

**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АПК
TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT
FOR AGROINDUSTRIAL SECTOR**

Научная статья

УДК 631.365.3

doi: 10.34655/bgsha. 2024.76.3.018

Исследование сыпучести зерновых материалов в условиях стесненности

И.Н. Аммосов¹, С.С. Ямпиллов², Ю.Ж. Дондоков¹, В.М. Дринча¹

¹Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Республика Саха(Якутия), Россия

²Восточно-Сибирский государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия

Автор, ответственный за переписку: Василий Михайлович Дринча, vdrincha@list.ru

Аннотация: Определены физические значения термина угол естественного откоса (при свободном истечении материала из бункеров) и термина угол естественного откоса в состоянии покоя (при исходном статическом положении материала). Проанализированы свойства зерновых материалов, влияющие на их сыпучесть. Установлено, что угол естественного откоса при свободном истечении больше угла естественного откоса при статическом положении. Определены основные способы и аналитические зависимости определения сыпучести зерновых материалов в условиях свободного истечения из емкостей. Разработана лабораторная установка для определения свойств сыпучести зернового материала, находящегося в стесненных условиях (статической емкости). Представлены физические основы и основные положения определения сыпучести зерновых материалов в условиях стесненности. Из трех исследованных вариантов расположения перегородок наименьшее проникновение зерна между перегородок имеет место при их вертикальном положении, а наибольшее – при горизонтальном размещении, причем сравнение проводили при одинаковом расстоянии между перегородками. Получены уравнения регрессии, описывающие проникновение зернового материала в пространство, образованное параллельно расположенными пластинами в разработанной лабораторной установке. Уравнение регрессии может быть использовано для инженерного расчета конструктивных элементов машин и вспомогательного оборудования в области зернопроизводства.

Ключевые слова: зерно, угол естественного откоса, коэффициент сыпучести, способы определения сыпучести зерна, лабораторная установка для определения сыпучести зерна.

Original article

Study of the flowability of grain under the confined space

Innokentiy N. Ammosov¹, Senge S. Yampilov², Yuriy Zh. Dondokov¹, Vasilii M. Drincha¹

¹Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

²East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia

Corresponding author: Vasilii M. Drincha, vdrincha@mail.ru

Abstract. The physical values of the angle of repose (with free flow of material from the bunkers) term and the term of angle of repose in a state of rest (with the initial static position of the material) were determined. The properties of grain materials affecting their flowability were analyzed. It was found out that the angle of repose with free flow is greater than the angle of repose in a static position. The main methods and analytical relationships for determining the flowability of grain materials under conditions of free flow from containers were defined. A laboratory unit was developed to determine the flowability properties of grain materials located in cramped conditions (static container). The physical foundations and basic principals for determining the flowability of grain materials under the confined space were presented. Out of three studied options for the arrangement of partitions, the least penetration of grain between the partitions occurred when they were vertically positioned, and the greatest grain penetration - when placed horizontally, the comparison was made with the same distance between the partitions. Regression equation was obtained describing the penetration of grain materials into the space between parallel plates in a developed laboratory unit. The regression equation can be used for engineering calculations of structural elements of machines and auxiliary equipment in the field of grain production.

Keywords: grain, angle of repose, coefficient of flowability, methods of assessment of grain flowability, laboratory unit for determining the flowability of grain.

Введение. В прошлом физике сыпучих материалов или зерновых материалов уделялось гораздо меньше внимания со стороны исследователей, чем, скажем, гидродинамике. Первое письменное упоминание о зернистых материалах принадлежит Лукрецию (ок. 98-55 до н. э.), известному поэту и натурфилософу Древнего Рима. В 55 г. до н. э. он писал: «Маковые семена можно зачерпнуть ковшом так же легко, как если бы это была вода, и если окунуть ковш, семена текут сплошной струей» [1].

Несмотря на годы устойчивого роста производства зерновых материалов, применяемые технологии посева, уборки, послеуборочной обработки, хранения, транспортирования и переработки зерна основываются на недостаточно изученных свойствах сыпучести зерна, в основном, на эмпирических результатах.

В сельском хозяйстве, а также в отраслях переработки типичное предприятие обрабатывает сотни тысяч тонн зер-

новых материалов в год. В структуре затрат небольшая часть, обычно около 9%, приходится на переработку, 83% на производство с.-х. зерновых материалов и около 8% на транспортные расходы [1, 2].

В комбикормовой промышленности подвергаются обработке сотни миллионов тонн зерна, имеющего широко разнящиеся сыпучие свойства. Значительная часть процессов характеризуется низкой эффективностью из-за технологических проблем, обусловленных свойствами сыпучести зерна. Такие материалы, как влажное зерно, комбикорм, склонны к образованию твердых пробок, которые зачастую удаляют при помощи кирок или отбойными молотками. Нередко можно видеть бункера с вмятинами в выгрузных конусных частях бункеров от ударов молотков.

Анализ проблем, связанных с сыпучестью в сельском хозяйстве и на перерабатывающих предприятиях, показывает, что они могут быть отнесены к двум ти-

пам: закупорка бункеров, транспортеров и зернопроводов, а также сегрегация зерна при его разрыхленном перемещении

или воздействию на него вибрациями или пневматическим потоком (рис. 1).

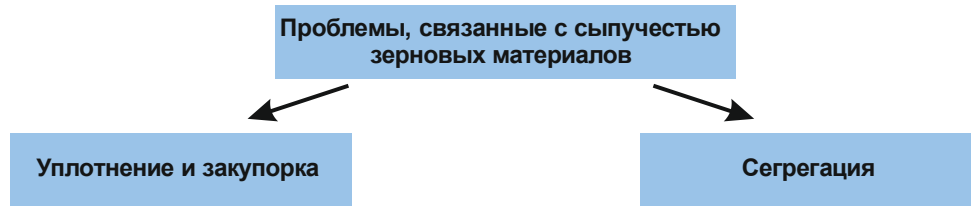


Рисунок 1. Классификация принципов, обуславливающих проблемы обработки зерновых материалов

Эффективность и качество работы практически всех зерновых с.-х. машинных систем снижается от заблокированных потоков, которые в некоторых случаях могут быть чрезвычайно разрушительными. Уплотнение и закупорка зерновых материалов происходят в зерновых бункерах комбайнов, особенно при повышенной влажности и засоренности убираемого зерна,

а также в отделениях приемки и временного вентилирования комбайнового зерна, а также в зерновых хранилищах и отраслях переработки. Особо сложные проблемы возникают при загрузке и выгрузке вертикальных силосных хранилищ [3, 4].

Закупорки при истечении из бункеров могут образовываться спонтанно в результате сводообразования (рис. 2).

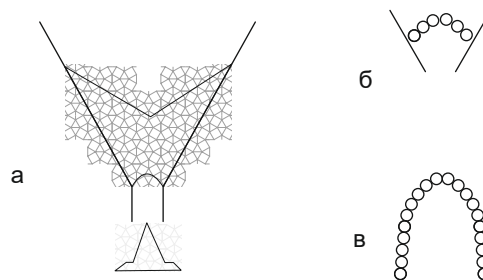


Рисунок 2. Схема сводообразования при истечении сыпучих материалов из бункеров: а – истечение материала из бункера; б – механизм сводообразования; в – сводообразование при максимальной устойчивости (перевернутая цепь)

Сводообразование в некоторых случаях может приводить к опасным взрывам газов брожения, скапливающихся в зернохранилищах, закупоренных такими арками.

Учитывая множество неопределенностей, связанных со статическими свойствами сыпучих систем, их сложно описать теоретически. Арки, которые являются прямым следствием гравитационных сил, могут образовываться чисто из-за геометрических свойств зерновых материалов, а также вследствие сил внутреннего трения. Например, одинаковые шары, опирающиеся с обеих сторон на наклонные стены (рис. 2б), могут находиться в равновесии при двухточечном

контакте, соединительная линия которых находится ниже центра тяжести. Внутреннее трение значительно повышает вероятность образования арок, опирающихся на боковые стенки бункеров. В этом случае даже необязательно, чтобы боковые стенки были наклонными, что часто имеет место в силосах.

Существующие инженерные решения устранения уплотнения и сводообразования при истечении зерновых материалов из бункеров являются довольно сложными и удорожающими конструкции зерновых машин (рис. 3).

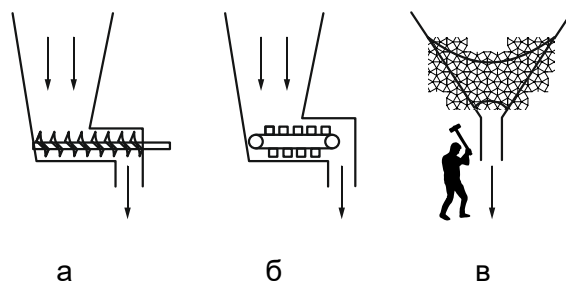


Рисунок 3. Практические решения устранения закупорки зернового материала при выгрузке из бункеров: а – шнековый транспортер; б – конвейерная лента с гофрированной поверхностью; в – выгрузка с применением кувалды (при обработке продукции с низкой добавленной стоимостью)

Зерновые отрасли обычно имеют низкую добавленную стоимость и ограничиваются применением относительно про-

стых технологий устранения вредного воздействия сегрегации зерна (рис. 4).

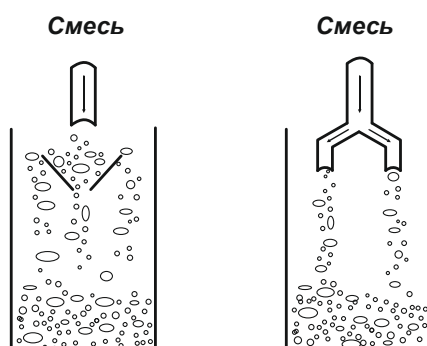


Рисунок 4. Применяемые способы в практике, уменьшающие сегрегацию зерна в процессе его загрузки в зерновые емкости: а – воронкообразные загрузочные устройства; б – деление исходного зернового потока на несколько потоков

Технологии возделывания зерновых культур также могут влиять на сыпучесть зерна [5], что усложняет проектирование зерновых машин. Физическое свойство сыпучести является важным не только при разработке машин для зернопроизводства, но и в смежных областях, например, при обращении с минеральными удобрениями [6].

Таким образом, зерновые материалы обладают свойствами сыпучести, обуславливающими существенные технологические и технические проблемы производства и переработки зерна, которые стали предметом многих исследований. Однако, не только физика этого, казалось бы, простого явления остается малоизученной, но и существующие экспериментальные подходы определения свойств сыпучести зерновых материалов существенно разнятся и при применении их

на практике исследователи получают данные, зачастую несопоставимые между собой [7, 8, 9].

Целью данной статьи является анализ методов определения сыпучих свойств зерновых материалов, а также исследование их при нахождении зерна в стесненных условиях.

Материалы и методы исследования. Перед разработкой методики экспериментальных исследований по определению сыпучих свойств основных зерновых культур в стесненных условиях провели анализ методов, применяемых для оценки свойств сыпучести зерновых материалов. На основании проведенного анализа на кафедре технологических систем АПК (ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ) разработана лабораторная установка для определения свойств сыпучести зерновых материалов в стесненных услови-

ях путем оценки проникновения зерна между пластинами, установленными в насыпи.

Установка представляет собой деревянный короб с внешним размером 130x870x550 мм и объемом 0,03 м³ (рис. 5).

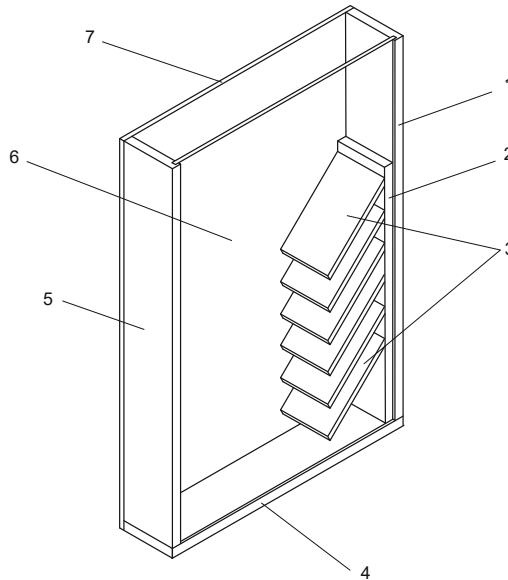


Рисунок 5. Схема установки для определения проникновения зерна между пластинами при различном их положении

Геометрическая форма, размер и объем установки выбраны на основании аналогового анализа большого количества методик и устройств для определения углов естественного откоса сыпучих зерновых материалов [10, 11, 12]. Короб установки выполнен открытым сверху по всему периметру для удобства засыпки и выгрузки зерна из короба установки. Установка включает правую стенку 1 с накладкой 2, на которую фиксируются перегородки 3, которые были изготовлены из березовой фанеры размером 235x110x10 мм. Они выполнены съемно-монтажными и с возможностью установки с различными углами к горизонту и различными расстояниями между ними. Положение перегородок 3 определяли с помощью линейки и транспортира. В нижней части короба установлено основание 4, а с левой стороны размещена стенка 5. Во фронтальной части короба установлено прозрачное стекло 6, а тыльная часть закрыта фанерным листом 7. Выполнение фронтальной части короба прозрачной позволило визуально наблюдать за процессом и производить фотосъемки при распределении зерна в коробе.

Исследования проводили на семенном зерне 1-й репродукции урожая 2022 г., хозяйства Тумул (Мегино-Кангаласского улуса, РС Я). Пшеница – сорт Новосибирская 31, ячмень – Ача, овес – Фома. Семенное зерно было кондиционной влажности (около 14%), убрано комбайном Вектор 410 (Ростсельмаш) и прошло предварительную очистку на машине ОВС-25.

Экспериментальные лабораторные данные обрабатывались пакетом программ SNEDECOR и Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Сыпучесть материалов характеризуется зависимостями предельных касательных напряжений от давления в толще насыпи. График предельных касательных напряжений строят по результатам экспериментальных исследований сыпучих материалов на трибометре. Для построения графика из эксперимента нормальные напряжения s и предельные тангенциальные напряжения σ могут быть определены по следующим формулам [13, 14, 1]:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

где P – суммарный вес прижимных пластин и материала в подвижной рамке трибометра; F – площадь среза;

$$\tau = \frac{T - T_p}{F}, \quad (2)$$

где T – сила сдвига; T_p – сопротивление подвижной рамки.

На основании проведенных исследований было установлено, что основные зерновые материалы могут быть отнесены к легко- или хорошо сыпучим материа-

лам при кондиционной влажности и относительно небольшой засоренности. Для таких материалов угол естественного откоса α зависит от внутреннего трения между зерновками φ :

$$\alpha = \tan^{-1} \varphi \quad (3)$$

Угол естественного откоса может быть определен наиболее простым и широко известным способом, включающим образование насыпного конуса посредством свободного истечения зерна [15, 16] (рис. 6).

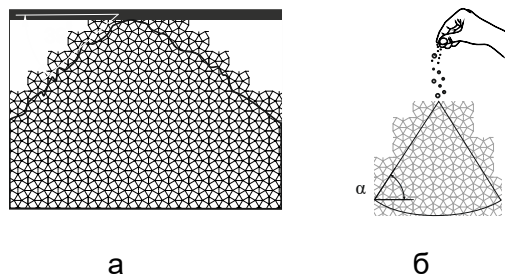


Рисунок 6. Образование насыпного конуса при свободном перемещении зернового материала: а – общий вид двумерной конусообразной насыпи; б – образование конуса насыпи (путем одиночной подачи зерен на шероховатую поверхность)

Если известны радиус r основания конуса и его высота h , то угол естественного откоса может быть определен из выражения:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h}{r} \quad (4)$$

Коэффициент внутризернового трения φ , определенный путем измерения угла естественного откоса α , является статическим, если насыпной конус образован свободным безударным поступлением зерновок на образуемый насыпной конус.

Угол α может быть измерен с помощью простейшего устройства, включающего площадку 1, на которой установлена вертикальная стойка 3 с закрепленным на ней хомутом 2 и кронштейном для воронки 4 (рис. 7) [3, 10, 15]. При определениях угла α исследуемый зерновой материал выпускают из воронки 1 на горизонтальную площадку, в результате чего там образуется конус из материала. Затем с помощью угломера измеряют угол наклона α относительно горизонта.

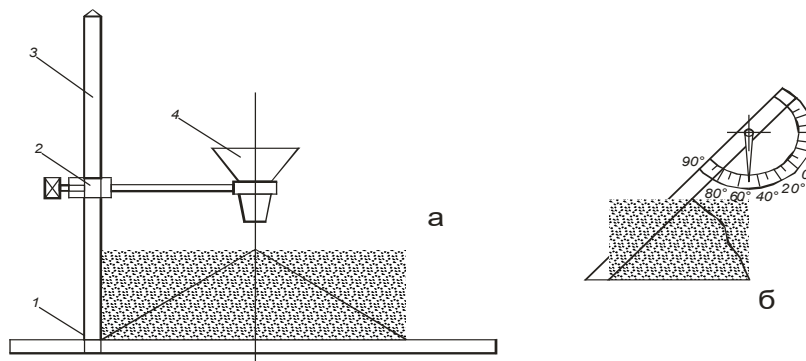


Рисунок 7. Определение углов естественного откоса зернового материала: а – устройство для определения углов естественного откоса; б – измерение углов естественного откоса

Способы образования углов естественного откоса α при свободном истечении зерновых материалов могут быть

классифицированы следующим образом (рис. 8).

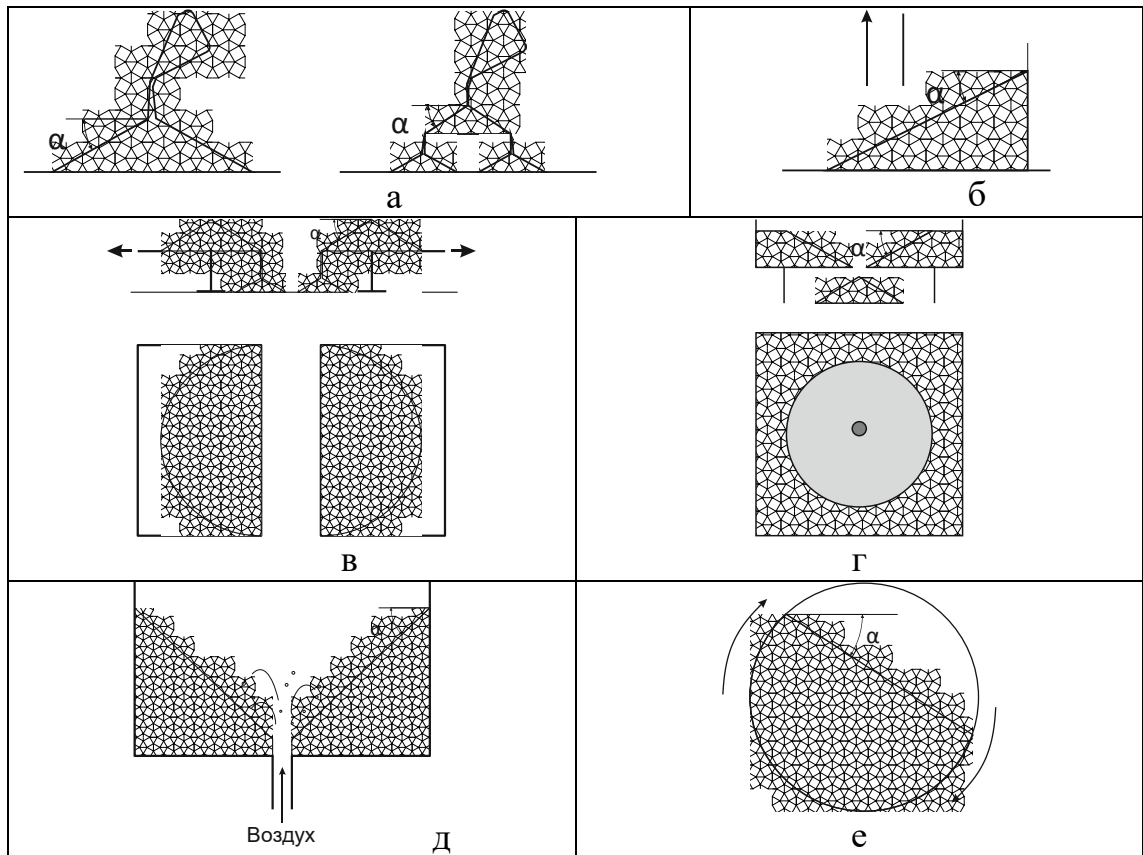


Рисунок 8. Способы образования углов естественного откоса при свободном истечении зерновых материалов: а – осторожная насыпка конусообразной насыпи; б – заполнение контейнера и удаление одной из стенок; в – раздвижение основания конуса до момента остановки течения; г – изъятие пробки из опорного основания; д – продувка воздушной струей до образования кратера; е – вращение заполненного цилиндра до момента начала движения материала

Вышеописанные способы определения углов естественного откоса зависят от конструктивных особенностей устройств для образования конусообразной насыпи, что затрудняет и не позволяет во многих случаях определять их с требуемой точностью. При этом, данные методы не могут быть применены для исследования свойств сыпучести зерновых материалов в стесненных условиях.

При изучении углов естественного откоса нельзя полагаться на один метод, следует в каждом конкретном случае находить оптимальный подход, так как сама методика определения сыпучести влияет на угол естественного откоса.

Сыпучесть зерновых материалов в стесненных условиях определяли в спе-

циально разработанной установке (рис. 5) путем различного расположения перегородок внутри насыпи и определения проникновения зерна в межперегородочное пространство (рис. 9).

Проведенные сравнительные экспериментальные исследования проникновения зерна в межперегородочное пространство показали, что вследствие внутреннего трения между зерновками, независимо от исследуемого варианта расположения перегородок (рис. 9), в исследуемой установке путем варьирования расстояния между перегородками, углами их наклона к горизонту, а при необходимости и длиной перегородок, можно достичь условия, при которых зерно в стесненных условиях не доходит до основания креп-



а



б



в



г

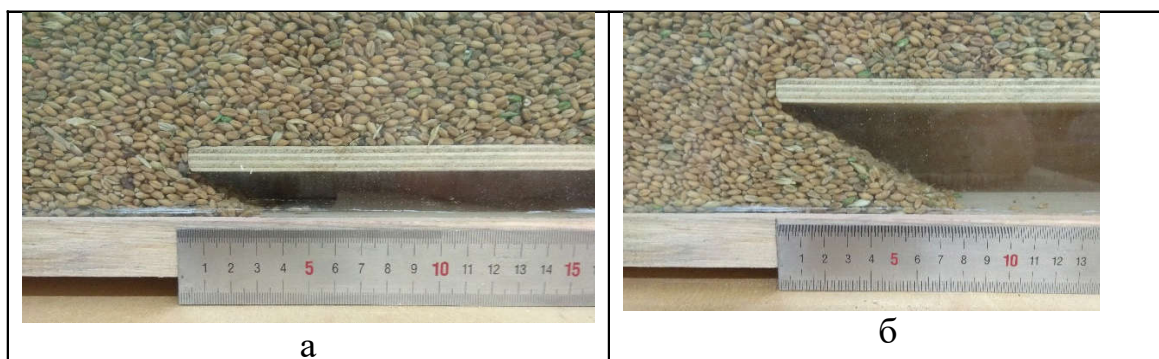
Рисунок 9. Размещение перегородок в зерновой насыпи в разработанной установке: а – вертикальное; б – горизонтальное; в – под наклоном с большим расстоянием между ними; г – под наклоном при уменьшенном расстоянии между перегородками

ления перегородок.

Из трех исследованных вариантов (рис. 9 а, б, в и г) наименьшее проникновение зерна между перегородок имеет место при вертикальном расположении перегородок, а наибольшее – при горизонтальном размещении, причем во всех

сравниваемых вариантах расстояние между перегородками одинаковое.

В процессе экспериментальных исследований определили влияние расстояния между перегородками на глубину проникновения зерна между ними (рис. 10 и 11).



а

б

Рисунок 10. Проникновение зерна в межперегородочное пространство при горизонтальном расположении перегородок: а – расстояние между перегородкой и основанием небольшое; б – расстояние между перегородкой и основанием увеличено



Рисунок 11. Зависимость глубины проникновения зерна пшеницы между перегородками от расстояния между ними при горизонтальном расположении перегородок

Опыты были проведены на семенах пшеницы в трехкратной повторности. Путем аппроксимации экспериментальных значений получили следующее уравнение регрессии:

$$l = -1,8 + 1,4 \cdot s + 0,001 \cdot s^2 \quad (5)$$

где l – глубина проникновения зерна между перегородки, мм; s – расстояние между перегородками.

Среднеквадратическая ошибка аппроксимации полученного уравнения регрессии составила 4,77 мм, а коэффициент корреляции – 0,998.

Анализ уравнения (5) показывает, что оно практически близко к линейному, так как значение коэффициента при s^2 существенно меньше, чем при s .

Полученное уравнение (5) может быть использовано для инженерного расчета конструктивных элементов зернохранилищ, предприятий комбикормовой промышленности, а также в других отраслях народного хозяйства.

Заключение. Зерновые материалы обладают свойствами сыпучести, которые вызывают многочисленные проблемы в сельском хозяйстве, переработке и других отраслях промышленности. Физика этого, казалось бы простого явления, остается плохо изученной, вследствие чего существенно усложнены применяемые технологии и машины, а также име-

ют место большие потери зерна в процессе его уборки, послеуборочной обработки, хранения и переработки.

Угол естественного откоса зерновых материалов является основной характеристикой их свойств сыпучести и определяется через коэффициент внутреннего трения между зерновками. Он определяет подвижность зернового материала, его необходимо учитывать при разработке зерновых сепараторов, зернохранилищ, систем аэрирования зерна, питателей-дозаторов, течек, выпускных конических частей бункеров. Во всех случаях следует принимать угол наклона поверхностей к горизонту, по которым перемещается зерновой материал, превосходящий по величине его угол естественного откоса.

Сравнительные экспериментальные исследования проникновения зерна в межперегородочное пространство в стесненных условиях в разработанной установке показали, что вследствие внутризернового трения при вертикальном и горизонтальном расположениях перегородок, а также при их размещении под углом к горизонту путем варьирования расстояния между перегородками, углами их наклона к горизонту, а при необходимости и длиной перегородок, можно достичь условия, при которых зерно в стесненных условиях не доходит до основания крепления перегородок. Полученный экспери-

ментальный результат является чрезвычайно важным для разработки новых технических решений для технологий послеуборочной обработки, хранения и транс-

портировки зерновых материалов, а также для других отраслей промышленности.

Список источников

1. Duran Jacques. Sands, Powders, and Grains. An Introduction to the Physics of Granular Materials // Springer Science-Business Media New York, 2000. 226 p.
2. Assessment of radio frequency heating on composition, microstructure, flowability and rehydration characteristics of milk powder / Zhong Yu; Wu Yuwei; Zheng Yuanrong; Zhu He; Liu Zhenmin; Jiao S // Food Science and Technology, 2017; Т. 37, № 4. Pp. 544–551.
3. Белозерских И.С. Влияние маннита на сыпучесть и слеживаемость концентратов из сырья пантового оленеводства // Вестник КрасГАУ. 2020. №.10. С. 169–173. EDN: NMIGTJ. doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-169-173
4. Подготовка семян к озимому посеву в засушливых условиях на агрегатах типа ЗАВ / А.В. Касьяненко, И.Н. Краснов, И.А. Кравченко, Т.Н. Толстоухова // Сельский механизатор. 2020. № 5-6. С. 37–38. EDN: ORGBBT
5. Горах О.С., Климшена Р.И. Влияние некорневой подкормки микроудобрениями на технологические качества зерна ярового пивоваренного ячменя // Вісник Уманського національного університету, 2020; № 1. С. 6–10.
6. Фоейрборн Б. Результаты испытаний разбрасывателя минеральных удобрений Amazone ZA-TS // Новое сельское хозяйство. 2017. № 2. С. 86–89.
7. Лузгин Н.Е., Бирюкова К.В. Методика и результаты определения угла естественного откоса и коэффициента трения сахарной пудры и ледяных шариков по пищевому алюминию // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК. 2020. Ч.1. С. 342–349.
8. Исследования угла естественного откоса компонентов зерносмеси / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов, Х.Д. Альшинаинин // Наука в центральной России. 2020. № 5. С. 31–41. EDN: XXUNVG. doi: 10.35887/2305-2538-2020-5-31-41.
9. Influence of particle shape and contact parameters on DEM-simulated bulk density of wheat / Petingco M.C., Casada M.E., Maghirang R.G., Fasina O.O., Chen Z. & Ambrose R.P.K. // Transactions of the ASABE, 2020.63(6). Pp. 1657–1672. doi:10.13031/trans.13718
10. Дринча В.М. Как определить сыпучесть зерновых материалов // Достижения науки и техники АПК. 1994. № 4-5. С. 36 – 39.
11. Попов И.П., Чумакова Л.Я. Определение меры инертности зернового вороха с учётом его сыпучести // Вестник Курган. ГСХА. 2018. № 3. С. 70–72.
12. Прибор для определения угла естественного откоса сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов, А. Хайдер, Д. Джабер // Сельский механизатор. 2020. № 9. С. 26–27. EDN: ETFPLA. doi: 10.47336/0131-7393-2020-9-26-27
13. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф. Угол естественного откоса початков кукурузы как объекта послеуборочной механической обработки // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI в. Белгор. гос. аграр. ун-т им. В. Я. Горина, 2018. С. 12–16.
14. Лямкин Е.С., Тарасов В.П. Взаимодействие транспортируемого продукта с элементами загрузочной камеры винтового питателя // Современные проблемы техники и технологии хранения и переработки зерна. Барнаул, 2000. С. 56–60.
15. Бирюков И.В. Обоснование угла атаки плоских щитков гребневой сеялки // Материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. “Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения”, 7-8 февр. 2017 г. Ульяновск, 2017. Ч.1. С. 38–44.
16. Rudelt J., Klink H., Verreet J.-A. Impact of adhesive adjuvants addition into seed treatments on the flowability of cereal crop seeds // Journal fur Kulturpflanzen, 2018; Т. 70. № 5. Pp. 158–162.

References

1. Duran Jacques. Sands, Powders, and Grains. An Introduction to the Physics of Granular Materials. Springer Science-Business Media New York, 2000. 226 p.
2. Zhong Yu., Wu Yuwei, Zheng Yuanrong, Zhu He, Liu Zhenmin, Jiao S. Assessment of radio frequency heating on composition, microstructure, flowability and rehydration characteristics of milk powder. Food Science and Technology, 2017; Vol.37:No.4:544–551.
3. Belozerskikh I.S. Effect of mannitol on flowability and caking of concentrates from the products of velvet antler deer farming. Vestnik KrasSAU. 2020;10:169–173 (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-169-173.

4. Kasyanenko A.V., Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Tolstoukhova T.N. Preparation of seeds for winter sowing in dry conditions on units of the ZAV-type. *Rural mechanic*. 2020;5-6:37–38 (In Russ.)
5. Gorakh O.S., Klimshena R.I. Influence of foliar feeding with microfertilizers on the technological qualities of spring malting barley grain. *Bulletin of Uman National University*, 2020;1:6–10.
6. Feuerborn B. Results of testing the Amazone ZA-TS mineral fertilizer spreader. *New Agriculture*. 2017;2:86–89 (In Russ.)
7. Luzgin N.E., Biryukova K.V. Methodology and results of determining the angle of repose and the coefficient of friction of powdered sugar and ice balls on food aluminum. *Actual problems of youth science in the development of the agro-industrial complex*. 2020. Part 1. Pp. 342–349 (In Russ.)
8. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N., Alshinainin Kh.D. Studies of the angle of natural slope of grain mix components. *Science in Central Russia*. 2020;5:31–41 (In Russ.). doi: 10.35887/2305-2538-2020-5-31-41.
9. Petingco M.C., Casada M.E., Maghirang R.G., Fasina O.O., Chen, Z., & Ambrose R.P.K. Influence of particle shape and contact parameters on DEM-simulated bulk density of wheat. *Transactions of the ASABE*. 2020;63(6):1657–1672. doi:10.13031/trans.13718
10. Drincha V. M. How to determine the flowability of grain materials. *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 1994;4-5:36–39 (In Russ.)
11. Popov I.P., Chumakova L.Ya. Determination of the measure of inertia of a grain heap taking into account its flowability. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2018;3:70–72 (In Russ.)
12. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N., Haider A., Jaber D. Angle of repose device bulk materials. *Rural mechanic*. 2020. No. 9. Pp. 26–27 (In Russ.). doi: 10.47336/0131-7393-2020-9-26-27
13. Bakharev D.N., Volvak S.F. Angle of natural slope of corn cobs as an object of post-harvest mechanical processing. *Actual problems of agricultural engineering in the 21st century*. Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, 2018. Pp. 12–16 (In Russ.)
14. Lyamkin E.S., Tarasov V.P. Interaction of the transported product with the elements of the loading chamber of the screw feeder. *Modern problems of engineering and technology of grain storage and processing*. Barnaul, 2000. Pp. 56–60 (In Russ.)
15. Biryukov I.V. Justification of the angle of attack of flat shields of a ridge seeder. *Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and ways of their solution*. Proc. VIII Int. Sci. and Pract. Conf. February 7-8, 2017. Ulyanovsk, 2017; Part 1. Pp. 38–44 (In Russ.)
16. Rudelt J., Klink H., Verreet J.-A. Impact of adhesive adjuvants addition into seed treatments on the flowability of cereal crop seeds. *Journal fur Kul-turpflanzen*, 2018;Vol.70:No.5:158–162.

Информация об авторах

Иннокентий Николаевич Аммосов – старший преподаватель кафедры «Технологические системы АПК»;

Сэнгэ Самбуевич Ямпиллов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биомедицинская техника, процессы и аппараты пищевых производств»;

Юрий Жигмитович Дондоков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические системы АПК»;

Василий Михайлович Дринча – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические системы АПК».

Information about the authors

Innokenty N. Ammosov – senior lecturer, Chair of Technological Systems of the Agroindustrial sector;

Senge S. Yampilov – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Biomedical technology, processes and equipment for food production;

Yuri Zh. Dondokov – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Chair of Technological Systems of the Agroindustrial sector;

Vasily M. Drincha – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Technological Systems of the Agroindustrial sector.

Статья поступила в редакцию 12.03.2024; одобрена после рецензирования 07.06.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 12.03.2024; approved after reviewing 07.06.2024; accepted for publication 18.06.2024.