

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСЕВОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПРОЦЕСС КЛАССИФИКАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ БАРАБАНЕ

Ю. Т. Селиванов, Ю. В. Родионов, В. Ю. Рыжкин, А. О. Поздникин

*Кафедра «Техническая механика и детали машин», ФГБОУ ВО «ТГТУ»,  
г. Тамбов, Россия; soprm@nnn.tstu.ru*

**Ключевые слова:** барабан; классификация; моделирование; сыпучий материал.

**Аннотация:** Для описания процесса возможна адаптация математических моделей процесса смешивания в периодическом режиме, в том числе и на основе случайных марковских цепей, применительно к процессу классификации. При моделировании процесса классификации в непрерывном режиме нарушаются некоторые предпосылки, заложенные в модели при периодическом режиме. Процесс смешивание-разделение можно считать аналогичным периодическому, но переход на каждый следующий участок должен учитывать изменение конфигурации циркуляционного контура, связанное с уменьшением площади, занятой материалом в поперечном сечении барабана. Имеющаяся структура распределения компонентов по подслоям циркуляционного контура должна быть сохранена при уменьшении площади на каждом переходе. Рассмотрены три варианта пересчета структуры распределения компонентов при уменьшении количества подслоев, связанного с уменьшением площади, занятой материалом в поперечном сечении барабана при продвижении материала по длине классификатора и показаны причины их возникновения.

---

В настоящее время математические модели процесса классификации сыпучих материалов в барабанном грохоте на основе марковских цепей проработаны глубоко [1 – 3]. Экспериментальные исследования, проведенные на натуральных смесях, подтверждают, что указанные математические модели достаточно точно отражают реальные процессы, происходящие в барабанном классификаторе [1].

Для описания процесса возможна адаптация математических моделей процесса смешивания в периодическом режиме [4 – 7], в том числе и на основе случайных марковских цепей [4, 8], применительно к процессу классификации. В барабанном классификаторе одновременно осуществляется два разнонаправленных процесса: смешивание частиц разного размера и их разделение на отдельные фракции. Наиболее перспективными моделями для описания процессов, реализуемых в барабанных грохотах, на наш взгляд, являются детерминированно-стохастические математические модели [9].

При моделировании процесса классификации в непрерывном режиме нарушаются некоторые предпосылки, заложенные в модели при периодическом режиме. В частности, нарушается положение о неизменности структуры циркуляционного контура в любом поперечном сечении барабана. Это связано с тем, что при непрерывном режиме площадь, занятая циркуляционным контуром в поперечном сечении барабана по мере продвижения к разгрузочному краю уменьшается.

В работе [10] показано, что характер распределения материала по длине смесителя близок к линейному. В то же время можно выделить ряд общих закономерностей: более интенсивное смешивание-разделение в радиальном направлении грохота при достаточно ярко выраженном циркуляционном движении материала; уменьшение степени заполнения поперечного сечения грохота материалом при движении от области загрузки к области разгрузки, наряду с увеличением скорости осевого движения. Вышесказанное позволяет сделать предположение о том, что для барабанных классификаторов непрерывного действия может быть разработана единая математическая модель процесса, в некоторых позициях схожая с математической моделью процесса смешивания сыпучих материалов.

Характер разбиения циркуляционного контура на подслои рассмотрен в работе [1] и в данной модели не претерпел никаких изменений. Однако следует обратить внимание на один достаточно принципиальный момент. Число подслоев рассчитывается по зависимости

$$n = CN/d_{\max}, \quad (1)$$

где  $CN$  – толщина скатывающего слоя, м;  $d_{\max}$  – диаметр частицы смешиваемых компонентов (в случае нескольких компонентов с различными диаметрами частиц выбирается максимальный диаметр), м.

Расчеты по зависимости (1) в большинстве случаев дают дробный результат, однако нельзя в дальнейшем использовать дробное количество подслоев. Поэтому дробная часть распределяется между всеми подслоями циркуляционного контура. В связи с этим толщины подслоев, а, следовательно, и их объемы увеличиваются. В том случае, когда величина дробной части мала, рост объемов подслоев также незначителен, что может оказывать влияние на колебание объемов последнего  $n$ -го подслоя при продвижении от одного участка барабана к другому.

В предлагаемой математической модели процесса непрерывной классификации сделаны допущения, позволяющие связывать объемы материала при разбиении барабана на участки с их длинами. Время пребывания материала на каждом из таких участков определяется временем цикла, которое рассчитывается по зависимости

$$\tau_{\text{ц}} = V^{(n)}/Q, \quad (2)$$

где  $V^{(n)}$  – объем самого малого подслоя, расположенного в области центра циркуляции при разбиении циркуляционного контура на подслои, м<sup>3</sup>;  $Q$  – производительность одного подслоя, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>. Данная величина связана с частотой вращения барабана  $\omega$ , с<sup>-1</sup>, радиусами барабана  $R_{\text{б}}$ , м, и центра циркуляции  $R_{\text{с}}$ , м, а также с количеством подслоев  $n$  зависимостью

$$Q = \omega(R_{\text{б}}^2 - R_{\text{с}}^2)/(2n). \quad (3)$$

В разработанной математической модели принималось, что время цикла для каждого из участков – величина переменная и объем материала, участвующий в процессе смешивания-разделения пропорционален данному параметру [11]. Зная структуру изменения потока материала по длине барабана и объем материала на участке можно рассчитать длину участка, на которую переместиться материал за время  $\tau_{\text{ц}}$ .

Математическая модель процесса непрерывного смешивания предполагает расчет характера распределения сыпучих материалов в начале барабана и дальнейшее разбиение на участки с суммированием длин этих участков. Причем характер распределения компонентов в циркуляционном контуре в конце участка является исходным для начала следующего участка. Таким образом, происходит расчет процесса до конца смесителя с учетом изменяющейся структуры циркуляционного контура и распределения компонентов в нем.

Процесс движения в барабанном классификаторе непрерывного действия может быть представлен дискретным в пространстве и времени [9]. В связи с этим процесс смешивание-разделение можно считать аналогичным периодическому, но переход на каждый следующий участок должен учитывать изменение конфигурации циркуляционного контура, связанное с уменьшением площади, занятой материалом в поперечном сечении барабана.

Имеющаяся структура распределения компонентов по подслоям циркуляционного контура должна быть сохранена при уменьшении площади на каждом переходе [9]. На каждом переходе  $m$ , для случая трехкомпонентной смеси, концентрации ключевых компонентов  $C_1$  и  $C_2$  есть функции радиуса, определяющего положение подслоя, то есть  $C_1^{(m)} = f_1(R)$ ;  $C_2^{(m)} = f_2(R)$ , где  $R$  изменяется от радиуса центра циркуляции  $R_C$  до радиуса барабана  $R_6$ . Вследствие того, что распределение ключевых компонентов по объему смеси не одинаково, функции  $f_1$  и  $f_2$  различны.

Концентрации ключевых компонентов в пределах каждого подслоя определяются зависимостями

$$C_1^{(i,m)} = \frac{1}{R_{i+1} - R_i} \int_{R_i}^{R_{i+1}} f_1(R) dR; \quad (4)$$

$$C_2^{(i,m)} = \frac{1}{R_{i+1} - R_i} \int_{R_i}^{R_{i+1}} f_2(R) dR, \quad (5)$$

где  $i$  – номер подслоя,  $i = 1, 2, \dots, N - 1$ .

При этом вне зависимости от того, изменилось или нет число подслоев, функции, описывающие распределение концентраций ключевых компонентов в поднимающемся слое должны оставаться одинаковыми, изменяются лишь величины, определяющие расположение подслоев, то есть  $R_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ .

При моделировании процесса смешивания возможны три варианта.

1. Число подслоев не уменьшилось, изменилась лишь их толщина [10]. Данный вариант реализуется при делении скатывающегося слоя на подслои по зависимости (1), когда предусматривается использование целой части числа в качестве количества подслоев, а оставшаяся дробная часть равномерно распределяется между подслоями. Величина дробной части может быть маленькой и, тогда, к объему каждого из подслоев добавится очень небольшая величина. В случае если величина дробной части будет достаточно большой, при ее распределении по подслоям в каждый из них добавляется довольно большой объем. Следует отметить, что добавленный в каждый из подслоев объем будет пропорционален объему подслоя. Если дробная часть достаточно велика, то при изменении площади, занятой материалом в поперечном сечении барабана, разделение циркуляционного контура на подслои может привести не к уменьшению числа подслоев, а к уменьшению величины дробной части. С учетом того, что объемы подслоев изменяются пропорционально, достаточно сохранить имеющуюся до пересчета структуру распределения ключевых компонентов по подслоям циркуляционного контура.

2. В результате изменения площади, занятой сыпучим материалом в поперечном сечении барабана, произошло уменьшение числа подслоев [10]. В этом случае необходимо пересчитать концентрации ключевых компонентов по вновь образованным подслоям циркуляционного контура с сохранением имевшейся структуры распределения. Поскольку изменение площади, занятой циркуляционным контуром вдоль оси барабана, происходит монотонно и может быть описано прямой с небольшим углом наклона, а время цикла гораздо меньше времени пре-

бывания частицы в барабане, максимальное уменьшение числа подслоев не может быть больше единицы. Пусть до пересчета параметров циркуляционного контура имелось  $q$  подслоев, в результате пересчета стало  $q - 1$  подслоев. Тогда ключевые компоненты «утерянного» подслоя должны быть распределены между оставшимися с сохранением имеющейся структуры распределения. Каждый вновь образованный подслоем должен содержать частицы одноименного (до пересчета) слоя, а также часть частиц следующего по порядку подслоя. Превышение концентрации частиц в новом слое составит

$$r = q/(q - 1). \quad (6)$$

Для трехкомпонентной смеси концентрация компонентов мелкой и товарной фракций в любом подслое после уменьшения числа подслоев составит [10]:

$$C_1^{(i,m)} = \left( C0_1^{(i,m)}(r + i(1 - r)) + C0_1^{(i+1,m)}i(r - 1) \right) / r; \quad (7)$$

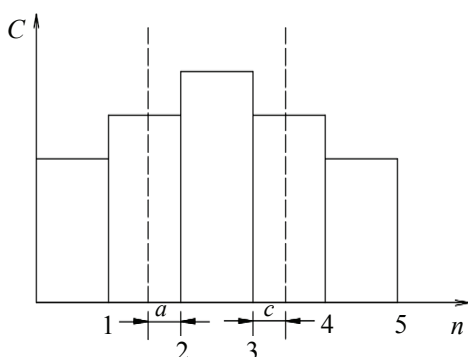
$$C_2^{(i,m)} = \left( C0_2^{(i,m)}(r + i(1 - r)) + C0_2^{(i+1,m)}i(r - 1) \right) / r, \quad (8)$$

где  $i$  – номер подслоя,  $i = 1, \dots, q - 1$ ;  $C0_1^{(i,m)}$  и  $C0_2^{(i,m)}$  – концентрации компонентов мелкой и товарной фракций в  $i$ -м подслое до изменения числа подслоев;  $m$  – номер перехода. За один переход принимается промежуток времени, за который самый маленький подслоем совершает полный оборот вокруг центра циркуляции.

Результаты практических расчетов по математической модели процесса классификации показывают, что в данном случае, в отличие от варианта смешивания сыпучих материалов, возможно возникновение третьего варианта пересчета концентраций компонентов. Наличие такого варианта связано с тем, что при осуществлении процесса классификации в некоторых поперечных сечениях грохота происходит довольно большой отсев ключевых компонентов, особенно при их высокой концентрации в исходной смеси. Результаты натуральных экспериментов показывают, что наибольшая интенсивность отсева наблюдается вблизи загрузочного края барабана [1].

Объяснение данному факту может быть получено из следующих рассуждений. В барабанном классификаторе осуществляются два разнонаправленных процесса: разделение компонентов смеси в результате отсева и их смешивание. При этом в процессе смешивания ключевые компоненты продвигаются из периферийных подслоев, непосредственно контактирующих с обечайкой барабана, в область центра циркуляции. В результате наблюдается постепенное обеднение данной области циркуляционного контура ключевыми компонентами. В отсеве ключевых компонентов в первую очередь задействованы периферийные области барабана. По мере продвижения смеси в продольном сечении грохота интенсивность разделения падает. Таким образом, возникновение третьего варианта пересчета концентраций ключевых компонентов наиболее вероятно вблизи к загрузочной части классификатора.

3. В результате изменения площади, занятой сыпучим материалом в поперечном сечении барабана, произошло уменьшение числа подслоев, но не на один, как показано в предыдущем варианте, а на два и более. В этом случае необходимо пересчитать концентрации ключевых компонентов по вновь образованным подслоям циркуляционного контура с сохранением имевшейся структуры распределения. Пусть до пересчета параметров циркуляционного контура имелось  $q$  подслоев, в результате пересчета стало  $q - 2$  подслоя. Тогда ключевые компоненты двух «утерянных» подслоев должны быть распределены между оставшимися с сохранением имеющейся структуры распределения. Каждый вновь образованный подслоем должен содержать частицы одноименного (до пересчета) слоя, а также часть частиц следующего по порядку подслоя. При этом один подслоем должен содержать частицы трех имеющихся до пересчета подслоев.



**Рис. 1. Структура распределения какого-либо ключевого компонента по подслоям циркуляционного контура до пересчета числа подслоев**

Рассмотрим представленный вариант на наглядном примере. Пусть до пересчета имелось пять подслоев. Структура распределения какого-либо ключевого компонента по подслоям циркуляционного контура до пересчета числа подслоев представлена на рис. 1. В результате пересчета образовалось три новых подслоя. Пунктиром на рисунке показано, какие части имевшихся до пересчета подслоев войдут во вновь образованные. В первый вновь образованный подслоем войдут части первого и второго из имевшихся ранее. В третий – части четвертого и пятого. При этом появится один «переходный» подслоем, включающий в себя части трех имевшихся до пересчета подслоев.

Превышение концентрации частиц во вновь образованных первом и третьем подслоях составит

$$r_1 = q/(q - 2).$$

Концентрация компонентов мелкой и товарной фракций в первом подслоем после уменьшения числа подслоев может быть рассчитана по зависимостям:

$$C_1^{(1,m)} = (C0_1^{(2,m)}(r_1 - 1) + C0_1^{(1,m)})/r_1; \quad (9)$$

$$C_2^{(1,m)} = (C0_2^{(2,m)}(r_1 - 1) + C0_2^{(1,m)})/r_1, \quad (10)$$

где  $C0_1^{(1,m)}$  и  $C0_2^{(2,m)}$  – концентрации компонентов мелкой и товарной фракций в первом и втором подслоях до изменения числа подслоев.

Концентрация компонентов мелкой и товарной фракций во вновь образованном третьем подслоем:

$$C_1^{(3,m)} = (C0_1^{(4,m)}(r_1 - 1) + C0_1^{(5,m)})/r_1; \quad (11)$$

$$C_2^{(3,m)} = (C0_2^{(4,m)}(r_1 - 1) + C0_2^{(5,m)})/r_1. \quad (12)$$

Для трехкомпонентной смеси концентрация компонентов мелкой и товарной фракций в «переходном» подслоем после уменьшения числа подслоев составит:

$$C_1^{(2,m)} = (C0_1^{(2,m)}a + C0_1^{(3,m)} + C0_1^{(4,m)}c)/r_1; \quad (13)$$

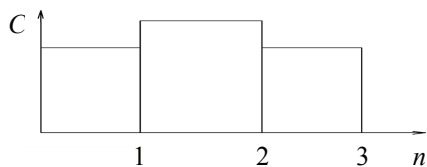
$$C_2^{(2,m)} = (C0_2^{(2,m)}a + C0_2^{(3,m)} + C0_1^{(4,m)}c)/r_1, \quad (14)$$

где  $C0_1^{(2,m)}$ ,  $C0_1^{(3,m)}$  и  $C0_2^{(4,m)}$  – концентрации компонентов мелкой и товарной фракций во втором, третьем и четвертом подслоях до изменения числа подслоев.

Суммарная величина параметров используемых в зависимостях (13) и (14), как показано на рис. 1, составляет

$$r_1 = 1 + a + c. \quad (15)$$

На рисунке 2 показана структура распределения какого-либо ключевого компонента по подслоям циркуляционного контура после пересчета их числа. Очевидно, что в результате пересчета концентрации ключевых компонентов во вновь образованных подслоях несколько изменились.



**Рис. 2. Структура распределения какого-либо ключевого компонента по подслоям циркуляционного контура после пересчета числа подслоев**

Следует отметить, что в случае уменьшения количества подслоев на три и более пропорционально увеличивается количество «переходных» подслоев.

Уменьшение количества подслоев на три и более также непосредственно связано с порядком расчета количества подслоев при разбивке циркуляционного контура по зависимости (1). Очевидно, что чем меньше величина  $d_{\max}$ , тем большее количество подслоев получится в результате расчета по зависимости. Соответственно, при переходе на следующий участок по длине смесителя возможно более резкое уменьшение числа подслоев в результате отсева компонентов мелкой и товарной фракций.

Таким образом, представлены зависимости, позволяющие учитывать изменение концентраций в подслоях, связанное с неравномерным распределением сыпучего материала вдоль оси барабана в процессе их классификации.

#### *Список литературы*

1. Першин, В. Ф. Моделирование процесса смешения сыпучего материала в поперечном сечении вращающегося барабана / В. Ф. Першин // Теорет. основы хим. технологии. – 1986. – Т. 20, № 4. – С. 508 – 513.
2. Селиванов, Ю. Т. Математическое описание процесса классификации сыпучих материалов в барабанных грохотах / Ю. Т. Селиванов, П. В. Монастырев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 588 – 595.
3. Selivanov, U. T. Modeling of Classification Process in a Continuous Trommel Screen / U. T. Selivanov // Advanced Materials and Technologies. – 2016. – No. 4. – P. 46 – 52.
4. Селиванов, Ю. Т. Расчет и проектирование циркуляционных смесителей сыпучих материалов без внутренних перемешивающих устройств / Ю. Т. Селиванов, В. Ф. Першин. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 119 с.
5. Modeling of Particle Mixing and Segregation Processes / J. Gyenis [et al.] // Proc. of the 3rd World Congress on Particle Technology : Brighton, UK, July 7 – 9, 1998 / Institution of Chemical Engineers. – London, 1998. – P. 172.
6. Mihalko, Cs. A Double Stochastic Model of Mixing of Solids Particles / Cs. Mihalko, E. O. Mihalyko // Proc. of the 3rd Israel Conf. for Conveying and Handling of Particulate Solids : Dead Sea, Israel, May 29-June 1, 2000. – Dead Sea, Israel, 2000. – Vol. 2. – P. 8.34 – 8.39.
7. Мошанский, А. И. Некоторые вопросы теории ячеечных моделей / А. И. Мошанский // Теорет. основы хим. технологии. – 1990. – Т. 24, № 6. – С. 743 – 754.
8. Першин, В. Ф. Модель процесса смешения сыпучего материала в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана / В. Ф. Першин // Теорет. основы хим. технологии. – 1989 – Т. 23, № 3. – С. 370 – 377.
9. Першин, В. Ф. Моделирование процесса смешивания сыпучих материалов в циркуляционных смесителях непрерывного действия / В. Ф. Першин, Ю. Т. Селиванов // Теорет. основы хим. технологии. – 2003. – Т. 37, № 6. – С. 629 – 635.
10. Селиванов, Ю. Т. Движение сыпучего материала в продольном и поперечном сечениях барабанного классификатора / Ю. Т. Селиванов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 615 – 623.
11. Орлов, А. В. Некоторые аспекты моделирования процесса смешивания в барабанном смесителе непрерывного действия / А. В. Орлов, Ю. Т. Селиванов // Тр. ТГТУ. – 2001. – Вып. 8. – С. 114 – 117.

## Research into the Influence of the Axial Movement on the Classification Process of Bulks in the Rotating Drum

Yu. T. Selivanov, Yu. V. Rodionov, V. Yu. Ryzhkin, A. O. Pozdnikin

Department "Technical mechanics and machine parts", TSTU; Tambov, Russia;  
soprm@nnn.tstu.ru

**Keywords:** bulk; classification; drum; modeling.

**Abstract:** To describe the process, it is possible to adapt mathematical models of the mixing process in a periodic mode, using the random Markov chains, with respect to the classification process. When modeling the classification process in a continuous mode, some of the pre-conditions implicit in the model under the periodic mode are violated. The mixing-separation process can be considered to be similar to the periodic one, but the transition to each next section must take into account the change in the configuration of the circulation circuit, due to the reduction of the area occupied by the material in the cross section of the drum. The existing structure of distribution of components along the sublayers of the circulation circuit should be maintained with a reduction in area at each transition. We considered three variants of the recalculation of the distribution structure of components when the number of sublayers decreases due to the reduction of the area occupied by the material in the cross section of the drum when the material moves along the length of the classifier, and examined the causes of their occurrence.

### References

1. Pershin V. F. [Modeling of process of mixture of bulk in the cross section of the rotating drum], *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Engineering], 1986, vol. 20, no.4, pp. 508-513. (In Russ.)
2. Selivanov U.T., Monastyrev P.V. [The Mathematical description of process of classification of bulks in drum grokhota], *Transaction of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 4, pp. 588-595. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Selivanov U.T. Modeling of Classification Process in a Continuous Trommel Screen, *Advanced Materials & Technologies*, 2016, no. 4, pp. 46-52.
4. Selivanov U.T., Pershin V.F. *Raschet i proektirovanie tsirkulyatsionnykh smesitelei sypuchikh materialov bez vnutrennikh peremeshivayushchikh ustroystv* [Calculation and design of circulating mixers bulks without the internal mixing devices], Moscow: Mashinostroenie-1, 2004, 119 p. (In Russ.)
5. Gyenis J., Ulbert Zs., Szepvolgyi J., Diaz E. Modeling of particle mixing and segregation processes, *Proc. of the 3rd World Congress on Particle Technology*, Brighton, UK, July 7-9, 1998, p. 172.
6. Mihalko Cs., Mihalyko E.O. A Double Stochastic Model of Mixing of Solids Particles, *Proc. 3rd Israel Conf. for Conveying and Handling of Particulate Solids*, Dead Sea, Israel, May 29 - June 1, 2000, vol. 2, pp. 8.34-8.39.
7. Moshansky A.I. [Some questions of the theory cell-like models], *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Engineering], 1990, vol. 24, no. 6, pp. 743-754. (In Russ.)
8. Pershin V.F. [Model of process of mixture bulk in the cross section of smooth rotating drum], *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Engineering], 1989, vol. 23, no. 3, pp. 370-377. (In Russ.)
9. Pershin V.F., Selivanov U.T. [Modeling of process of mixing of bulks in circulating mixers of continuous action], *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Engineering], 2003, vol. 37, no. 6, pp. 629-635. (In Russ.)

10. Selivanov U.T. [The movement of bulk in longitudinal and cross sections of the drum qualifier], *Transaction of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 4, pp. 615-623. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Orlov A.V., Selivanov U.T. [Some aspects of modeling of process of mixing in the drum mixer of continuous action], *Trudy TGTU* [Works of the Tambov State Technical University], 2001, issue 8, pp.114-117. (In Russ.)

---

### **Forschung des Einflusses der axialen Bewegung auf den Prozess der Klassifizierung der Schüttstoffe in der drehenden Trommel**

**Zusammenfassung:** Für die Beschreibung des Prozesses ist die Anpassung der mathematischen Modelle des Prozesses der Vermischung im periodischen Regime, einschließlich aufgrund der zufälligen Ketten von Markov, in Bezug auf den Prozess der Klassifikation möglich. Bei der Modellierung des Prozesses der Klassifikation im ununterbrochenen Regime werden die in den Modellen beim periodischen Regime gelegten Vorbedingungen verletzt. Der Prozess die Vermischung-Teilung kann man ähnlich dem periodischen Prozess halten, aber die Lauf auf jeden folgenden Sektor soll die Veränderung der Konfiguration der Umlaufkontur berücksichtigen, die mit der Verkleinerung der vom Stoff im Querschnitt der Trommel besetzten Fläche verbunden ist. Die vorhandene Struktur der Verteilung der Komponenten nach den Unterschichten der Umlaufkontur soll bei der Verkleinerung der Fläche auf jedem Übergang aufgespart sein. Es sind drei Varianten der Umrechnung der Struktur der Verteilung der Komponenten bei der Verkleinerung der Anzahl der Unterschichten, die mit der Verkleinerung der Fläche verbunden ist, die von dem Stoff im Querschnitt der Trommel beim Aufstieg des Stoffes nach der Länge des Klassierers besetzt ist und es sind die Gründe ihres Entstehens betrachtet.

---

### **Etude de l'influence du mouvement axé sur le processus de la classification des matériaux en vrac dans le tambour rotatif**

**Résumé:** Pour décrire le processus il est possible d'adapter les modèles mathématiques du processus de mélange en mode discontinu, y compris à la base des chaînes aléatoires de Markov, à la procédure de la classification. Lors de la modélisation du processus de la classification en continu sont déréglées certaines conditions prévues dans le modèle lors du régime périodique. Le processus mélange – séparation peut être considéré comme analogue à celui périodique, mais le passage sur chaque secteur doit tenir compte de la modification de la configuration du contour de circulation liée à la réduction de la surface occupée par le matériau dans une section transversale du tambour. La structure disponible de la distribution des composants par sous-niveaux du contour de circulation doit être maintenue lors de la réduction de ces sous-niveaux. Sont examinées trois options du calcul de la structure de la distribution des composants lors de la réduction du nombre des sous-niveaux, liée à la réduction de la surface occupée par le matériau dans une section transversale du tambour lors de la promotion du matériau sur la longueur d'un classificateur; sont examinées les raisons de leur apparition.

---

**Авторы:** *Селиванов Юрий Тимофеевич* – доктор технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и детали машин»; *Родионов Юрий Викторович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая механика и детали машин»; *Рыжкин Владимир Юрьевич* – студент; *Поздников Александр Олегович* – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Першин Владимир Федорович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая механика и детали машин», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

---