

УДК 631.363.636.085

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОДНОСЛОЙНОЙ ПОДАЧЕ

Шацкий В.В., д.т.н., Демьяненко Д.В., магистр, Коломиец С.М., к.т.н.
(Таврический государственный агротехнологический университет, Украина)

Представлены закономерности распределения плотности зерновых материалов при однослойной подаче.

Постановка проблемы. Качество технологической влаго-тепловой обработки зерновых материалов зависит от качества их подачи в зоне обработки, на качественный показатель которого влияет фракционный состав кормового материала и особенности его расположения [1]. Поэтому определение моделированием зависимостей и закономерностей распределения плотности зернового материала на плоскости обработки в один слой, что влияет на качество обработки и, как следствие, на продуктивность животных, является актуальным.

Анализ последних исследований. Влияние фракционного состава зерна на качество однослойной подачи проявляется различным количеством зернин на единице площади ввиду различного их расположения на плоскости и различным сочетанием частиц разного размера на этой площади. Качество однослойного распределения зернин на единице площади ввиду различного их расположения на плоскости подробно описано в работе [2], то влияние фракционного состава на качество распределения зернин различным сочетанием осталось в тени, что и служит основанием для рассмотрения этого вопроса.

Целью работы является определение закономерности распределения плотности зерновых материалов при однослойной подаче.

Метод исследований обусловлен рассмотрением поведения дискретной внутренней структуры материала в среде стохастического перемещения и взаимодействия отдельных частиц различного размера и массы. В связи с этим для моделирования используется математическая модель [1], созданная авторами на основе метода дискретных элементов и комбинаторику.

Зерновой материал представлен в виде упругих, соприкасающихся между собой, частиц сферической формы и пустот между ними. Диаметр частиц эквивалентен диаметру d_3 зерна, определенному по формуле шара: $d_3 = \sqrt[3]{(6V_3 / \pi)} = \sqrt[3]{(6klab / \pi)}$, где V_3 – объем зерна, мм³, $V_3 = klab$, ; k – коэффициент, учитывающий форму зерна (для пшеницы и ячменя -0,52, для ржи и овса -0,42, для гороха 0,56) [3]; l, a, b - длина, ширина и толщина зернины.

Качество формирования порции зернового материала в один слой определяется отклонением количества частиц и их массы, располагающихся на единичной плоскости F1 в различных сочетаниях (комбинациях).

Количество всех сочетаний расположения частиц B в объеме, заполненном частицами A (меньшего размера), определяется методом дискретных элементов [4] и понятием сочетания n элементов по k элементов [5] или иначе - k_B -элементным подмножеством множества из n элементов.

Вероятность расположения частиц n_B , соприкасаясь друг с другом, определяется на основании статистики Бозе-Эйнштейна [5] как соотношение количества вариантов, которыми оставшиеся $n_B - k$ частиц могут быть распределены по $n - 1$ оставшимся ячейкам, к количеству способов их распределения

$$P_{k_B} = \frac{C_{n_B - k}^{n_B - k}}{C_{n_B + n - 1}^{n_B}} \quad (1)$$

где n - количество переходов системы (ячеек);

n_B - количество частиц B .

k – количество частиц, попавших в одну ячейку.

Зная вероятность расположения частиц в ячейке определенной площади F1, определяется количество $N(k_B)$ блоков сочетаний (композиций) (рис.1), где частицы A плотно окружают частицы B , находящиеся в различном сочетании k_B ($k=1,2,3$). Принимаем, что частицы блоков сочетаний (композиций) располагаются в соприкосновении друг с другом с плотностью упаковки $K_{ПДВ}=0,9069$ [6].

Для моделирования структуры материала состоящего из различного по размерам частиц рассматриваются крайние случаи сочетания частиц – одинакового i -го размера частиц и частицы j -го размера (см. рис.1).

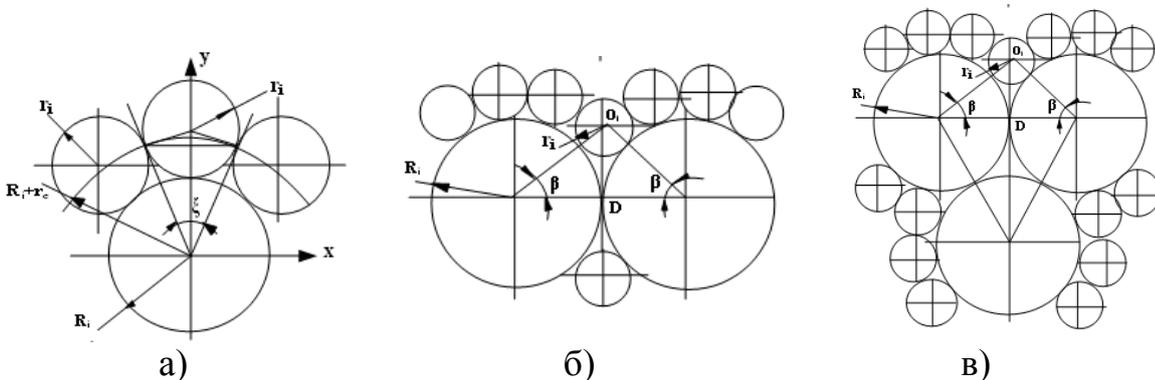


Рисунок 1 - Схемы расположения частиц

Для расчета количества частиц, расположенных на определенной площади площадки F1 ($F1 = a^2$), принимаем допущение, что равновеликие

частичи A_x розполагаються на площини хаотически с плотностью $K_{ПА}$ упаковки от 0,7854 до 0,9069 [5], что в среднем $K_{ПА}$ составляет 0,85.

Неравномерность распределения количества частиц на плоскости от различного сочетания частиц разного размера определяется отклонением массы общего количества частиц, располагающихся на контрольной площади $F1$ размером a^2 .

Среднее квадратическое отклонение массы частиц от различного их сочетания равно [1]

$$\sigma_{mNc} = \left[\sum_{k=2}^3 \sigma_{MBk}^2 + \left(\Delta S_{A_x B_x} \frac{\sigma_{mF1}}{F1} \right)^2 \right]^{0,5}. \quad (2)$$

где σ_{MBk} - среднее квадратическое отклонение частиц, расположенных на площади S_{ABk}^n

$$\sigma_{MBk} = \frac{M_{Bk}}{n_B \sqrt{P_k n_B (1 - P_k)}}, (k = 2, 3);$$

$\Delta S_{A_x B_x}$ - свободная площадь, образуемая от стохастического образования блоков $AB1$;

$$\Delta S_{A_x B_x} = S_{A_x B_x} - \left(S_{AB1} \frac{n_A - \sum_{k=2}^3 n_{Bk} n_{ABk}}{n_{AB1}} - S_{RB} \frac{n_B - n_B (2P_2 + 3P_3)}{k_{ПА}} \right) \quad (3)$$

$$S_{A_x B_x} = F1 - n_B \left(\sum_{k=2}^3 P_k S_{ABk}^n \right) - \text{площадь, незанимаемая блоками } Bk \text{ [1].}$$

На основании вышеизложенного среднее квадратическое отклонение массы σ_{mNcp} частиц от различного их расположения

$$\sigma_{mNcp} = \left[\sum_{k=2}^3 \sigma_{MBk}^2 + \left(\Delta S_{A_x B_x} \frac{\sigma_{mF1}}{F1} \right)^2 + \sigma_{mN}^2 \right]^{0,5}. \quad (4)$$

Масса (M_{ABF1}) частиц на площадке $F1$ определяется как функция известного количества частиц A и B и их массы, а плотность ρ_{F1} распределения массы частиц на площадке $F1$ – как удельное распределение массы M_{ABF1} на

площади $F1$, то есть $\rho_{MF1} = M_{ABF1} / F1$. Распределение плотности на плоскости площадью $F1$ определяется из соотношения отклонения масс и плотности материала.

Моделирование процесса распределения частиц зернового материала на единичной площади 10000 мм^2 показало, что вероятность появления блоков двух ($k=2$) и трех ($k=3$) частиц B , окруженных частицами A , повышается с увеличением количества частиц B (рис. 2).

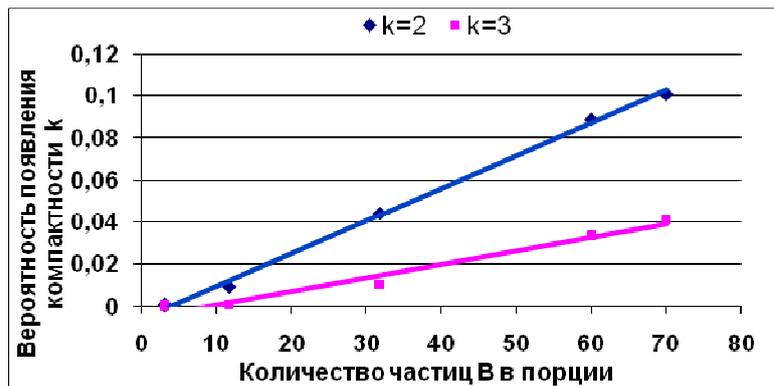


Рисунок 2 - Вероятность образования V_k блоков на площади $F1$

Вероятность появления блоков V_{k2} описывается зависимостью $P_{V_{k2}} = 0,0015nB - 0,0058$, а V_{k3} - $P_{V_{k3}} = 0,0006nB - 0,0055$. При чем вероятность появления блоков V_{k2} превышает вероятность появления блоков V_{k3} более чем в 4,4 раза при $nB=32$. С увеличением частиц B это превышение снижается и при $nB=70$ составляет 2.7, при $nB=100$ - 2.66.

Зная вероятность $P_{V_{k2}}$ и $P_{V_{k3}}$ появления блоков частиц B не трудно рассчитать вероятность $P_{V_{k1}}$ появления блоков с одной частицей B и вычислить количество частиц в контрольной площади и их массу. Которая зависит от соотношения размеров частиц A и B (рис.3).

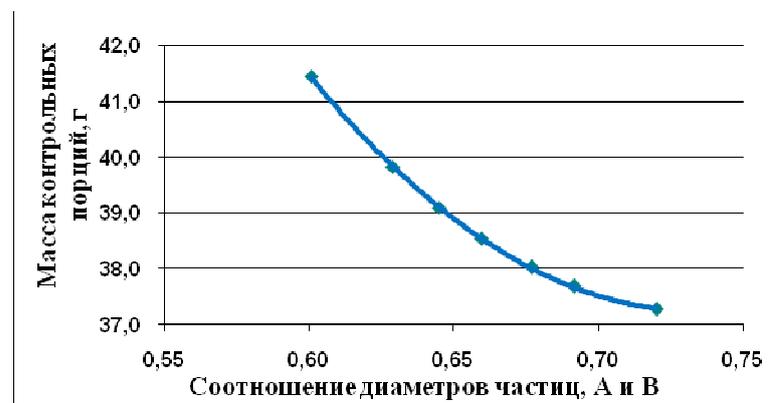


Рисунок 3 - Зависимость массы контрольной порции от соотношения диаметров частиц A и B

При соотношении диаметров частиц $d_A/d_B = 0,6$ масса порции составляет 41,46г. С повышением соотношения диаметров $d_A/d_B = 0,72$ масса порции снижается до 37,28г согласно параболической зависимости $M_{п} = 238,04(d_A/d_B)^2 - 349,17d_A/d_B + 165,3$.

Различное сочетание частиц А и В на контрольной площади вызывает изменение количество частиц разного размера в том числе и частиц В, которое зависит от соотношения размеров частиц А и В (рис.4).

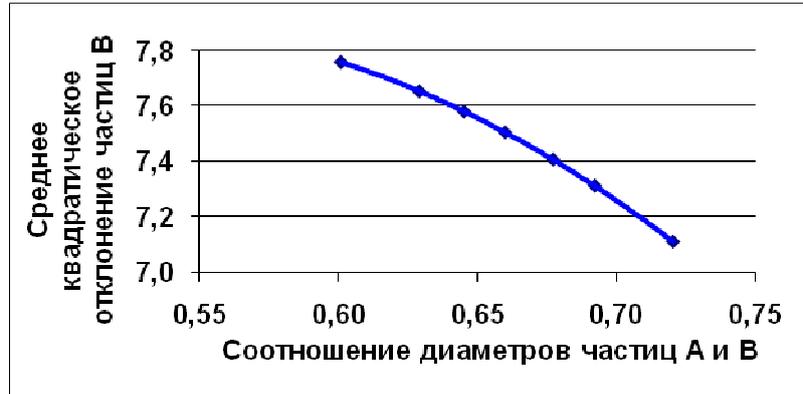


Рисунок 4 - Среднее квадратическое отклонение частиц в от соотношения диаметров части А и В

С уменьшением отличия размеров частиц (с приближением соотношения d_A/d_B к единице) среднее квадратическое отклонение количества частиц В снижается согласно зависимости $\sigma_{NB} = 18,757(d_A/d_B)^2 + 19,369d_A/d_B + 2,8916$ с 7,76 при соотношении $d_A/d_B = 0,6$ и 7,11 – при $d_A/d_B = 0,72$.

Вероятность появления блоков и изменение количества частиц разного размера, расположенных на контрольной площади вызывает отклонение массы контрольной порции (рис.5), которое определяется как функция известного количества частиц А и В и их массы. Поэтому отклонение массы контрольной порции снижается с 1,44 до 0,66 г при уменьшении разницы в размерах частиц (отношение диаметров d_A/d_B частиц повышается с 0,6 до 0,72) согласно зависимости $\Delta M_{п} = 52,528(d_A/d_B)^2 - 75,621d_A/d_B + 27,893$.

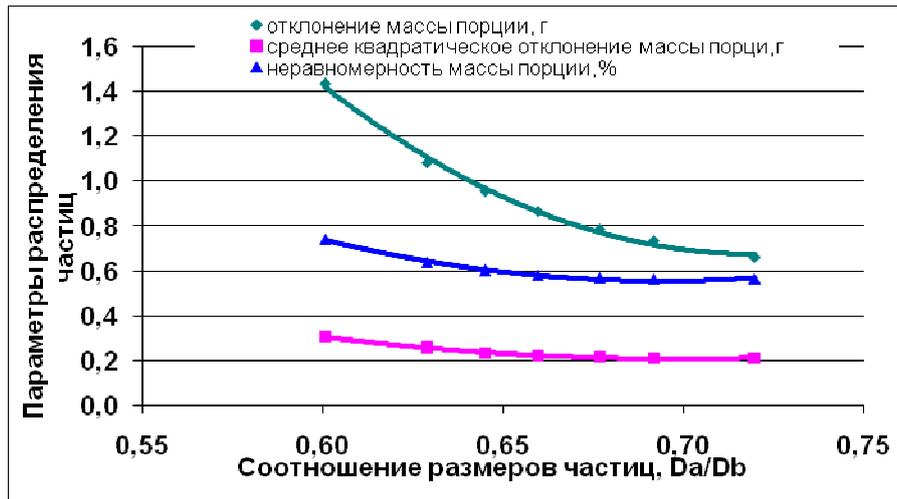


Рисунок 5 - Залежність параметрів розподілу частини від співвідношення розмірів частини А і В

Середнє квадратичне відхилення маси порцій також зменшується з 0,308 до 0,211г, при вищепроведеному зміні співвідношення розмірів частини, згідно з залежністю $\sigma M_p = 10,1(d_A/d_B)^2 - 14,113d_A/d_B + 10,556$.

Нерівномірність розподілу маси частини кормового матеріалу в розмірі порцій в цьому випадку зменшується з 0,743 до 0,566% згідно з залежністю $\Theta = 20,747(d_A/d_B)^2 - 28,805d_A/d_B + 5,1392$. При чому во всіх трьох випадках коефіцієнт кореляції становить не менше 0,99.

Відхилення розмірів частини впливає на масу частини порції, яка зменшується з зменшенням різниці в розмірах частини, а відповідно і густоти розподілу маси. Тому густина ρ_{F1} розподілу маси частини на площинці F1 визначається як функція розподілу маси частини А і В на площинці F1 – як удільне розподілення маси M_{ABF1} на площинці F1, тобто $\rho_{MF1} = M_{ABF1} / F1$.

На густоту маси порцій впливає і стохастичне розподілення комбінацій блоків. Моделювання показує, що при зменшенні різниці в розмірах частини (d_A/d_B збільшується з 0,6 до 0,72) густина контрольних порцій кормового матеріалу зменшується (рис.6) з 42,89 до 37,94г/дм².

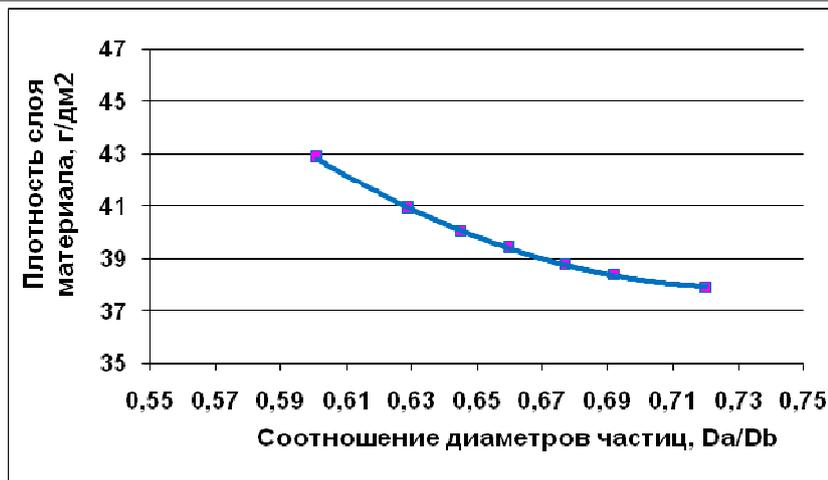


Рисунок 6 - Залежність щільності шару матеріалу від співвідношення розмірів частинок A та B

Повищення щільності при стохастическом розподіленні блоків сочетання частинок об'яснюється зменшенням порожнеч між частинками в цьому випадку.

Зниження щільності матеріалу при зменшенні різниці в розмірах частинок приводить до зниження середнього квадратического відхилення щільності кормового матеріалу в контрольних порціях з 0,319 до 0,215 при зменшенні різниці в розмірах частинок (d_A/d_B підвищується з 0,6 до 0,72) (рис.7).

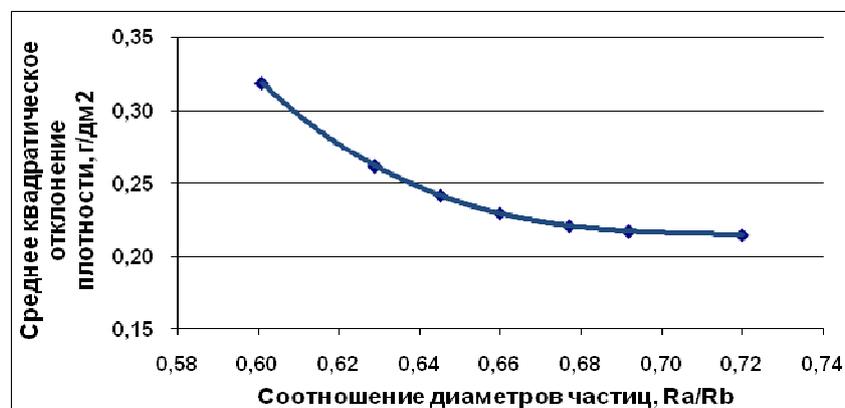


Рисунок 7 - Залежність відхилення щільності порцій від співвідношення розмірів частинок A та B

Зміна середнього квадратического відхилення щільності знаходиться в гіперболической залежності $\sigma_p = 65,927 (d_A/d_B)^3 + 141,33(d_A/d_B)^2 - 1,05d_A/d_B + 24,314$.

Отримані закономірності розподілення щільності зернових матеріалів при одношарній його подачі дає можливість на основі моделювання визначити зміни кількісного співвідношення частинок A та B в порції при зміні одного з них в межах допустимой

неравномерности падачи зернового материала на обработку, а также - зависимость влияния качества распределения частиц по плоскости обработки, с учетом качества их подачи и фракционного состава корма, на динамичность структуры и плотности распределения однослойного потока зерновых материалов.

Выводы. Полученные закономерности плотности однослойного распределения частиц зерновых материалов дают возможность определения параметров процесса и оборудования для влаготопловой обработки зернового материала.

Список литературы

1. Шацкий В.В. Модель распределения плотности зерновых материалов при однослойной подаче / Демьяненко Д.В., Чумак В.А., Коломиец С.М. / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Наукове фахове видання. Вип.13, Т.3.- – Мелітополь: ТДАТУ, 2013 -С. 92-102
2. Шацкий В.В. Моделирование механизированных процессов приготовления кормов./ В.В. Шацкий – Запорожье: ПЦ «Х-ПРЕСС», 1998. - 140с.
3. Данко И. Физико-химическая и геометрическая характеристика зерна / girls4girls.ru/.../2318-fiziko-himicheskaya-i-geometricheskaya-harak.....
4. Хокни Р. Численное моделирование методом частиц. / Хокни Р., Иствуд Дж. / Пер. с англ., М. Мир. 1987.- 640с.
5. Комбинаторика. Число сочетаний / natalymath.narod.ru/combinatory.html.
6. Слоэн Н. ДЖ. А. Упаковка шаро / Scientific American, Издание на русском языке/№ 3 · март 1984 · с. 72–82.

Анотація

Моделювання розподілу щільності зернових матеріалів при одношаровій подачі Шацький В.В., Дем'яненко Д.В., Коломієць С.М.

Представлена математична модель розподілу щільності зернових матеріалів при одношаровій подачі.

Abstract

Design of distribution of closeness corn materials at serve in one layer

V. Shatsky, D. Demjanenko, S.Kolomiec'.

The mathematical model of distributing of closeness of corn materials at serve in one layer is presented