

## СПОСОБЫ ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД В РАЗЛИЧНЫХ ПЛОСКОСТЯХ ДЛЯ СЕЧЕНИЙ СМЕСИТЕЛЬНОГО БАРАБАНА

А. Б. Капранова, М. Н. Бакин, И. И. Верлока, А. И. Зайцев

*Кафедра «Теоретическая механика»,  
ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет»;  
kapranova\_anna@mail.ru*

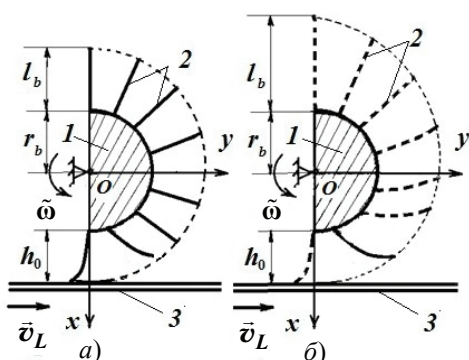
**Ключевые слова:** барабанно-ленточный смеситель; била (гибкие элементы); вторичные столкновения; гранулометрический состав; смешивание; сыпучие компоненты; угол распыливания, фазовый объем; функция распределения.

**Аннотация:** Предложены различные реализации стохастического подхода с помощью теории ударных процессов для определения дифференциальных функций распределения частиц для смешиваемых потоков сыпучих материалов при срыве с бил, закрепленных по винтовой линии на поверхности барабана, по углу распыливания. Указанные способы стохастического моделирования соответствуют трем описаниям движения твердых дисперсных сред в зоне смесителя – в поперечной и продольной плоскостях для сечений смесительного барабана, а также в полном рабочем объеме аппарата. В частности, в продольной плоскости относительно оси вращения барабана построение модели предлагается осуществить с учетом вторичных столкновений частиц, а в поперечной – отразить гранулометрический состав смешиваемых компонентов. Объединение данных подходов позволит получить полную дифференциальную функцию распределения частиц по углам распыливания как в поперечной, так и продольной плоскостях для сечения смесительного барабана. Полученные результаты использованы для оценки качества получаемой смеси, в том числе при порционном внесении в смесь одного из компонентов.

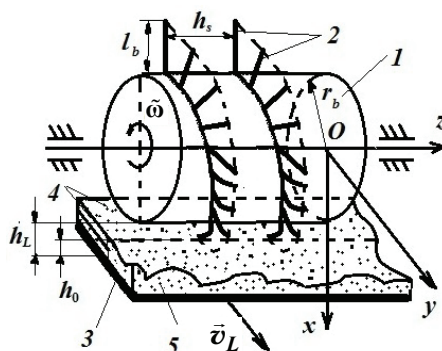
---

### Введение

Исследование процесса смешивания сыпучих компонентов на протяжении нескольких десятилетий является актуальной проблемой. Это объясняется широким диапазоном областей применения данного этапа переработки сыпучих материалов в промышленном, строительном и сельскохозяйственном секторах. Применение системно-структурного анализа [1] при проектировании нового оборудования химической технологии предполагает разработку инженерной методики его расчета на основе развитой теоретической базы. Некоторые устройства, предназначенные для получения зернистых или порошковых смесей, содержат смесительные барабаны с эластичными элементами [2 – 4]. Использование радиальных бил по отношению к поперечному сечению барабана (рис. 1, *a*) приводит к стохастическим моделям движения сыпучих компонентов в рабочей зоне смесителя только в соответствующей плоскости  $Oxy$  [2, 3], описывающим указанный процесс с достаточной точностью в сравнении с экспериментальными данными.



**Рис. 1. Схемы поперечных сечений смесительных барабанов с проекциями гибких элементов в зависимости от способа закрепления бил:**  
*a* – радиальный; *б* – с винтовой навивкой;  
 1 – сечение барабана; 2 – била;  
 3 – подвижная лента



**Рис. 2. Схема движения элемента смесительного барабана с закрепленными с винтовой навивкой билами в рабочем объеме устройства с подвижной лентой:**  
 1 – часть барабана; 2 – била; 3 – подвижная лента; 4 – слой сыпучих компонентов;  
 5 – зернистая смесь

Однако практическая необходимость смешивания увлажненных и склонных к слипанию или адгезии твердых дисперсных сред приводит к поиску конструктивных особенностей смесительных органов аппаратов специального назначения, и как следствие, формированию новых стохастических моделей смешивания сыпучих компонентов.

Стохастическое моделирование движения твердых дисперсных частиц в рабочем объеме барабанно-ленточного смесителя с винтовой навивкой гибких элементов на барабаны (рис. 1, б) может быть проведено на основе теории ударных процессов в дисперсных системах [5] в различных плоскостях – поперечной [4, 6] и продольной по отношению к оси вращающихся барабанов (рис. 2).

### Описание конструктивных особенностей смесительных барабанов

В зависимости от конечных целей процесса смешивания применяются различные способы закрепления гибких элементов на цилиндрической поверхности смесительного барабана – радиальный (см. рис. 1, а) [2, 3] и с винтовой навивкой (см. рис. 1, б и рис. 2) [4].

В обоих случаях при вращении барабана 1 с угловой скоростью  $\omega$  закрепленные била 2 деформируются после движения в зазоре между барабаном 1 и подвижной лентой 3 в основном в первой четверти плоскости его сечения  $Oxy$ . При этом моделирование в первом варианте относится к описанию образования потоков сыпучих компонентов после взаимодействия только с одним билем в указанном сечении [2, 3], а во втором – со всеми деформированными гибкими элементами [4].

Кратко остановимся на втором случае. Рассмотрим основные особенности конструкции смесительного барабана 1 с билами 2 (см. рис. 2), который может быть установлен над подвижной лентой 3 на нескольких этапах обработки зернистых компонентов 4, например, при порционном смешивании в целях получения увлажненной зернистой смеси 5 с объемно-весовым соотношением 1:10 и более [4]. Дозирование порций смешиваемых компонентов предполагается осуществлять в непрерывном режиме. Движение слоев 4 толщиной  $h_0$  из сыпучих компонентов

осуществляется с помощью горизонтальной ленты 3, которая движется со скоростью  $v_L$ . Данная лента 3 имеет зазор высотой  $h_L$  с барабаном 1, вращающимся с угловой скоростью  $\omega$ , на поверхности которого имеются гибкие элементы 2, расположенные по винтовой линии с шагом  $h_s$ .

Моделирование уравнения движения концов гибких элементов в зависимости от конструктивных параметров смесителя и угла распыливания сыпучих материалов в полярной системе координат [4] дает возможность учесть формирование потоков каждого компонента при отрыве от всех деформированных бил. Кроме того, закрепление гибких элементов с винтовой навивкой на цилиндрической поверхности барабана 1 приводит к модели объемного смешивания дисперсных твердых компонентов при формировании стохастического описания их движения после отрыва от концов бил.

### Примеры описания смешивания сыпучих сред в поперечной плоскости сечения барабана

Исследование распределения по углу распыливания сыпучих компонентов в рабочем объеме смесителя с несколькими барабанами, разбрасывающими эти зернистые материалы с движущейся горизонтальной ленты с помощью гибких элементов для второго случая (см. рис. 1, б и рис. 2), может быть проведено, например, как без учета [4], так и с учетом гранулометрического состава [6] смешиваемых сыпучих сред. В отличие от работы [7] используем стохастический подход из теории ударных процессов в дисперсных системах [5], применение которой апробировано в случаях диспергирования капель жидкости [8], разделения суспензий [9] и моделирования вторичных столкновений частиц смешиваемых порошков [3]. Выбор декартовых осей координат соответствует рис. 1, б и рис. 2; полярная система предполагает отсчет радиальной координаты  $r_{ij}$  – от оси вращения барабана, угловой координаты  $\theta_{ij}$  – от  $x$ -оси до радиус-вектора выбранной точки пространства. Пусть  $\rho_{Ti}$  – истинная плотность вещества  $i$ -го компонента смеси ( $i = 1, \dots, n_k$ );  $m_i = 6^{-1} \pi \rho_{Ti} d_{Si}^3$  – усредненная масса частицы с диаметром  $d_{Si} = n_g^{-1} \sum_{v=1}^{n_g} d_{Siv}$  для  $i$ -го сыпучего материала;  $m_{iv} = 6^{-1} \pi \rho_{Ti} d_{Siv}^3$  – масса частицы диаметром  $d_{Siv}$   $v$ -й фракции ( $v = 1, \dots, n_g$ )  $i$ -го компонента;  $k$  – угловой параметр жесткости била;  $h_j = [r_s(\theta_j)]^2 \left\{ [r_s(\theta_j)]^2 + R_0^2 \right\}^{-1/2}$  – кратчайшее расстояние от вектора скорости частицы  $\vec{v}_{r0ij}$  в полярной системе координат до оси вращения барабана длиной  $L_b$  при  $R_0 = 2h_s(l_b - h_0)L_b^{-1}$ .

Учитывая вид уравнения спиральной кривой  $r_s(\theta_j)$  из [4] в указанной поперечной плоскости, как геометрическое местоположение проекций концов бил на эту плоскость (см. рис. 1, б и рис. 2), удастся смоделировать составляющие скорости движения  $v_{xij}$ ,  $v_{yij}$  для частицы массой  $m_i$  или  $m_{iv}$  в предположении практической независимости взаимодействий частиц с  $i$ -го компонента с  $j$ -м биллом ( $j = 1, \dots, n_b$ ). Тогда, согласно подходам в работах [4, 6], фазовый объем, в котором описывается движение частиц в разреженных факелах, может иметь различные варианты представления – без учета [4] и с учетом гранулометрического состава [6] смешиваемых твердых дисперсных компонентов

$$d\Omega_{ij} = \begin{cases} dv_{xij}dv_{yij} = -\omega^2 r_{ij} dr_{ij} d\theta_{ij}; \\ \prod_{v=1}^{n_g} dd_{Siv} dv_{xij} dv_{yij} = -\omega^2 \prod_{v=1}^{n_g} dd_{Siv} r_{ij} dr_{ij} d\theta_{ij}. \end{cases} \quad (1)$$

Выражения в (1) могут быть записаны в другой форме вследствие того, что в момент указанного отрыва от концов бил ( $j = 1, \dots, n_b$ ) кинематические характеристики вида  $v_{xyij}$  или  $v_{r\theta ij}$  для движений частиц сравнимы для различных зернистых сред ( $i = 1, \dots, n_k$ )

$$d\Omega_{ij} = \begin{cases} d\Gamma_j = -\omega^2 r_j dr_j d\theta_j; \\ \prod_{v=1}^{n_g} dd_{Siv} d\Gamma_j = -\omega^2 \prod_{v=1}^{n_g} dd_{Siv} r_j dr_j d\theta_j. \end{cases} \quad (2)$$

Следовательно, применяя (1) или (2) согласно подходам [5, 7] для оценки убывания числа частиц  $i$ -го компонента при отрыве от  $j$ -го гибкого элемента при образовании смеси для разреженного потока  $dN_{ij}$  поперечной плоскости сечения барабана при обозначении нормировочного параметра  $A_{ij}^{(long)}$  имеем

$$dN_{ij} = A_{ij}^{(cross)} \exp\left(-E_{ij}^{(cross)} / E_{0ij}^{(cross)}\right) d\Omega_{ij}. \quad (3)$$

Здесь стохастическая энергия  $E_{ij}^{(cross)}$  для описанных вариантов расчета с учетом случайного характера ее момента импульсов  $M_{ij} = h_j^2 m_i v_{r\theta ij}$  с моментом инерции  $I_i = m_i d_{si}^2 / 10$  вычисляется согласно следующим формулам

$$E_{ij}^{(cross)} = \begin{cases} m_i v_{r\theta ij}^2 / 2 + M_{ij}^2 / 2I_i + k\theta_j^2 / 2; \\ \sum_{v=1}^{n_g} \left[ 5m_{iv} \left( h_j^2 v_{r\theta ij} \right)^2 / 2d_{si}^2 + m_{iv} v_{r\theta ij}^2 / 2 + k\theta_j^2 / 2 \right]. \end{cases} \quad (4)$$

Оценка параметра  $A_{ij}^{(long)}$  производится из выражения для полного числа частиц  $N_{ij}$

$$N_{ij} = \int_{\Omega_{ij}} dN_{ij}. \quad (5)$$

Полная дифференциальная функция распределения  $i$ -го твердого дисперсного компонента смеси ( $i = 1, \dots, n_k$ ) по углу распыливания частиц  $\alpha_j$  в поперечной плоскости для сечения барабана рассчитывается

$$F_i^{(cross)}(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n_b}) = \begin{cases} \prod_{j=1}^{n_b} f_{ij}^{(cross)}(\alpha_j); \\ \prod_{v=1}^{n_g} \prod_{j=1}^{n_b} f_{ijv}^{(cross)}(\alpha_j), \end{cases} \quad (6)$$

где в соответствии с (4), (5) для каждой  $v$ -й фракции ( $v = 1, \dots, n_g$ )  $i$ -го компонента смеси ( $i = 1, \dots, n_k$ ) имеем

$$f_{ij}^{(cross)}(\alpha_j) = N_{ij}^{-1} dN_{ij} / d\alpha_j; \quad (7)$$

$$f_{ijv}^{(cross)}(\alpha_j) = N_{ijv}^{-1} dN_{ijv} / d\alpha_j. \quad (8)$$

Заметим, что интегрирование для второго случая по фазовому объему в (5) и при расчете по формуле (8) проводится с учетом  $d_{Siv}^{\min}$  и  $d_{Siv}^{\max}$  – минимальных и максимальных значений диаметров частиц составляющих сыпучих компонентов  $i$ -го сорта ( $i = 1, \dots, n_k$ ) в каждой из  $v$ -й фракции ( $v = 1, \dots, n_g$ ).

### **Основные принципы стохастического описания поведения дисперсных потоков компонентов в продольной плоскости смесительного барабана**

При описании поведения частиц сыпучих материалов при отрыве от концов бил с винтовой навивкой на цилиндрической поверхности смесительного барабана в поперечной плоскости его сечения согласно подходу [5] элемент фазового объема

$$d\Gamma_{ij} = dv_{xij}dv_{zij} \quad (9)$$

определяется дифференциалами от  $x$  и  $z$  составляющих скорости частицы сферической формы.

При этом  $x$ -ось направлена перпендикулярно ленте вертикально вниз, а  $z$ -ось – по оси вращения барабана. В соответствии с работами [2, 3] стохастическая энергия формируется из двух слагаемых кинетических энергий: первое соответствует поступательному движению частицы в направлении  $\vec{v}_{xzij}$  – составляющей ее скорости в проекции на указанную плоскость; второе – вращению с моментом инерции  $I_i = m_i d_{si}^2 / 10$  за счет случайного момента импульсов описанных частиц при их вторичных столкновениях с введением параметра  $\beta_i$ ,  $\text{кг}^2 \cdot \text{м}^2$ ,

$$E_{ij}^{(\text{long})} = m_i v_{xzij}^2 / 2 + \beta_i v_{xzij}^2 / 2 I_i. \quad (10)$$

где индекс  $j$  соответствует номеру деформированного гибкого элемента в первой четверти отсчета угла поворота барабана,  $j = 1, \dots, n_b$ .

Выражение (10) используется при поиске

$$f_{ij}^{(\text{long})}(\gamma_j) = N_{ij}^{-1} dN_{ij} / d\gamma_j \quad (11)$$

дифференциальной функции распределения по углу распыливания с помощью соотношения

$$dN_{ij} = A_{ij}^{(\text{long})} \exp\left(-E_{ij}^{(\text{long})} / E_{0ij}^{(\text{long})}\right) d\Gamma_{ij}. \quad (12)$$

Поиск параметра  $\beta_i$  связан с записью уравнения сохранения потоков в виде равенства концентрации столкнувшихся частиц из  $i$ -го потока ( $i = 1, \dots, n_k$ ) разности концентраций для каждого сорта сыпучего материала – всех частиц и не столкнувшихся.

Расчет содержащейся в (10) обобщенной энергетической меры системы частиц  $E_{0ij}^{(\text{long})}$  выполняется из закона сохранения энергии для характерного временного интервала. Применение (9) для (10) позволяет получить полную дифференциальную функцию распределения для  $i$ -го зернистого потока по углу распыливания  $\gamma_j$  в продольной плоскости

$$F_i^{(\text{long})}(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{n_b}) = \prod_{j=1}^{n_b} f_{ij}^{(\text{long})}(\gamma_j). \quad (13)$$

## Заключение

Предложенные стохастические описания распределений смешиваемых компонентов в рабочем объеме барабанно-ленточного смесителя в двух плоскостях сечения барабана учитывают: в поперечной – их гранулометрический состав; продольной – скорость распространения частиц образуемых потоков вдоль оси вращения барабана и вторичные столкновения частиц. Оба подхода отражают характер поведения сыпучих материалов в изучаемом процессе смешивания в зависимости от углов распыливания их частиц, соответствующих выбранным сечениям, для каждого деформированного била, установленного по винтовой линии на поверхности вращающихся барабанов аппарата.

Кроме того, объединение полученных результатов о поведении указанных компонентов смеси в рассматриваемом устройстве в двух плоскостях – продольной согласно выражению (13) и поперечной из выражения (6) – относительно оси вращения барабана с гибкими элементами, разбрасывающими частицы смешиваемых материалов, позволяет описать их объемное распределение в рабочей камере смесителя.

Например, данное моделирование осуществляется с помощью следующего выражения  $Oxz$  для двух вариантов

$$\Phi_i(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n_b}, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{n_b}) = \begin{cases} \prod_{v=1}^{n_g} \prod_{j=1}^{n_b} f_{ijv}^{(\text{cross})}(\alpha_j) f_{ij}^{(\text{long})}(\gamma_j); \\ \prod_{j=1}^{n_b} f_{ij}^{(\text{cross})}(\alpha_j) f_{ij}^{(\text{long})}(\gamma_j), \end{cases} \quad (14)$$

где набор функций  $f_{ij}^{(\text{long})}(\gamma_j)$  соответствует множеству  $\{f_{ij}(\gamma_j), j=1, \dots, n_b\}$  из формулы (13), а наборы  $f_{ij}^{(\text{cross})}(\alpha_j)$  и  $f_{ijv}^{(\text{cross})}(\alpha_j)$  – аналогичным множествам  $\{f_{ij}(\alpha_j), j=1, \dots, n_b\}$  из (7) [3] и  $\{f_{ijv}(\alpha_j), j=1, \dots, n_b, v=1, \dots, n_g\}$  из (8) [6]. Здесь угол распыливания в плоскости  $Oxy$ , то есть перпендикулярно оси вращающегося барабана, обозначен  $\alpha_j$ . Заметим, что барабаны, находящиеся на каждом этапе смешивания в рабочем объеме барабанно-ленточного устройства, могут иметь различные угловые скорости их вращения, а значит и соответствующие им распределения частиц по углам распыливания.

Представленные способы описания процесса смешивания зернистых компонентов: в различных плоскостях для сечений смесительного барабана – (13) в продольной и (7) или (8) в поперечной – или с учетом объемных распределений частиц сыпучих материалов согласно (14) могут быть использованы при вычислении коэффициента неоднородности сыпучей смеси [10].

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования науки Российской Федерации в рамках базовой части, проект № 626, № госрегистрации 01201460402.*

### Список литературы

1. Дитрих, Я. Проектирование и конструирование. Системный подход / Я. Дитрих. – М. : Мир, 1981. – 456 с.
2. Математическая модель механики движения сыпучих материалов в разреженных потоках аппаратов с эластичными рабочими элементами / А. Е. Лебедев [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2012. – Т. 52, вып. 5. – С. 111 – 113.

3. Исследование ударного смешивания твердых дисперсных сред при вторичных столкновениях частиц / А. Б. Капранова [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2013. – Т. 56, вып. 6. – С. 83 – 86.
4. Бакин, М. Н. Исследование распределения сыпучих компонентов в рабочем объеме барабанно-ленточного смесителя / М. Н. Бакин, А. Б. Капранова, И. И. Верлока // Фундам. исслед. – 2014. – № 5-5. – С. 928 – 933.
5. Зайцев, А. И. Ударные процессы в дисперсно-пленочных системах / А. И. Зайцев, Д. О. Бытев. – М. : Химия, 1994. – 176 с.
6. Капранова, А. Б. Учет гранулометрического состава сред при описании их смешивания в аппарате с подвижной лентой / А. Б. Капранова, М. Н. Бакин, А. И. Зайцев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 4. – С. 754 – 757.
7. Першин, В. Ф. Моделирование движения пластины в сыпучем материале / В. Ф. Першин, А. А. Пасько, О. В. Демин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2002. – Т. 8, № 3. – С. 444 – 449.
8. Engel, O. G. Initial Pressure, Initial Flow Velocity and the Time Dependence of Crater Depth in Fluid Impacts / O. G. Engel // J. Appl. Phys. – 1967. – Vol. 38, No. 10. – P. 3935 – 3940.
9. Стохастическое описание движения осветленной фракции суспензии порошков / А. Б. Капранова, [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2004. – Т. 47, вып. 6. – С. 99 – 101.
10. Оценка коэффициента неоднородности зернистой смеси в объеме барабанно-ленточного устройства / А. Б. Капранова [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2014. – Т. 57, вып. 9. – С. 104 – 106.

---

## Methods of Description of Solid Dispersive Mediums Motion in Different Planes for Mixer Drum Sections

A. B. Kapranova, M. N. Bakin, I. I. Verloka, A. I. Zaitsev

*Department "Theoretical Mechanics",  
Yaroslavl State Technical University,  
kapranova\_anna@mail.ru*

**Keywords:** bulk components; distribution function; drum-ribbon mixer; grain size; mixing; paddle (flexible elements); phase volume; secondary collision; spraying angle.

**Abstract:** The authors proposed different implementations of a stochastic method using the theory of impact processes to determine differential distribution functions of particles in mixed flows of bulk materials at disruption from paddles fastened in a helical line on the drum surface at the angle of atomization. The given methods of stochastic modeling correspond to the three descriptions of solid dispersive mediums motion in mixer zone – in cross and longitudinal planes for mixer drum sections, and in the full enclosed volume of the apparatus. In particular, the model construction is proposition to realize subject to secondary particle collisions in the longitudinal plane relatively rotation axis of the mixer drum, and reflect grain size of the mixing components in the cross plane. The consolidation of these methods makes it possible to receive full differential distribution functions of particles on the drum surface at the

angle of atomization both in cross and longitudinal planes for the mixer drum sections. The results can be used to assess the quality of the granular mixture, in particular, when adding one of the components to the mixture.

### References

1. Dietyeh Ja. *System i konstrukcija* (System and design), Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1978.
2. Lebedev A.E., Zajcev A.I., Kapranova A.B., Kuz'min I.O. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya "Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya"*, 2012, vol. 52, no. 5, pp. 111-113.
3. Kapranova A.B., Bakin M.N., Lebedev A.E., Zajcev A.I. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya "Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya"*, 2013, vol. 56, no. 6, pp. 83-86.
4. Bakin M.N., Kapranova A.B., Verloka I.I. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2014, no. 5-5, pp. 928-933.
5. Zajcev A.I., Bytev D.O. *Udarnye processy v dispersno-plenochnykh sistemah* (Impact processes in the disperse-film systems), Moscow: Himija, 1994, 176 p.
6. Kapranova A.B., Bakin M.N., Zajcev A.I. *Transaction of the Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 4, pp. 754-757.
7. Pershin V.F., Pas'ko A.A., Demin O.V. *Transaction of the Tambov State Technical University*, 2002, vol. 8, no. 3, pp. 444-449.
8. Engel O.G. *J. Appl. Phys.* 1967, vol. 38, no. 10, pp. 3935-3940.
9. Kapranova A.B., Lebedev A.E., Bytev D.O., Zajcev A.I. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya "Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya"*, 2004, vol. 47, no. 6, pp. 99-101.
10. Kapranova A.B., Bakin M.N., Lebedev A.E., Zajcev A.I. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya "Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya"*, 2014, vol. 57, no. 9, pp. 104-106.

---

## Weisen der Beschreibung der Bewegung der festen dispersen Umgebungen in verschiedenen Ebenen für die Schnitte der Mischtrommel

**Zusammenfassung:** Es sind die verschiedenen Realisierungen des stochastischen Herangehens mit Hilfe der Theorie der Stossprozesse für die Bestimmung der Differentialfunktionen der Verteilung der Teilchen für die mischenden Ströme der streubaren Materialien bei dem Abstürzen von den nach der Schraubenlinie auf der Oberfläche der Trommel gefestigten Schlägerwerken nach dem Winkel des Zerstäubens vorgeschlagen. Die angegebenen Weisen der stochastischen Modellierung entsprechen den drei Beschreibungen der Bewegung der festen dispersen Umgebungen in der Zone des Mischers – in den Quer- und Längsebenen für die Schnitte der Mischtrommel, sowie im vollen Arbeitsumfang des Apparates. In der Längsebene bezüglich der Achse des Drehens der Trommel wird es vorgeschlagen, die Konstruktion des Modells unter Berücksichtigung der nochmaligen Zusammenstöße der Teilchen zu verwirklichen, und in der Querebene – den granulometrischen Bestand der mischenden Komponenten widerzuspiegeln. Die Vereinigung des gegebenen Herangehens lässt zu, die volle Differentialfunktion der Verteilung der Teilchen nach den Winkeln des Zerstäubens,



sowohl in den Quer- als auch in den Längsebenen für den Schnitt der Mischtrommel zu bekommen. Die bekommenen Ergebnisse können für die Einschätzung der Qualität der bekommenen Mischung, einschließlich, bei der Portionseintragung in die Mischung einen der Komponenten verwendet sein.

---

### **Moyens de la description du mouvement des milieux dispersés dans de différentes surfaces pour les sections du tambour mélangeur**

**Résumé:** Sont proposées de différentes réalisations de l'approche stochastique à l'aide de la théorie des processus d'impact pour la définition des fonctions différentielles de la répartition des particules pour les courants mélangés des matériaux secs. Les moyens décrits du modélage stochastique correspondent aux trois descriptions du mouvement des milieux dispersés solides dans la zone du tambour mélangeur ainsi que dans le volume de travail complet de l'appareil. L'union des approches permet d'obtenir une fonction différentielle complète de la répartition des particules par les angles de l'atomisation dans les surfaces transverse et longitudinale des sections du tambour. Les résultats obtenus peuvent être utilisés pour l'estimation de la qualité du mélange reçu y compris lors de l'introduction d'une portion d'un des composants dans le mélange.

---

**Авторы:** *Капранова Анна Борисовна* – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теоретической механики; *Бакин Михаил Николаевич* – соискатель кафедры теоретической механики; *Верлока Иван Игоревич* – аспирант кафедры теоретической механики; *Зайцев Анатолий Иванович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики, ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль.

**Рецензент:** *Петерсон Станислав Антонович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сопротивление материалов», ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль.

---