

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМОСЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ В ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Тищенко Л.Н., д.т.н., проф., Харченко С.А., к.т.н., доц.,
Борщ Ю.П., инж., Абдуев М.М., к.т.н., доц.

*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко*

В статье определен способ повышения эффективности процесса пневмосепарирования зерновых смесей, заложен подход к моделированию динамики псевдооживленной зерновой смеси по наклонной скатной плоскости с воздухопроницаемыми рифами-чешуйками

Постановка проблемы. Современные зерновые сепараторы являются комплексными машинами, которые разделяют зерновую смесь (ЗС) по комплексу физико-механических свойств. Большинство зерновых сепараторов имеют пневмосепарирующие каналы, которые предназначены для очистки зерновых смесей в воздушном потоке от легких примесей. Изношенность техники, повышения засоренности и объемов производства зерна приводит к снижению пропускной способности, требует повышения эффективности процесса пневмосепарации зерновых материалов. Последующее увеличение производительности сепараторов приводит к снижению качества очистки зерновых смесей и повторности пропусков, что в свою очередь ведет к повышению эксплуатационных расходов.

Цель работы: повышение эффективности процесса пневмосепарирования зерновых смесей путем применения расслаивающего воздухопроницаемого устройства.

Основной материал. Объектом исследования принят комплексный барабанный сепаратор КБС (рис.1) [1] производства ОАО «Карловский машиностроительный завод» г. Карловка Карловского району Полтавской области. Сепаратор предназначен для предварительной очистки зерна и состоит из пневмосепарирующего устройства с аспирационной системой и решетного блока. Пневмосепарирующий канал сепаратора является типичным для большинства зерновых сепараторов, потому что имеет вертикальный прямоугольный канал. Полученные результаты по аналогии можно использовать для любых зерновых сепараторов с вертикальными пневмосепарирующими каналами.

ЗС подается к пневмосепарирующему каналу 3 (рис.1), где за счет аэродинамических свойств происходит разделение зерновой смеси: зерно направляется к барабану 1 или патрубку 7. Частицы легких примесей осаждаются в камере 5, а чистый воздух выходит через вентилятор к пылеуловителям. ЗС, попадая в барабан 1, разделяется по размерам на решетках 2 и направляется к соответствующим приемникам 8.

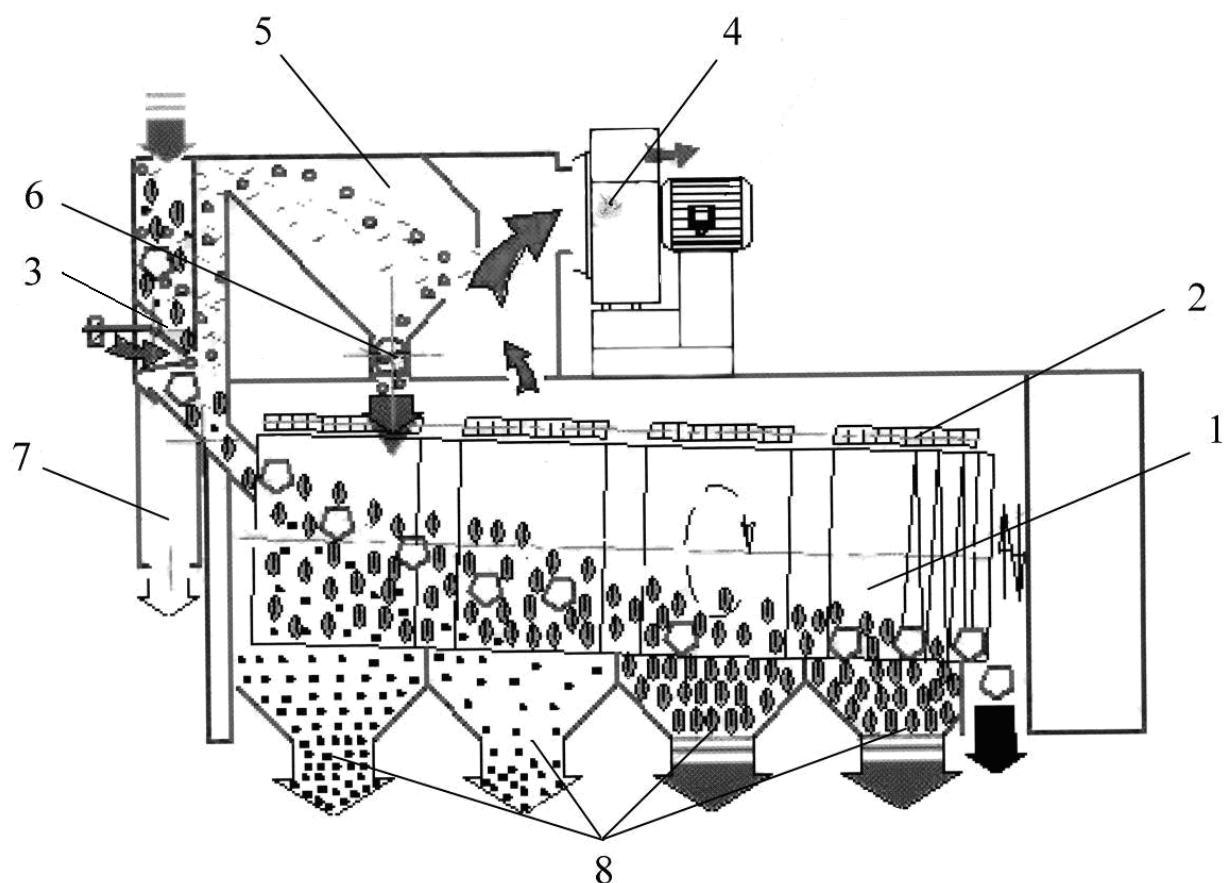


Рис. 1 – Общий вид и схема технологического процесса комплексного барабанного сепаратора КБС

1 – барабан; 2 – решетка; 3 – пневмосепарирующий канал; 4 – вентилятор; 5 – пылеосадочная камера; 6 – разгрузочное устройство легких примесей; 7 – отводной патрубков; 8 – приемники продуктов разделения

ЗС, попав в накопительный бункер пневмосепарирующего устройства, движется слоем к каналу. Последующее увеличение толщины слоя ведет к тому, что легкие примеси которые находятся в нижних подслоях не имеют возможности выделиться из ЗС (рис.2, а). Частицы легких примесей попадают с зерном в решетный блок, что ведет к потере качества сепарирования. Это требует уменьшение загрузки пневмосепарирующего канала, и, как следствие, потерю производительности сепаратора в целом.

Проведенным анализом известных исследований и конструкций установлено, что канальные пневмосепарирующие устройства с вибро - воздухопроницаемыми расслаивателями являются наиболее эффективными.

Для повышения эффективности процесса очистки ЗС предлагается использовать перспективный способ, который заключается в предварительной подготовке ЗС путем использования расслаивающего воздухопроницаемого устройства (рис.2, б). Для этого в аспирационной камере серийного сепаратора (например, КБС), а именно в пневмосепарирующем устройстве, установлена скатная поверхность 6 и воздухопроницаемую поверхность 7.

Накопительная камера имеет скатные поверхности 6, 7, которые

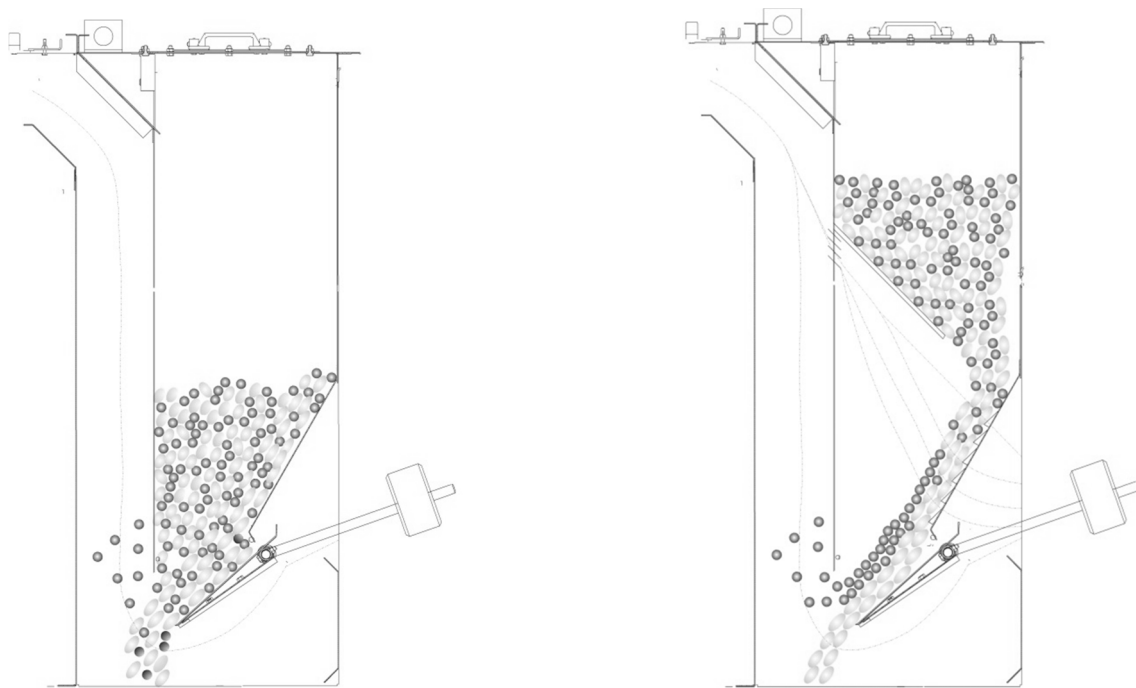
расположены с наклоном. Поверхность 6 предназначена для направления ЗС на поверхность 7. Поверхность 7 формирует высоту слоя зерновой смеси, которая поступает в вертикальный пневмосепарующий канал. Для осуществления перераспределения частиц в слое ЗС поверхность 7 выполнена воздухопроницаемой. При прохождении воздушного потока через ЗС, которая движется по поверхности 7, частицы легких примесей перераспределяются в верхние подслоя. Таким образом, в пневмосепарирующий канал поступает двухслойная ЗС, в которой сверху находятся легкие примеси. При разделении в пневмосепарирующем канале легкие примеси выносятся из ЗС и осаждаются в пылеуловителе.

Для улучшения перераспределения легких примесей в слое ЗС на воздухопроницаемой поверхности установлены рифли-чешуйки 8. Это позволяет увеличить количество пор в ЗС, которые способствуют перераспределению частиц легких примесей в слое.

В качестве поверхности принята чешуйчатая поверхность, которая серийно изготавливается на решетных заводах [2].

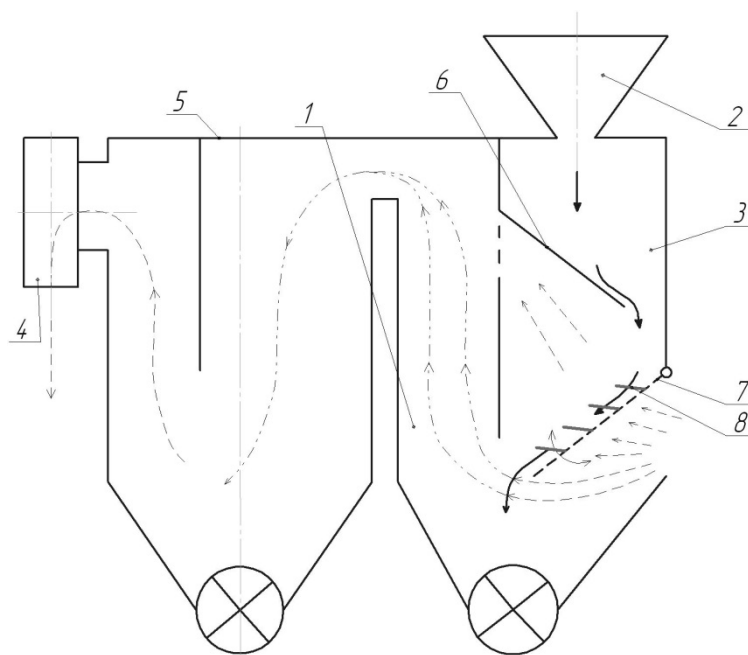
Предложенная конструкция пневмосепаратора за счет предварительной подготовки зерновой смеси на скатной воздухопроницаемой поверхности увеличивает производительность и качество процесса сепарации.

Следующим этапом есть разработка математического аппарата, который позволит смоделировать движение частиц ЗС на новом пневмосепарирующем устройстве. Движения сыпучих сред, к которым относится рассматриваемая ЗС, можно условно разделить на два идеализированных режима. В первом (квазистатическом) режиме частицы движутся, находясь в непрерывном, скользящем контакте друг с другом и внутренние напряжения в среде возникают вследствие действия сухого кулоновского трения. Это приводит к независящему от скорости деформации пластическому поведению среды. Во втором режиме частицы движутся хаотично и внутренние напряжения в среде возникают вследствие переноса импульса (между частицами всегда есть те или иные зазоры и их взаимодействие обусловлено неупругими соударениями) аналогично тому, как это происходит в жидкости или газе [3]. Такой механизм возникновения напряжений приводит к их существенной зависимости от скорости сдвига. В частности, он наблюдается в режимах псевдооживления [4, 5] и движении достаточно тонких слоев сыпучих материалов со свободной поверхностью по рабочим органам смесительного и другого оборудования. Именно этот режим реализуется при рассматриваемом движении псевдооживленной воздушным потоком ЗС. Удобными и достаточно точными оказываются гидродинамические модели [6], основанные на аналогии движения вязкой жидкости и сыпучей среды [7, 8].



а)

б)



в)

Рис. 2 – Пневмосепарирующее устройство

а) – серийное; б) – разработанное с расслаивающим устройством; в) – технологическая схема разработанного пневмосепарирующего устройства: 1 – пневмосепарирующий канал; 2 – загрузочный бункер; 3 – накопительная камера; 4 – вентилятор; 5 – пылесадочная камера; 6 – скатная поверхность; 7- воздухопроницаемая поверхность; 8 – рифли-чешуйки

В этом случае для описания движения можно использовать уравнения динамики сплошных сред в напряжениях [9]:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial u_x}{\partial t} = \rho F_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} \\ \rho \frac{\partial u_y}{\partial t} = \rho F_y + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \end{cases}, \quad (1)$$

совместно с уравнением неразрывности, которое для несжимаемой среды запишется в виде:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

где: ρ - плотность;
 \bar{u} - скорость;
 \bar{F} - вектор внешних объемных сил;
 σ_{ij} - компоненты тензора напряжений.

Уравнения динамики (1) справедливы при любом произвольном соотношении между тензором напряжений и тензором скоростей деформации, а определение связи между тензорами позволяет замкнуть систему дифференциальных уравнений.

Связь между компонентами тензора напряжений σ_{ij} и тензора скоростей

$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ деформаций определяется формулой [9]:

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), i \neq j \\ -p + 2\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i}, i = j \end{cases}, \quad (3)$$

где: p - внутреннее (избыточное) давление;
 μ - динамическая вязкость среды.

Как известно, для Ньютоновой жидкости вязкие напряжения линейно зависят от градиента скорости сдвига (градиента скорости). Однако исследования показали, что коэффициент вязкости движущейся ЗС меняется по толщине слоя. Он увеличивается по мере перемещения от свободной

поверхности слоя, где скорость движения максимальна, в глубину [10, 11]. В частности, в [12] рассмотрен случай степенной зависимости коэффициента вязкости от поперечной координаты, хорошо согласующийся с экспериментальными данными.

Таким образом, псевдооживленная потоком воздуха ЗС относится к неньютоновым жидкостям, т.е. жидкостям, при течении которых вязкость зависит от градиента скорости [13, 14]. Для описания течений таких сред можно использовать эмпирически установленную степенную зависимость напряжения от скорости сдвига. Существуют различные модификации этого степенного закона [15], позволяющие расширить ее рамки, например, известная модель Кросса.

За последние годы были выдвинуты многочисленные концепции для описания течений дисперсных сред [16-20 и др.]. В частности, используют модель Бингама [21], Кэссона [22], Балкли–Гершеля [23].

Достаточно универсальной, обобщающей основные реологические модели нелинейных вязкопластических сред, является обобщенная модель, в которой связь тензоров вязких напряжений и скоростей деформаций определяется формулой [14, 24, 25]:

$$\sigma_{ij} = 2 \left[\frac{\tau^{\frac{1}{k}}}{J^{\frac{1}{m}}} + \mu^{\frac{1}{m}} \right]^k J^{\frac{k}{m}-1} e_{ij}, \quad (4)$$

где: σ_{ij}, e_{ij} - тензор вязких напряжений и скоростей деформаций соответственно;

μ - сдвиговая вязкость;

τ – предел текучести;

k, m – реологические параметры;

J – интенсивность скоростей деформаций, которая в декартовой системе координат имеет вид:

$$J = \left[2 \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial u_y}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial u_z}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

При $\tau_0 = 0$, $m = k$ получаем модель Ньютона, при $\tau_0 = 0$ – степенную модель, при $m = k = 1$ – Бингама, при $k = 1$ – Балкли–Гершеля, при $m = k = 2$ – Кэссона [15].

В [26] показано, что континуальные теории предполагают наличие части тензора напряжений, не зависящей от скорости сдвига, которая является

определенной функцией концентрации частиц, в то время как тензор напряжений, полученный в соответствии с микроструктурной теорией, содержит только часть, зависящую от скорости. Поэтому при высокой концентрации частиц в потоке и относительно низких скоростях сдвига тензор вязких напряжений мало зависит от скорости сдвига, а при более низких концентрациях и высоких скоростях сдвига превалирует «вязкостная» составляющая.

Имеющиеся экспериментальные данные [27] показали, что при низких скоростях сдвига поток сыпучих материалов, к которым относится и псевдооживленная ЗС, ведет себя как обычная ньютоновская жидкость. При более высоких скоростях напряжения сдвига пропорциональны квадрату скорости сдвига. Это объясняется одновременным, пропорциональным возрастанием величины ударных импульсов и их числа в единицу времени с увеличением скорости сдвига. При этом частицы помимо поступательной скорости движения в направлении сдвига приобретают распределенную в пространстве компоненту скорости хаотических перемещений (скорости флуктуации), модуль которой имеет тот же порядок, что и модуль относительной скорости поступательного перемещения частиц [28-30]. Т.е. имеет место реологический закон [28-32]:

$$\mu \approx \mu_0 + \mu_\infty \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|, \quad (6)$$

где первое слагаемое учитывает вязкую (Ньютоновскую) часть тензора напряжения, а второе – отклонение от него.

При постановке граничных условий при движении сыпучих сред нужно обеспечить равенство нулю на свободной поверхности касательных напряжений:

$$\sigma_\tau = 0, \quad (7)$$

и равенство нулю внутреннего избыточного давления:

$$p = 0. \quad (8)$$

На твердой поверхности необходимо учесть эффект «скольжения» [31,33]:

$$u_x = \beta \frac{\partial u_x}{\partial y}, \quad (9)$$

где: β - коэффициент, который зависит от свойств сыпучей среды и поверхности скольжения (при $\beta = 0$ выполняется классическое условие прилипания).

Выводы. В результате исследований предложен способ повышения эффективности пневмосепарирования, который заключается в предварительном расслоении зерновых смесей при помощи воздушной чешуйчатой поверхности.

Проведенным анализом теоретических исследований установлено, что при построении модели динамики зерновой смеси в разработанном пневмосепарирующем устройстве рационально использовать гидродинамические аналогии с движением несжимаемой неньютоновой жидкости, описываемой уравнениями движения (1), уравнением неразрывности (2), реологическим законом (6), условиями (7), (8) на свободной поверхности и условием (9) на скатной поверхности.

Список использованных источников

1. <http://kmzindustries.ua/catalog/read/syeparatory-kbs>.
2. http://www.frunze.ua/catalog/resheto/Chesh_list.html.
3. Hutter K., Rajagopal K.R. On flows of granular materials // Continuum Mech. Thermodyn., 1994. - V.6. - P. 81 – 139.
4. Ейтс Дж. Основы механики псевдооживления с приложениями / Ейтс Дж. - М.: Мир, 1986. - 184 с.
5. Протодьяконов И.О. Гидродинамика псевдооживленного слоя / Протодьяконов И.О., Чесноков Ю.Г. - Л.: Химия, 1982. - 264 с.
6. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко – Харьков: Основа, 2004. – 224 с.
7. Захаров Н.М. Об аналогии вибрируемого слоя с вязкой жидкостью / Н.М. Захаров // Доклады МИИСП. - М., 1966. – Т. 3, Вып. 1. – С.201-210.
8. Урьев Н.Б. Исследование реологических свойств высокодисперсных порошков в процессе вибраций / Н.Б. Урьев, Н.В. Михайлов, П.А. Ребиндер // Доклады АН СССР, 1969. – Т.184, №2. – С. 387 – 390.
9. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский – М.: Наука, 1973. – 847 с.
10. Тищенко Л.Н. Исследование закономерностей вибровязкости зерновых смесей при сепарировании цилиндрическими виброцентробежными решётами / Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень, С.А. Харченко, В.В. Бредихин // Вісник ХНТУСГ: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробн виробництв.– Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 88. – С. 34-44.
11. Тищенко Л.Н. Моделирование процессов зерновых сепараторов / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко, С.А. Харченко и др. – Харків: Міськдрук, 2010. – 360 с.
12. Тищенко Л. Н. Виброрешетная сепарация зерновых смесей / Л.Н. Тищенко, В. П. Ольшанский, С. В. Ольшанский. - Харків: Міськдрук, 2011. – 280 с.
13. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. пер. с англ. / У.Л. Уилкинсон. - М., 1964.
14. Астарита Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей, пер. с англ. / Астарита Дж., Марруччи Дж. - М., 1978. – 312 с.

15. Матвеевко В.Н. Вязкость и структура дисперсных систем / В.Н. Матвеевко, Е.А.Кирсанов // Вестник МГУ, сер.2, Химия. -Т.52, №4. - 2011. – С.243-275.
16. Урьев Н.Б., Потанин А.А. Текучесть суспензий и порошков. - М., 1992.
17. Krieger I.M. Rheology of polymer colloids. In Polymer colloids / ed. R. Buscall, T. Corner, J. Stageman / - L. N.Y., 1985. - Ch. 6. - 219 p.
18. Tadros Th. F. Introduction // Solid. Liquid dispersions / Ed. By Th. F. Tadros. - L., 1987.- P.1.
19. Goodwin J. W. The rheology of colloidal dispersions // Solid. Liquid dispersions / Ed. by Th. F. Tadros. - L., 1987. - 199 p.
20. Goodwin J.W. Some Uses of Rheology // Coll. Sci. in Coll. Dispers / Ed. By J.W. Goodwin. The Royal Soc. of Chem., 1982. – N. 43.- P.165.
21. Bingham E.C. Fluidity and plasticity. N.Y., 1922.
22. Casson N. A // Rheol. of disperse systems / Ed. C.C. Mill. - L., 1959.-P.84.
23. Hershell W.H. Konsistenzmessungen von Gummi-Benzollosungen / W.H. Hershell, R. Bulkey // Kolloid Zeitschrift, 1926. -№39. - S. 291.
24. Рейнер М. Реология. Пер. с англ. - М.: Наука, 1965. - 224 с.
25. Tanner R. I. Engineering Rheology. - rendon Press, Oxford, rev. edition, 1988.
26. Savage S.B. Granular Flows down rough Inclines – Review and Extension. In J.I. Jenkins and M. Satake (Editors) // Mechanics of granular Materials, Elsevier Science Publishers. - Amsterdam, 1983. - P. 261 – 282.
27. Ragnold R.A. Experiments on a gravity free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shera//Proc.Roy.Soc.-London, 1954.-V.A225.P.49-63.
28. Механика гранулированных сред. Теория быстрых движений. пер. с англ. - М.: Мир, 1985.
29. Savage S. The stress tensor in a granular flow at high shear rates / S.Savage, D.Jeffrey // J. Fluid Mech, 1981. - V. 110. - P. 255–272.
30. Долгунин В.Н. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение / В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев. - М.: “Изд-во Машиностроение-1”, 2005. - 73с.
31. Шваб А.В. Модель движения высококонцентрированной гранулированной среды / А.В. Шваб, М.С. Марценко // Вестник Томского Гос.Ун-та, 2011.- № 3(15). - С.108-116.
32. Ree T., Eyring H. // Appl. Phys., 1955. - №26. - P. 793.
33. Гудмен М. Две задачи о гравитационном течении гранулированных материалов / М. Гудмен, С. Коун // Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений: Сб. ст.:Пер с англ.-М.: Мир, 1985. - С. 65 – 85.

Анотація

СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПНЕВМОСЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ В ПНЕВМОСЕПАРУЮЧИХ ПРИСТРОЯХ

Тіщенко Л., Харченко С., Борщ Ю., Абдуєв М.

У статті визначений спосіб підвищення ефективності процесу пневмосепарування зернових сумішей, закладений підхід до моделювання

динаміки псевдозрідженої зернової суміші по похилій скатній площині з повітропроникними рифами-лусочками.

Abstract

METHOD FOR INCREASING EFFICIENCY PNEUMOSEPARATION GRAIN MIXES IN PNEUMOSEPARATING DEVICES

L.Tishchenko, S. Kharchenko, Y. Borsch, M. Abduev

The article defined a method for increasing the efficiency of pneumoseparation grain mixes laid approach to modeling the dynamics of fluidized grain mixture on a sloping skate plane with ventile reefs-scales.

УДК 631.559.2

ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКОВОГО ПРИБУТКУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

**Мельник В.І., д.т.н., проф., Циганенко М.О., к.т.н., доц.,
Анікєєв О.І., к.т.н., доц.**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

В статті приведені методичні підходи до розрахунку додаткового прибутку при використанні одного з елементів системи точного землеробства – паралельного водіння агрегатів на прикладі господарства Харківської області.

Постановка проблеми. Подальший розвиток сільського господарства в цілому і рослинництва як його провідної галузі знаходиться в прямій залежності від рівня матеріально-технічного забезпечення галузі. Важливим кроком в розвитку механізованих технологій стала розробка технічного забезпечення систем координатного та "точного землеробства", що дозволяє вести моніторинг стану ґрунту та культурних рослин на визначених ділянках поля, відповідним чином дозувати добрива та засоби захисту рослин для досягнення високої ефективності їх дії при мінімально необхідних витратах. Одним з елементів системи точного землеробства (СТЗ) є паралельне водіння агрегатів на базі GPS навігації, що є економічно вигідною технологією для сучасного рослинництва. Технологія реалізується за допомогою спеціальних GPS-систем паралельного водіння (випускаються під марками Outback, Raven, Trimble, GreenStar, TeeJet, Leica) [1]. Сьогоднішній сільськогосподарський виробник має обрати оптимальне технічне рішення для своїх завдань.

Аналіз останніх досліджень. Нові технології та технічні рішення наразі з'являються так часто, що споживачі не встигають освоїти попередні, як на ринку пропонують уже нові. Наприклад в системах паралельного водіння тепер застосовуються інерційні датчики, ультразвукові локатори, системи