

## МУЛЬТИФРАКЦИОННОЕ СЕПАРИРОВАНИЕ РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО ФОРМЕ И ПЛОТНОСТИ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

А. Н. Куди, Н. А. Федосов, В. В. Сергеев,  
А. Г. Тараканов, В. А. Пронин, А. Е. Гончарова

*Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств»,  
ua3rbs65@mail.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** быстрый сдвиговый поток; гравитационный скат; зернистый материал; квазидиффузионная сепарация; сегрегация.

**Аннотация:** Дано описание функциональных возможностей технологии мультифракционной сепарации частиц по плотности и форме в полидисперсном сыпучем материале. Технология предполагает последовательное и комплексное использование эффектов квазидиффузионной сепарации и сегрегации частиц в быстром сдвиговом потоке на гравитационном скате, а также применение традиционных технологических приемов калибровки частиц по форме. Приведена оценка эффективности применения мультифракционной технологии для производства биологически ценного семенного материала.

---

Сепарация смесей частиц сыпучих материалов по форме является традиционной технологической задачей для ряда промышленных отраслей и предприятий агропромышленного комплекса. Строгие ограничения по вариации размера и формы частиц гранулятов и кристаллов существуют, например, в ряде производств химической продукции, электротехнических изделий, природных кристаллов, когда факторы формы принципиально влияют на их функциональные свойства. Технологическая проблема усиливается в случаях, когда форма частиц продукта регламентируется без ограничений в комплексе геометрических параметров, определяющих форму изделий (диаметра, длины, ширины, толщины), при полидисперсном их составе [1]. Такая технологически проблемная ситуация ярко проявляется в сельскохозяйственном производстве растениеводческой продукции, чем и объясняется особое внимание к ее анализу в рамках настоящей статьи.

Острота проблемы в сельском хозяйстве подтверждается ее огромным масштабом, чрезвычайным многообразием методов ее решения и отсутствием надежной технологической базы для развития ряда отраслей сельскохозяйственных производств [2]. Процессами сепарации зерна и семян сопровождаются важнейшие этапы производства, включающие подготовку семенного материала и уборку зерна и семян. В зависимости от технологического назначения процессов сепарации, в сельском хозяйстве принято различать процессы очистки, калибровки и сортирования. Сепарирование зерна и семян осуществляется с учетом их фракционного состава и отличия свойств компонентов смесей по комплексу морфологических признаков и физико-механических свойств.

Сложность и многообразие технологических задач сепарации в сельском хозяйстве привели к необходимости организации процесса при последовательном учете различных отличительных признаков компонентов смесей. Сепарирование смесей проводят по геометрическим параметрам формы частиц (диаметру,

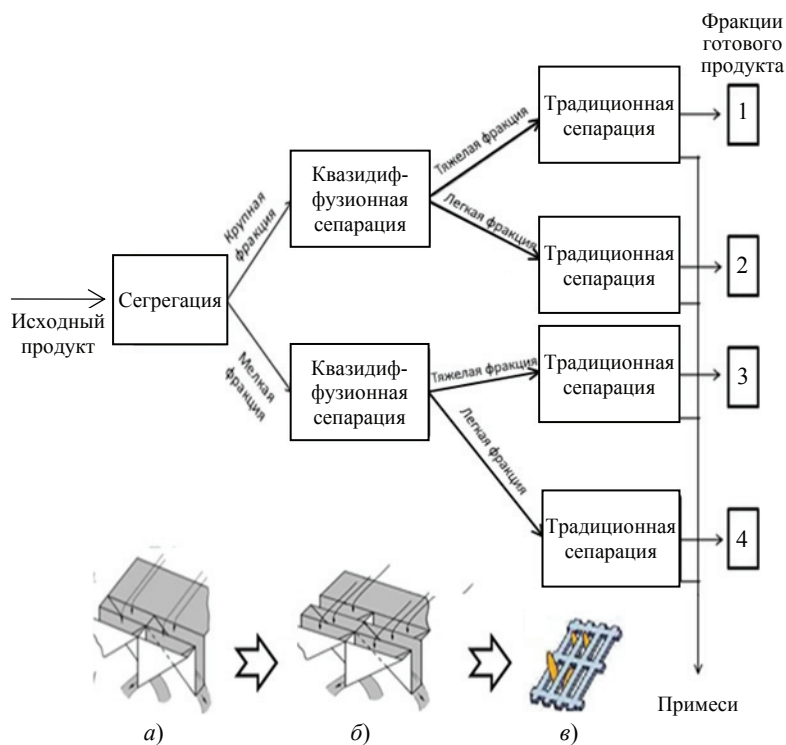
толщине, ширине, длине, форме поперечного сечения), аэродинамическим характеристикам (критической скорости псевдооживления, скорости уноса, парусности), плотности, упругости, шероховатости, цвету и диэлектрическим свойствам. Перечисленные отличительные признаки компонентов смесей варьируются в широких пределах и зависят от вида и сорта культуры, климатических и агротехнических условий, в которых происходит их произрастание, а также множества других факторов, что значительно осложняет задачу сепарации.

Однако, как показывает практика, организация процесса сепарации смесей семян путем последовательного их фракционирования и калибровки по размерам, плотности, форме и аэродинамическим свойствам препятствует решению основной технологической задачи – максимальному выделению из смеси биологически наиболее ценного семенного материала. Это объясняется потерей семенами биологической активности в результате не только их травмирования, но и рассредоточения по фракциям на множестве последовательных операций сепарирования.

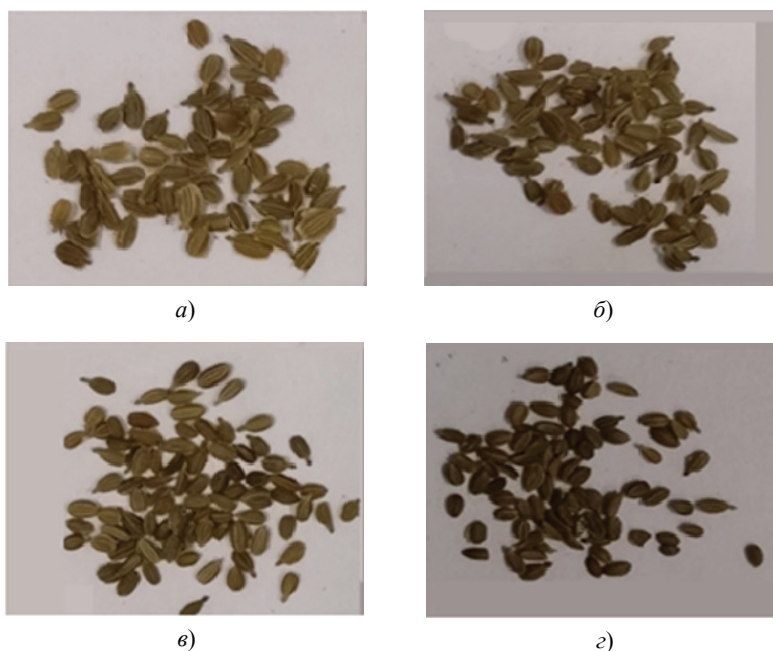
Основными показателями биологической активности семян являются всхожесть и энергия прорастания, определяющие соответственно их репродуктивную способность и дружность прорастания – показатель чрезвычайно важный в агротехническом аспекте. Исследования показывают [3, 4], что агробиологическая активность семян прямо коррелируется с их массой, которая при равном размере зерен прямо определяет содержание питательных веществ и аккумулированный потенциал физиологической активности. Однако в традиционных технологиях сепарации семян выделение фракций с наибольшей массой (регламентируемый показатель масса тысячи зерен) осуществляется путем последовательного фракционирования исходного сырья по размерам и плотности, что сопровождается снижением потенциально возможных показателей биологической активности семян.

В работе [1] предложена мультифракционная технология сепарации зернистых материалов, полидисперсные частицы которых различаются по форме и плотности. Технология обеспечивает разделение полидисперсных компонентов смеси по форме с выделением фракций частиц различной массы. В соответствии с операционной схемой, мультифракционная технология регламентирует комплексное использование физических эффектов сепарации неоднородных частиц в быстром сдвиговом потоке на гравитационном скате (рис. 1). На первой стадии предлагается с использованием эффекта сегрегации фракционировать смесь с получением необходимого числа фракций частиц, различающихся по объему [5, 6]. На второй стадии с использованием эффекта квазидиффузионной сепарации каждая из полученных фракций калибруется по массе, что сопровождается удвоением общего числа фракций, полученных на первой стадии [7 – 9]. При необходимости сепарации компонентов смеси с различной формой частиц фракции, содержащие такие компоненты, классифицируют по ключевому геометрическому параметру традиционными методами либо с использованием сит (сепарация по толщине и ширине), либо триерных блоков (сепарация по длине). Вследствие комплексного использования эффектов самосепарации частиц в условиях минимальной травмируемости в гравитационном потоке одновременно по размеру и плотности предложенная технология позволяет во многом преодолеть недостатки, свойственные традиционным технологиям.

Функциональные возможности мультифракционной технологии продемонстрированы на примере решения технологической задачи очистки семян моркови от трудноотделимой примеси карантинных семян повилки и калибровки семян по массе с целью их фракционирования в зависимости от биологической активности [1]. В результате полного цикла обработки исходного семенного материала, согласно схеме (см. рис. 1), получены четыре фракции семян, различающиеся по массе 1 000 зерен (рис. 2, *a – z*).



**Рис. 1. Операционная схема мультифракционной технологии сепарации и рабочие органы оборудования, используемого на отдельных стадиях:**  
*а* – фракционирование по объему; *б* – калибровка по массе;  
*в* – сепарация по ключевому геометрическому параметру



**Рис. 2. Фракции семян моркови, откалиброванных по объему и массе:**  
*а* – крупные тяжелые; *б* – крупные легкие; *в* – мелкие тяжелые; *г* – мелкие легкие

Фракции сформированы в результате разделения исходной смеси на первом этапе на две равные по объему части, которые получены с использованием эффекта сегрегации в быстром сдвиговом потоке на гравитационном скате. Для интенсификации эффекта сегрегации и его доминирования в потоке на скате поддерживались условия течения с высокой структурной однородностью. Под действием эффекта сегрегации, движущей силой которого является степень концентрации напряжений на неоднородных частицах, сепарация частиц происходит преимущественно по эквивалентному размеру (по объему).

Для отделения частиц, различающихся по объему, использован принцип многоступенчатой сепарации с противотоком неоднородных частиц, который реализован на аппарате «Мультисег» [10, 11]. Исчерпывание неоднородных по объему частиц осуществляют из верхней и нижней частей гравитационного потока на скате, установленном неподвижно во вращающемся барабане. При этом верхняя часть потока обогащена частицами с большим объемом, а нижняя – с малым.

На втором этапе полученные фракции подвергались калибровке по массе частиц. При этом каждая из фракций также разделялась на две равные по объему части. При калибровке по массе использован эффект квазидиффузионной сепарации в быстром сдвиговом потоке на гравитационном скате. Для того чтобы в потоке на скате доминировал и интенсивно протекал эффект квазидиффузионной сепарации, поддерживались условия течения с высокой структурной неоднородностью. При высоких градиентах распределения объемной доли пустот в потоке достигаются высокие значения движущей силы квазидиффузионной сепарации с разделением частиц по массе.

Для отделения частиц, различающихся по массе, использован принцип многоступенчатой сепарации с противотоком неоднородных частиц [12]. Исчерпывание неоднородных по массе частиц осуществляется из центральной и периферийных частей гравитационного потока на скате, установленном неподвижно во вращающемся барабане. При этом центральная часть потока обогащена частицами с большой массой, а периферийные части – с небольшой массой. Для интенсификации квазидиффузионной сепарации процесс организуют при вертикальных виброколебаниях ската низкой частоты [13 – 15].

В результате реализации мультифракционной технологии и после отбраковки мелкой легкой фракции (см. рис. 2, з), состоящей из колотых и несформированных семян с большим содержанием семян карантинного растения, получены три фракции товарных семян с массой тысячи зерен: 1,6; 0,9 и 0,7 г. Существенное различие массы семян в полученных фракциях позволяет предположить столь же значительное их различие по агробиологическим свойствам. Очевидно, что в таком случае результатом фракционирования будет выравнивание агробиологических свойств семян во фракциях, что значительно повысит биологическую ценность семенного материала. Кроме того, такой результат будет прямым подтверждением эффективности предложенной мультифракционной технологии сепарации.

С целью прямой оценки эффективности мультифракционной технологии сепарации семян проведено исследование их агробиологических свойств в выделенных фракциях. Для определения агробиологических свойств семян выбрана методика проращивания семян между листами фильтровальной бумаги [16]. В соответствии с ГОСТ 12038–84 методика предполагает раскладывание семян в чашки Петри между слоями увлажненной фильтровальной бумаги: два-три слоя на дне чашки и один слой, покрывающий семена [16]. Полив семян путем опрыскивания осуществлялся два раза в сутки.

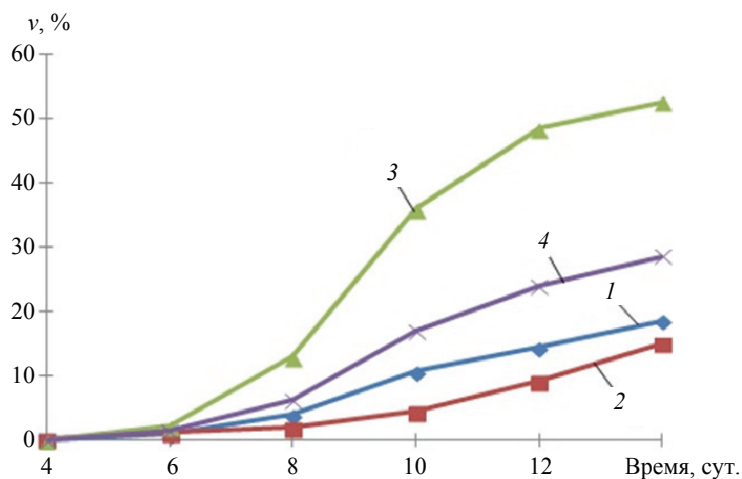
Для проведения опытов методом квартования отбирались по 2 пробы семян каждой фракции в количестве 100 семян в каждой. Объем пробы соответствовал условию, при котором каждое семя составляло 1 % от общего их числа в пробе.

Каждые двое суток осуществлялся визуальный контроль проб с подсчетом общего числа проросших семян. Экспериментальные данные, полученные в параллельных опытах, после их проверки на статистическую однородность при 5%-м уровне значимости усреднялись. Результаты исследования, представленные в виде совокупности зависимостей числа проросших семян во фракциях от времени проращивания, свидетельствуют о ярком проявлении эффекта мультифракционной сепарации семенного материала по агробиологическим свойствам (рис. 3). Сепарация семян по объему и плотности позволила выделить фракции семян, отличающиеся существенно более высокой однородностью показателей биологической активности по сравнению с исходным семенным материалом. Показатели всхожести и энергии прорастания семян мелкой тяжелой фракции в два раза превысили аналогичные показатели для смеси полученных фракций и более чем в три раза – для фракций крупных тяжелых и легких семян. Полученные результаты свидетельствуют о нецелесообразности ранее принятого решения – о возможном объединении крупной легкой и мелкой тяжелой фракций семян, основанном только на близких значениях массы тысячи зерен во фракциях [1].

Современные эффективные технологии интенсивного возделывания сельскохозяйственных культур предполагают точный высев семян в соответствии с регламентной густотой засева растений. Для использования таких технологий требуется применение семян повышенного качества, которое достигается, в том числе, за счет качественной очистки и калибровки семян по массе (размеру и плотности). Посев с регламентной густотой растений рационально осуществлять только семенами с высокими биологическими свойствами при максимальной их однородности по комплексу свойств, которые прямо коррелируются с их биологической активностью.

Полученные в результате мультифракционного сепарирования фракции семян во многом соответствуют изложенным выше требованиям интенсивного возделывания сельскохозяйственных культур. Относительно высокая однородность показателей биологической активности семян позволяет упорядочить агротехнологические операции при выращивании культур, сделать их своевременными и более эффективными для подавляющего большинства всходов.

Кроме того, высокие показатели однородности семян обеспечивают эффективность технологических операций их предпосевной подготовки (скарификации, инкрустации и дражирования), направленных на решение комплекса агротехнических



**Рис. 3. Результаты исследования биологических свойств (всхожести и энергии прорастания) семян моркови после очистки и калибровки по массе во фракциях:**  
 1 – крупная тяжелая; 2 – крупная легкая; 3 – мелкая тяжелая; 4 – смесь фракций

задач. В частности, анализ результатов (см. рис. 3) показывает, что всхожесть и энергия прорастания у семян мелкой тяжелой фракции значительно выше чем у фракций крупных семян. Очевидно, это связано с большим диффузионным сопротивлением переносу влаги и кислорода к зародышу крупных семян, что подтверждается динамикой изменения показателей биологической активности крупных семян, пребывающих в стадии ускоренного прорастания на завершающем этапе исследования.

Полученные результаты указывают на целесообразность использования процесса скарификации (искусственного снижения толщины защитной оболочки) семян крупных фракций перед высевом с целью повышения энергии прорастания. Для улучшения посевных свойств семян мелкой тяжелой фракции представляется рациональным проведение их дражирования. Операция дражирования не только обеспечит повышение энергии прорастания и всхожести семян, но и позволит увеличить их размер с уменьшением сил взаимного сцепления. Такие однородные по свойствам откалиброванные семена, обладающие повышенными биологическими свойствами, могут быть использованы для точного посева с регламентной густотой растений в технологиях интенсивного земледелия.

#### *Список литературы*

1. К решению проблемы сепарации смеси различных по форме полидисперсных частиц / А. Н. Куди, Н. А. Федосов, В. В. Сергеев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 609 – 618. doi: 10.17277/vestnik.2020.04.pp.609-618
2. Романенко, Г. А. Достижения и перспективы развития аграрной науки России / Г. А. Романенко // АПК: экономика, управление. – 2009. – № 3. – С. 3 – 11.
3. Куди, А. Н. Обработка семян методами разделения и соединения / А. Н. Куди, В. Н. Долгунин, Е. А. Рябова // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 6. – С. 21 – 27.
4. К вопросу о повышении биологической ценности семенного материала как средства обеспечения эффективного землепользования / В. Н. Долгунин, А. Н. Куди, М. А. Туев, М. О. Ломакин // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2016. – № 4 (62). – С. 13 – 18. doi: 10.17277/voprosy.2016.04.pp.013-018
5. Dolgunin, V. N. Segregation Modeling of Particle Rapid Gravity Flow / V. N. Dolgunin, A. A. Ukolov // Powder Technology. – 1995. – Vol. 83, No. 2. – P. 95 – 103.
6. Dolgunin, V. N. Segregation Kinetics in the Rapid Gravity Flow of Granular Materials / V. N. Dolgunin, A. A. Ukolov, O. O. Ivanov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2006. – Vol. 40, No. 4. – P. 393 – 404. doi: 10.1134/S0040579506040099
7. Dolgunin, V. N. Development of the Model of Segregation of Particles Undergoing Granular Flow down on Inclined Chute / V. N. Dolgunin, A. N. Kudy, A. A. Ukolov // Powder Technology. – 1998. – Vol. 96, No. 3. – P. 211 – 218.
8. Долгунин, В. Н. Моделирование сегрегации в сдвиговом потоке зернистого материала. Проблемы и решения / В. Н. Долгунин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 1998. – Т. 4, № 4. – С. 486 – 494.
9. Dolgunin, V. N. Segregation Kinetics of Particles with Different Roughness and Elasticity under a Rapid Gravity Flow of a Granular Medium / V. N. Dolgunin, O. O. Ivanov, A. A. Ukolov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2009. – Vol. 43, No. 2. – P. 187 – 195. doi: 10.1134/S0040579509020092
10. Долгунин, В. Н. Сегрегация в зернистых средах: явление и его технологическое применение / В. Н. Долгунин, А. А. Уколов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 180 с.

11. Долгунин, В. Н. Процессы и оборудование для переработки зернистых материалов в управляемых сегрегированных потоках : монография / В. Н. Долгунин, О. О. Иванов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 120 с.
  12. Иванов, О. О. Технология подготовки зернового сырья для биоконверсии с повышенной экстрактивностью / О. О. Иванов, Е. А. Парфенова, В. Н. Долгунин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 656 – 664. doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.656-664
  13. Куди, А. Н. Влияние частоты вибраций ската на характеристики структуры и эффекты разделения в быстром гравитационном потоке частиц / А. Н. Куди, М. А. Туев, В. Н. Долгунин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 271 – 280. doi: 10.17277/vestnik.2018.02.pp.271-280
  14. Rapid Granular Flows on a Vibrated Rough Chute: Behavior Patterns and Interaction Effects of Particles / V. N. Dolgunin, A. N. Kudi, A. A. Ukolov, M. A. Tuv / Chemical Engineering Research and Design. – 2017. – Vol. 122. – P. 22 – 32.
  15. Долгунин, В. Н. Механизмы и кинетика гравитационной сепарации гранулированных материалов / В. Н. Долгунин, А. Н. Куди, М. А. Туев // Успехи физических наук. – 2020. – Т. 190, № 6. – С. 585 – 604.
  16. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Взамен ГОСТ 12038–66 ; введ. 1986-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 49 с.
- 

## **Multifractional Separation of Polydisperse Particles Varying in Shape and Density**

**A. N. Kudi, N. A. Fedosov, V. V. Sergeev,  
A. G. Tarakanov, V. A. Pronin, A. E. Goncharova**

*Department of Technologies and Equipment for Chemical Industry  
and Food Production, ua3rbs65@mail.ru; TSTU, Tambov, Russia*

**Keywords:** fast shear flow; gravity slope; granular material; quasi-diffusion separation; segregation.

**Abstract:** A description of the functional capabilities of the technology of multifraction separation of particles by density and shape in a polydisperse bulk material is given. The technology assumes a consistent and complex use of the effects of quasi-diffusion separation and segregation of particles in a fast shear flow on a gravity slope, as well as the use of traditional technological methods of particle shape calibration. The assessment of the effectiveness of using of multifraction technology for the production of biologically valuable seed material is given.

### *References*

1. Kudi A.N., Fedosov N.A., Sergeyev V.V., Dolgunin V.N., Tarakanov A.G. [To the solution of the problem of separation of a mixture of polydisperse particles of various shapes], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2020, vol. 26, no. 4, pp. 609-618, doi: 10.17277/vestnik.2020.04.pp.609-618 (In Russ., abstract in Eng.)

2. Romanenko G.A. [Achievements and prospects for the development of agricultural science in Russia], *APK: ekonomika, upravleniye* [Agro-industrial complex: economics, management], 2009, no. 3, pp. 3-11. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Kudi A.N., Dolgunin V.N., Ryabova Ye.A. [Processing of seeds by methods of separation and connection], *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machines], 2016, no. 6, pp. 21-27. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Dolgunin V.N., Kudi A.N., Tuyev M.A., Lomakin M.O. [On the issue of increasing the biological value of seed material as a means of ensuring effective land use], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2016, no. 4 (62), pp. 13-18, doi:10.17277/voprosy.2016.04.pp.013-018 (In Russ., abstract in Eng.)
5. Dolgunin V.N., Ukolov A.A. Segregation Modeling of Particle Rapid Gravity Flow, *Powder Technology*, 1995, vol. 83, no. 2, pp. 95-103.
6. Dolgunin V.N., Ukolov A.A., Ivanov O.O. Segregation Kinetics in the Rapid Gravity Flow of Granular Materials, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2006, vol. 40, no. 4, pp. 393-404, doi: 10.1134/S0040579506040099
7. Dolgunin V.N., Kudy A.N., Ukolov A.A. Development of the Model of Segregation of Particles Undergoing Granular Flow down on Inclined Chute, *Powder Technology*, 1998, vol. 96, no. 3, pp. 211-218.
8. Dolgunin V.N. [Modeling of segregation in shear flow of granular material. Problems and solutions], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 1998, vol. 4, no. 4, pp. 486-494. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Dolgunin V.N., Ivanov O.O., Ukolov A.A. Segregation Kinetics of Particles with Different Roughness and Elasticity under a Rapid Gravity Flow of a Granular Medium, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2009, vol. 43, no. 2, pp. 187-195, doi: 10.1134/S0040579509020092
10. Dolgunin V.N., Ukolov A.A. *Segregatsiya v zernistykh sredakh: yavleniye i yego tekhnologicheskoye primeneniye* [Segregation in granular media: the phenomenon and its technological application], Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2005, 180 p. (In Russ.)
11. Dolgunin V.N., Ivanov O.O. *Protsessy i oborudovanie dlya pererabotki zernistykh materialov v upravlyaemykh segregirovannykh potokakh : monografiya* [The processes and equipment for the processing of granular materials under controlled segregated streams: a monograph], Tambov: Izd-vo FGBOU VPO "TSTU", 2011, 120 p. (In Russ.)
12. Ivanov O.O., Parfenova Ye.A., Dolgunin V.N. [Technology of preparation of grain raw materials for bioconversion with increased extractiveness], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 4, pp. 656-664, doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.656-664 (In Russ., abstract in Eng.)
13. Kudi A.N., Tuyev M.A., Dolgunin V.N. [Influence of the frequency of vibrations of the slope on the characteristics of the structure and the effects of separation in a fast gravitational flow of particles], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 2, pp. 271-280, doi: 10.17277/vestnik.2018.02.pp.271-280 (In Russ., abstract in Eng.)
14. Dolgunin V.N., Kudi A.N., Ukolov A.A., Tuev M.A. Rapid Granular Flows on a Vibrated Rough Chute: Behavior Patterns and Interaction Effects of Particles, *Chemical Engineering Research and Design*, 2017, vol. 122, pp. 22-32.
15. Dolgunin V.N., Kudi A.N., Tuyev M.A. [Mechanisms and kinetics of gravitational separation of granular materials], *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in Physical Sciences], 2020, vol. 190, no. 6, pp. 585-604. (In Russ.)
16. *GOST 12038-84. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti* [GOST 12038-84. Agricultural seeds. Methods for determining germination], Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1986, 49 p. (In Russ.)



## **Mehrfraktionstrennung verschiedener nach Form und Dichte polydisperser Partikel**

**Zusammenfassung:** Es ist die Beschreibung der Funktionsfähigkeiten der Technologie der Mehrfraktionstrennung von Partikeln nach Dichte und Form in einem polydispersen Schüttgut gegeben. Die Technologie setzt die konsequente und umfassende Nutzung der Effekte der Quasi-Diffusions-Segregation und Segregation von Partikeln in einer schnellen Scherströmung an dem Gravitationsgefälle sowie die Verwendung traditioneller technologischer Methoden der Partikelformkalibrierung voraus. Es ist die Bewertung der Wirksamkeit des Einsatzes der Multifraktionstechnologie zur Herstellung von biologisch wertvollem Saatgut gegeben.

---

## **Séparation multifractive des particules polydispersées différentes par forme et densité**

**Résumé:** Est donnée une description des fonctionnalités de la technologie de la séparation multifractive des particules en fonction de la densité et de la forme dans le matériau en vrac polydispersé. La technologie implique l'utilisation cohérente et intégrée des effets de la séparation par quasi-diffusion et de la séparation des particules dans le flux de cisaillement rapide sur la pente gravitationnelle, ainsi que l'utilisation des techniques traditionnelles d'étalonnage des particules par forme. Est évaluée l'efficacité de l'application de la technologie multifractive pour la production de semences de valeur biologique.

---

**Авторы:** *Куди Андрей Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование пищевых и химических производств»; *Федосов Никита Андреевич* – магистрант; *Сергеев Владимир Валерьевич* – магистрант; *Тараканов Александр Геннадиевич* – аспирант кафедры «Технологии и оборудование пищевых и химических производств»; *Пронин Василий Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование пищевых и химических производств»; *Гончарова Анастасия Евгеньевна* – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Борщов Вячеслав Яковлевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.