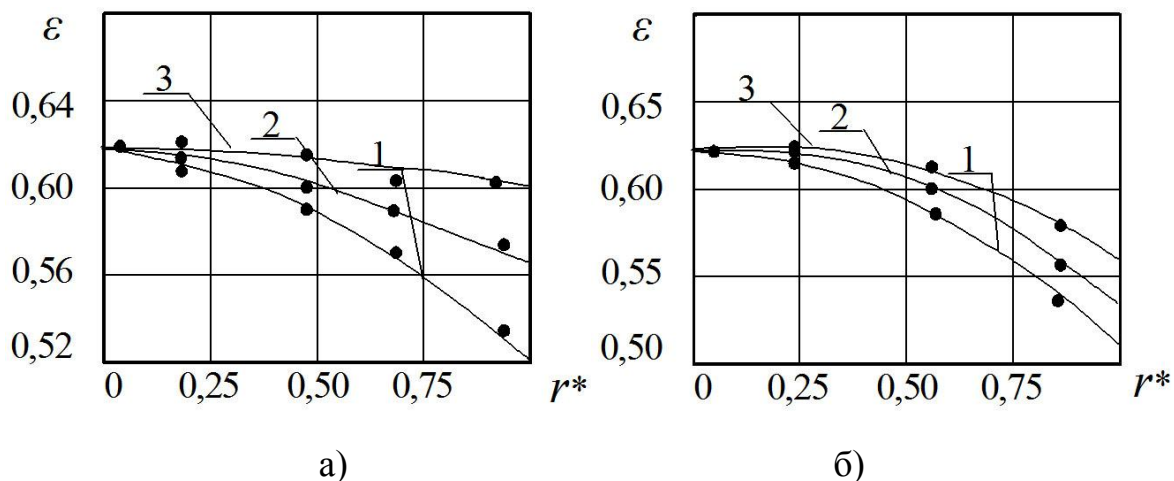


Рис. 5 – Зависимости пористости ε ЗС от глубины и конструктивных параметров разрыхлителей: а) ребер; б) рифлей; 1 – серийного, 2 – $d_{реб}/l_{реб} = h_{риф}/l_{риф} = 0,035$, 3 – $d_{реб}/l_{реб} = h_{риф}/l_{риф} = 0,07$, ($q = 110$ кг/час·дм²; $\omega_{кол} = 94,2$ рад/с; $\omega = 11,3$ рад/с)

Пористость ЗС уменьшается с глубиной и имеет нелинейный характер. Из графиков видно, что с увеличением конструктивных параметров ребер и рифлей (увеличением соотношений $d_{реб}/l_{реб}$, $h_{риф}/l_{риф}$), пористость значительно увеличивается. Это объясняется большим разрыхляющим воздействием ребер и рифлей на смесь, причем наибольшие значения достигнуты на ребренном решете.

На рис. 6 представлены графические зависимости пористости от размера и формы частиц.

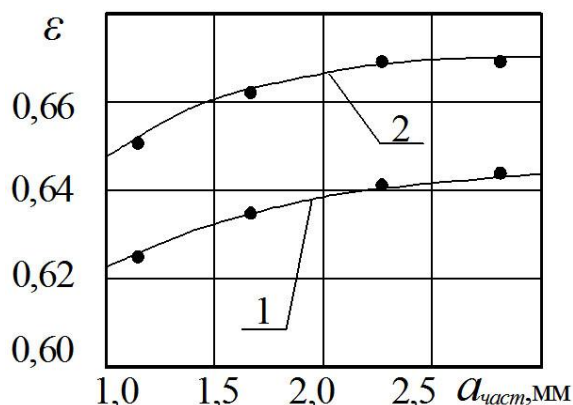


Рис. 6 – Зависимости пористости ε ЗС от размера и формы частиц ЗС: 1 – шарообразные частицы; 2 – овалообразные; ($q = 110$ кг/час·дм²; $\omega_{кол} = 94,2$ рад/с; $\omega = 11,3$ рад/с)

Как видно из графиков, пористость смеси, состоящей из шарообразных частиц, меньше, чем смеси из эллипсообразных. Это объясняется тем, что во

время движения эллипсообразные частицы под действием столкновений друг с другом, поворачиваются вокруг своих осей, образуя поры и разрыхляя смесь. Шарообразные частицы под действием столкновений не изменяют свое и положение других частиц. С уменьшением размеров частиц пористость уменьшается, вследствие лучшего заполнения межчастичного пространства и плотной их укладки.

Установлены предельные значения пористости ε , соответствующие наступлению виброкипения. При $\varepsilon \geq 0,70 \dots 0,72$ частицы начинают совершать интенсивные малоупорядоченные движения внутри занимаемого объема с отдельными выбросами частиц над поверхностью слоя. Для исключения виброкипения ЗС удельная загрузка разработанных решет должна быть $q > 40$ кг/час·дм².

Покадровой дешифровкой видеосъемки движения ЗС установлено наличие градиента скоростей по глубине слоя, что свидетельствует о послойном характере перемещения. Каждый элементарный слой движется по отношению к соседнему, и движение слоев между собой является сдвиговым. Элементарные слои перемещаются параллельно поверхности решета со скоростью, зависящей от глубины потока.

На рис. 7 представлены графические зависимости скорости ЗС по глубине слоя от кинематических параметров решета. Из рисунка видно, что при увеличении круговой частоты колебаний цилиндрического решета скорость движения смеси увеличивается, а различие скоростей по глубине слоя при этом возрастает незначительно. С увеличением угловой скорости вращения решета скорость ЗС снижается, интенсивность послойного движения уменьшается. Это объясняется увеличением центробежной силы, прижимающей смесь к решету и тормозящей ее движение.

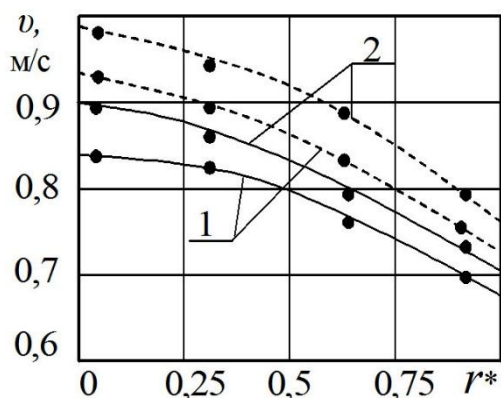


Рис. 7 – Зависимости скорости v ЗС по глубине слоя от круговой частоты колебаний $\omega_{\text{кол}}$ и угловой скорости вращения ω цилиндрического решета: 1 – $\omega_{\text{кол}}=94,2$ рад/с; 2 – $\omega_{\text{кол}}=104,66$ рад/с; - - - - - $\omega=11,3$ рад/с; — — — — — $\omega=12,6$ рад/с; ($q=110$ кг/час·дм²)

На рис. 8 представлены зависимости скорости ЗС от глубины слоя и величины удельных загрузок решета. Как видно из графиков, увеличение удельной загрузки приводит к снижению скорости ЗС и уменьшению интенсивности послойного движения (уменьшению градиента скоростей). Это

объясняется увеличением толщины слоя и возрастанием давления вышележащих элементарных слоев, тормозящих смесь.

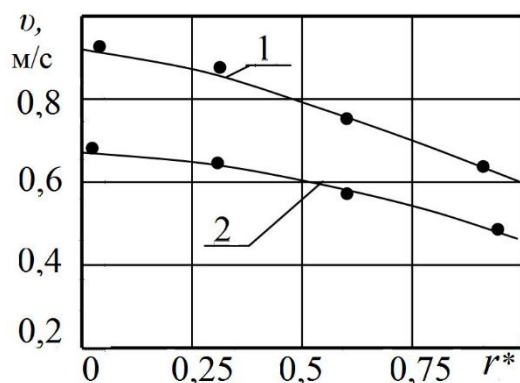


Рис. 8 – Зависимости скорости ЗС v по глубине слоя от величины удельных нагрузок: 1 – $q=110$ кг/час·дм², 2 – $q=140$ кг/час·дм² ($\omega_{\text{кол}}=94,2$ рад/с; $\omega=11,3$ рад/с)

На рис. 9 представлены зависимости скорости ЗС по глубине слоя от конструктивных параметров ребер и рифлей. Из графиков видно, что с увеличением соотношений $d_{\text{реб}}/l_{\text{реб}}$, $h_{\text{риф}}/l_{\text{риф}}$ происходит незначительное снижение скорости слоя, но заметно увеличивается скорость послойного движения, а ее профиль становится более искривленным. Это объясняется увеличением сопротивления нижнему элементарному слою и сообщением дополнительных воздействий в ЗС. Дальнейшее увеличение $d_{\text{реб}}$ и $h_{\text{риф}}$ приводит к тому, что не все частицы нижнего элементарного слоя могут их преодолеть. Для исключения образования заторов диаметр ребер и высота рифлей должны быть: $d_{\text{реб}} \leq 2,0$ мм, $h_{\text{риф}} \leq 2,0$ мм, расстояние между рифлями $l^* \geq 10$ мм. Минимальное расстояние между ребрами и рядами рифлей равно расстоянию между двумя соседними перемичками, на которых они располагаются $l_{\text{реб}}=l_{\text{риф}}=21$ мм. Длина рифлей ограничивается шириной перемички $a_{\text{риф}}=3...4$ мм, ширина составляет $b_{\text{риф}}=1,5...2$ мм.

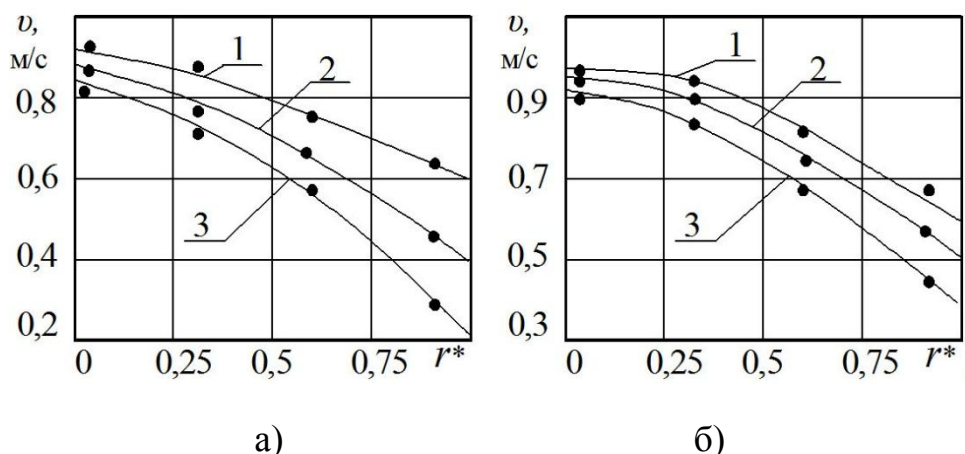


Рис. 9 – Зависимости скорости ЗС v по глубине слоя от конструктивных параметров разрыхлителей: а) ребер; б) рифлей; 1 – серийного, 2 – $d_{\text{реб}}/l_{\text{реб}}=h_{\text{риф}}/l_{\text{риф}}=0,035$, 3 – $d_{\text{реб}}/l_{\text{реб}}=h_{\text{риф}}/l_{\text{риф}}=0,07$, ($q=110$ кг/час·дм²; $\omega_{\text{кол}}=94,2$ рад/с; $\omega=11,3$ рад/с)

На рис. 10 представлены зависимости скорости ЗС от формы и размеров

частиц. Из графиков видно, что при уменьшении размеров частиц и приближении их формы к шарообразной возрастает интенсивность послойного движения. С увеличением размера частиц скорость незначительно возрастает.

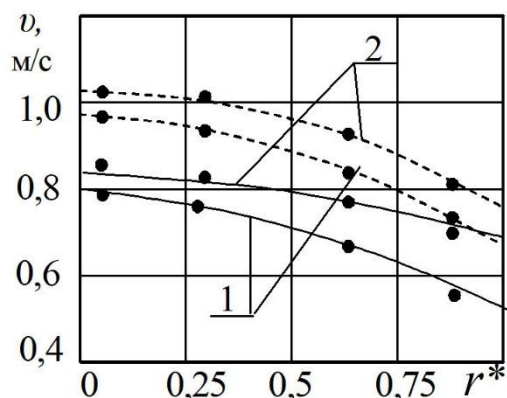


Рис. 10 – Зависимости скорости ЗС v от формы и размеров частиц $a_{\text{част}}$: - - - - шарообразные; ———— эллипсообразные; 1 – $a_{\text{част}}=2,0$ мм; 2 – $a_{\text{част}}=4,0$ мм; ($q=110$ кг/час·дм²; $\omega_{\text{кол}}=94,2$ рад/с; $\omega=11,3$ рад/с)

Выводы.

1. Анализом зависимостей установлено, что пористость ε и скорость v ЗС уменьшаются с глубиной и характер этих зависимостей нелинейный. Применение разрыхлителей увеличивает пористость и выравнивает ее по глубине слоя. Скорость смеси незначительно уменьшается, но градиент скорости по глубине слоя увеличивается;

2. Определены значения пористости $\varepsilon=0,70...0,72$, соответствующие наступлению виброкипения ЗС и минимальное значение удельной загрузки $q \geq 40$ кг/час·дм² разработанных решет, исключаящее виброкипение. Из условия преодоления частицами нижнего элементарного слоя ребер и рифлей, их размеры ограничиваются значениями: $d_{\text{реб}} \leq 2,0$ мм, $h_{\text{риф}} \leq 2,0$ мм, $l_{\text{реб}}=l_{\text{риф}}=21$ мм, $l^* \geq 10$ мм.

Список использованных источников

1. Заика П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах. – К.: УСХА, 1998. – 625 с.
2. Заика П.М. Вибрационные сеячистительные машины и устройства / П.М.Заика. – М.: МИИСП, 1981. – 141 с.
3. Юшкова О.Б., Куди А.Н. Влияние свойств частиц зернистой среды на эффекты их взаимодействия при быстром сдвиговом течении // Технологические процессы и оборудование. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2001. – №8. – С. 39–45.
4. Сито: А.с. 1567285 СССР, МКИ В07В1 / 00 / И.А. Гурин, Г.И. Никитин, А.П. Филипов (СССР). – №4454912/25-03; Заявл. 05.07.88; Оpubл. 30.05.90, Бюл. №20. – 3 с.
5. Решетный стан сеячистительной 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; Оpubл. 15.08.91, Бюл. №30. – 3 с.

6. Пивень М.В., Кретов В.Г. Методика исследования пористости зерновой смеси // Материалы международного форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке». Харьков, 2012. - С. 45.
7. Тищенко Л.Н., Пивень М.В., Бредихин В.В. Исследование внутрислоевого движения частиц зерновых смесей // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. Вісник ХНТУСХ. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 152. – С. 5-11.

Аннотация

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОШАРОВИХ ПРОЦЕСІВ В ЗЕРНОВИХ СУМІШАХ, ЩО СЕПАРУЮТЬСЯ ЦИЛІНДРИЧНИМИ ВІБРОВІДЦЕНТРОВИМИ РЕШЕТАМИ

Тищенко Л.Н., Пивень М.В.

У статті представлені результати експериментальних досліджень внутрішньошарових процесів в зернових сумішах, що сепаруються циліндричними вібровідцентровими решетами. Встановлені закономірності пористості та швидкості пошарового руху суміші в залежності від кінематичних параметрів решета, питомих завантажень, конструктивних параметрів розпушувачів, фізико-механічних властивостей зернової суміші.

Abstract

EXPERIMENTAL STUDIES OF INTERLAYER PROCESSES OF GRAIN MIXTURES SEPARATED BY CYLINDRICAL VIBRATIONAL CENTRIFUGAL SIEVES

L. Tyshchenko, M. Piven

The paper presents results of experimental studies of interlayer processes of grain mixtures separated by cylindrical vibration centrifugal sieves.

The dependencies of the porosity and layer movement speed from cinematic parameters of flat vibrating sieves, parameters of mixture looseners, thickness and depth of layer, physico-mechanical properties of grain mixtures have been established.