



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 621.929.2/.9

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.029



ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ АНТРАЦИТА С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ АППАРАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Дмитрий Викторович Сухоруков ¹, Сергей Анатольевич Ратников ²,
Алексей Анатольевич Андришук ³

^{1,2} ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

³ ФГБОУ ВО «Кузбасский технический университет им. Т.Ф. Горбачева», Кемерово, Россия

¹ pioneer_dias@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7995-3813>

² serat7752@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5668-7663>

³ aaa.ephnt@kuzstu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0575-5916>

Аннотация. Переработка угля и отходов угольной промышленности является актуальной научной задачей. Задействованное оборудование на предприятиях устаревает, его необходимо своевременно заменять и модернизировать. С целью определения возможности использования центробежного оборудования было проведено исследование влияния свойств различных материалов, подвергающихся дальнейшей переработке, на эффективность их использования и взаимодействие с технологическим оборудованием. В данном случае рассматривается влияние свойств угольной крошки антрацита на процесс переработки и дальнейшего его использования. Исследование этих процессов важно для обеспечения эффективного использования ресурсов, оборудования и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Поставлены и решены четыре задачи. В результате работы были получены графические зависимости влажности антрацита от его насыпной плотности, от коэффициента его внешнего трения, от критерия сыпучести, от критерия мощности, а также график зависимости критерия сыпучести от критерия мощности. Анализируя полученные данные, можно дать рекомендации по содержанию влаги в крошке антрацита, она должна быть в диапазоне от 8 % до 13 %, при более низкой влажности начинается пыление материала, а при более высокой материал начинает проявлять адгезионные свойства к поверхности оборудования. Насыпная плотность должна быть в диапазоне $\rho = 630 \dots 820 \text{ кг/м}^3$. Также даны рекомендации по техническим параметрам оборудования. В заключении сделан вывод о том, что данный тип оборудования можно и нужно использовать в современной технологии обработки крошки антрацита для ее обогащения с последующим брикетированием с целью снижения стоимости конечного продукта.

Ключевые слова: центробежный, конусный ротор, крошка антрацита, насыпная плотность, влажность материала, сыпучесть, пылеобразование, адгезия, переработка отходов.

Для цитирования: Сухоруков Д. В., Ратников С. А., Андришук А. А. Обоснование применения центробежных аппаратов непрерывного действия для переработки антрацита // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 170–174. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.029. EDN: <https://elibrary.ru/VBTCLQ>.

Original article

JUSTIFICATION OF POSSIBILITY OF PROCESSING ANTHRACITE USING CONTINUOUS-ACTING CENTRIFUGAL MACHINES

Dmitry V. Sukhorukov ¹, Sergey A. Ratnikov ², Alexey A. Andryushkov ³

^{1,2} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

³ Kuzbass Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Russia

¹ pioneer_dias@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7995-3813>

² serat7752@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5668-7663>

³ aaa.ephnt@kuzstu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0575-5916>

Abstract. Processing coal and coal industry waste is an urgent scientific problem. The equipment involved in enterprises is becoming obsolete, it needs to be replaced and modernized in a timely manner. In order to determine the possibility of using centrifugal equipment, a study was conducted of the influence of the properties of various materials undergoing further processing on the efficiency of their use and interaction with process equipment. In this case, the influence of the properties of anthracite coal chips on the processing process and its further use is considered. Research into these processes is important to ensure efficient use of resources, equipment and reduce negative environmental impacts. Four tasks were set and solved. As a result of the work, graphical dependences of the moisture content of anthracite on its bulk density, on the coefficient of its external friction, on the flowability criterion, on the power criterion, as well as a graph of the dependence of the flowability criterion on the power criterion were obtained. Analyzing the data obtained, we can give recommendations on the mois-

© Сухоруков Д. В., Ратников С. А., Андришук А. А., 2025

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ АНТРАЦИТА С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ АППАРАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

ture content of anthracite chips; it should be in the range from 8% to 13%; at lower humidity, dusting of the material begins, and at higher humidity, the material begins to exhibit adhesive properties to the surface of the equipment. Bulk density should be in the range $\rho=630...820 \text{ kg/m}^3$. Recommendations on the technical parameters of the equipment are also given. In conclusion, it was concluded that this type of equipment can and should be used in modern technology for processing anthracite chips for its enrichment with subsequent briquetting in order to reduce the cost of the finished product.

Keywords: Centrifugal, cone rotor, anthracite chips, bulk density, material moisture, flowability, dust formation, adhesion, waste processing.

For citation: Sukhorukov, D.V., Ratnikov, S.A. & Andryushkov, A.A. (2025). Justification of possibility of processing anthracite using continuous-acting centrifugal machines. Polzunovskiy vestnik, (3), 170-174. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.029. EDN: <https://elibrary.ru/VBTCLQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Россия всегда являлась одним из основных добытчиков и поставщиков угля в мире. Отечественное угольное производство неизменно остается одной из главных отраслей российской экономики. На сегодняшний день ресурсное и энергетическое развитие отечественной экономики тесно связано с развитием угольной отрасли производства. Сегодня требуемая доля ископаемого угля, необходимого в качестве технологического топлива для электростанций, находится на отметке в 30 %.

Для обеспечения качественного функционирования угольной отрасли требуются новые технологии промышленности, включающие в свой состав современное оборудование, позволяющее обеспечивать производство угля в требуемых объемах. Существующее оборудование часто не в состоянии выполнить эту задачу. В связи с этим создание нового конструктивного оформления оборудования, модернизация и создание новых технологических линий переработки угля является важнейшей проблемой горнодобывающей и обогащательной отрасли для различных регионов страны и, в частности, Кузбасса. Ее решение во многом зависит от свойств перерабатываемых материалов. Этот фактор влияет на выбор технологического оборудования и его конструктивных материалов, на поиск рациональных режимов переработки сырья существующими машинами и аппаратами.

Необходимость исследования свойств материалов, подвергаемых дальнейшей переработке, и их влияние на эффективное использование технологического оборудования нередко возникает уже на стадии апробации или непосредственно в процессе производства продукции. Избежать этого при проектировании и разработке оборудования не всегда возможно. Более того, добиться желаемого результата с учетом множества факторов практически нереально. Таким образом, модернизация и переоснастка оборудования осуществляется на основе полученных результатов практических испытаний, с учетом теоретических аспектов рассматриваемой проблемы.

В настоящее время появляются технологии, позволяющие эффективно перерабатывать отходы производства и побочную продукцию, улучшать качество исходного сырья и полуфабрикатов путем корректировки их свойств и т.п. Например, существуют технологии переработки угольной крошки антрацита с целью получения брикетированного твердого топлива, почти не уступающего по эффективности сгорания высококачественному антрациту. Одной из проблем, возникающей при практической реализации этой технологии, является организация тонкослойного движения угольной крошки антрацита.

МЕТОДЫ

Проведенные предварительные экспериментальные исследования показали возможность применения аппаратов центробежного типа непрерывного действия [1, 7–10] для получения крошки антрацита с

заданными свойствами. Преимуществом такого оборудования является способность организовать с помощью центробежной силы внутри аппарата тонкослойное движение угольной крошки антрацита (с диаметром частиц $d_4 = 1...6 \text{ м}^{-3}$), необходимое для ее дальнейшего обогащения лазерными устройствами.

Поэтому целью данной работы является обоснование возможности применения непрерывно действующих аппаратов центробежного типа с конусным ротором для переработки угольной крошки антрацита и придания ей заданных свойств. Достижение поставленной цели осуществляется путем решения следующих задач:

- 1) определение зависимости насыпной плотности от влажности угольной крошки антрацита;
- 2) определение коэффициента внешнего трения (по алюминию) в зависимости от влажности угольной крошки антрацита;
- 3) определение зависимости частоты вращения конусного ротора, при которой происходит срыв материала с его верхней кромки, от угла конусности и диаметра нижнего основания конуса;
- 4) определение условий пылеобразования при центробежном движении угольной крошки антрацита по внутренней поверхности конуса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При решении первой задачи была установлена существенная зависимость влажности угольной крошки антрацита от его насыпной плотности, представленная в виде графической зависимости на рисунке 1.

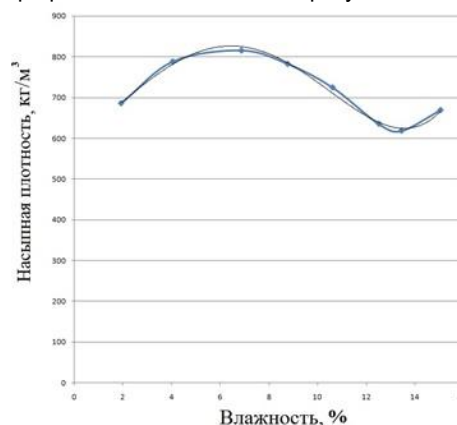


Рисунок 1 – График зависимости влажности антрацита от его насыпной плотности

Figure 1 – Graph of the dependence of anthracite moisture content on its bulk density

Полученная графическая зависимость, аппроксимированная полиномом 4-го порядка, имеет два экстремума:

$$y = 0,0762x^4 - 1,9154x^3 + 9,8687x^2 + 29,821x + 605,94. \quad (1)$$

Её анализ показывает, что при значении влажности менее 6 % жидкость в антраците является адсорбцион-

ной. Она увеличивает массу частиц, находясь в его пористой структуре, не влияя на плотность укладки частиц антрацита. Поэтому насыпная плотность возрастает до своего максимального значения $\rho_{\max} \approx 820 \text{ кг/м}^3$. Минимальный экстремум ($\rho_{\min} \approx 630 \text{ кг/м}^3$) достигается при увеличении влажности крошки антрацита до 13 %. В диапазоне влажности от 6 до 13 % часть влаги находится на поверхности частиц материала, способствуя образованию непрочных конгломератов (в основном из частиц мелкой фракции). При этом материал обладает хорошей или удовлетворительной сыпучестью, является рыхлым.

При влажности более 13 % сыпучесть угольной крошки антрацита становится плохой, наблюдается ярко выраженная адгезия между частицами, затрудняющая их перемещение по внутренней поверхности ротора центробежного смесителя. Материал приобретает «кашеобразную» структуру, величина насыпной плотности вновь повышается из-за наличия свободной влаги [5]. Поэтому применение центробежных аппаратов для переработки антрацита при влажности более 13 % становится весьма ограниченным, а при влажности свыше 15 % практически невозможным.

В результате решения второй задачи была получена графическая зависимость коэффициента внешнего трения (по алюминию) угольной крошки антрацита в зависимости от его влажности (массовой доли влаги в общей массе материала), аппроксимированная полиномом 4-го порядка:

$$y = 0,0001x^4 - 0,0029x^3 + 0,0262x^2 - 0,0844x + 0,5677. \quad (2)$$

Полученная зависимость представлена на рисунке 2. График показывает, что при увеличении влажности до 12 % коэффициент трения возрастает с 0,48 до 0,65. Дальнейшее повышение влажности антрацитового угольной крошки приводит к значительному увеличению коэффициента трения. Когда влажность превышает 12–13 %, в материале появляется свободная влага, которая создаёт «кашеобразную» структуру антрацита. Это, как и в предыдущем исследовании, затрудняет движение частиц угольной крошки внутри аппарата.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований / Table 1 – Experimental results

№	f	d, мм	γ, град.	sin (γ/2)	cos (γ/2)	n, об/мин (расчетное)	n, об/мин (практическое)	погрешность, %
1	0,63	80	75	0,608498	0,793555	492,6471846	435	13,25222635
2	0,63	80	105	0,79307	0,60913	246,2549509	240	2,606229523
3	0,63	120	75	0,608498	0,793555	402,2447419	360	11,73465052
4	0,63	120	105	0,79307	0,60913	201,0663254	176	14,24223035
5	0,63	160	75	0,608498	0,793555	348,354165	318	9,545334903
6	0,63	160	105	0,79307	0,60913	174,1285457	162	7,486756575
7	0,56	80	75	0,608498	0,793555	393,3679688	375	4,898125015
8	0,56	80	105	0,79307	0,60913	228,4087869	204	11,96509164
9	0,56	120	75	0,608498	0,793555	321,1836016	314	2,287771203
10	0,56	120	105	0,79307	0,60913	186,4949936	168	11,00892476
11	0,56	160	75	0,608498	0,793555	278,1531582	245	13,53190132
12	0,56	160	105	0,79307	0,60913	161,5094021	150	7,672934751

$$n \geq \frac{2g(f \cdot \sin(\gamma/2) + \cos(\gamma/2))}{d(\sin(\gamma/2) - f \cdot \cos(\gamma/2))}, \quad (3)$$

где n – частота вращения конуса, рад/с; g = 9,81 – ускорение свободно падения, м/с²; f – коэффициент внешнего трения материала по поверхности конуса; d – диаметр нижнего основания конуса, м; γ – угол раскрытия конуса (угол конусности).

Решение четвертой задачи показывает, что антрацит с влажностью менее 6 % способен к сильному запылению, при срыве с верхней кромки ротора центробежного смесителя, даже при его минимально допустимом вращении. Увеличение влажности материала приводит к снижению его пылеобразования. При достиже-

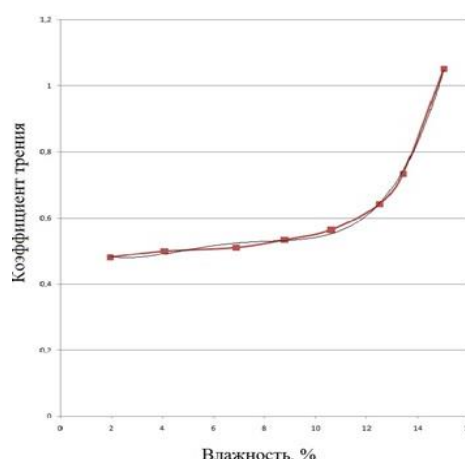


Рисунок 2 – График зависимости влажности антрацита от коэффициента его внешнего трения (по алюминию)

Figure 2 – Dependency graph moisture content of anthracite on the coefficient of its external friction (for aluminum)

Третья задача направлена на исследование поведения материала на поверхности вращающегося конусного ротора. Ее решение показывает, что частота вращения, при которой происходит срыв материала с верхней кромки рабочего органа, может быть определена на основании теоретических выкладок [1] и предложенного нами неравенства, которое подтверждается практическими и расчетными результатами, средняя погрешность между которыми не превышала 10 % (табл. 1).

Теоретические и практические результаты показывают [1, 4, 6], что для стабильного движения материала по поверхности вращающегося конусного ротора его угол конусности должен находиться в диапазоне 70...110 ° [1, 7], диаметр нижнего основания конуса рекомендуется принимать более 0,06 м, а частоту вращения конуса выбирать в 1,5 и более раза выше, чем критическое значение, определяемое с помощью неравенства (1).

нии влажности более 8 % наблюдается полное отсутствие пыли при осевой составляющей скорости воздушных потоков [2], находящейся в диапазоне 1,3...5 м/с.

Для изучения движения угольной крошки антрацита на внутренней поверхности ротора в зависимости от влажности, под действием инерционных сил, применили предложенный нами критерий сыпучести Si на основании теоретических выкладок [3].

$$Si = \frac{Q}{\rho \times d_k \times n}, \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \times \text{с}} \right], \quad (4)$$

где Q – сыпучесть материалов, кг/(м²×с); ρ – плотность частиц материала, кг/м³; d_k – средний диаметр конуса ротора, по которому осуществляется движе-

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ АНТРАЦИТА С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ АППАРАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

ние частиц, м; n – частота вращения ротора, с^{-1} .

Критерий сыпучести Si позволяет охарактеризовать отношение сыпучести материала к силам инерции в его тонкослойном потоке. В результате проведенных исследований была получена графическая зависимость Si от влажности, аппроксимированная полиномом 5-го порядка:

$$y = 0,000002x^5 - 0,0012x^4 + 0,0242x^3 - 0,1903x^2 + 0,6982x - 0,5386. \quad (5)$$

Зависимость представлена на рисунке 3.

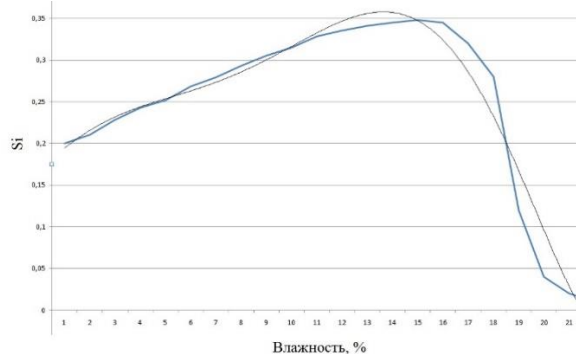


Рисунок 3 – График зависимости влажности антрацита от критерия сыпучести

Figure 3 – Graph of the dependence of anthracite moisture content on the flowability criterion

На графике можно заметить, что адгезионная способность антрацита усиливается с увеличением влажности сырья: в диапазоне от 0 до 13 % его частицы практически не прилипают друг к другу, угольная крошка хорошо скользит по внутренней поверхности ротора, избегая сил трения, и может относиться к разряду хорошо сыпучих компонентов. В данном диапазоне влажности Si положительно влияет на качество получаемого продукта и изменяется в пределах: 0,2...0,35. Увеличение влажности (более 13 %) приводит к налипанию на различные материалы, из которых может быть изготовлена рабочая камера и рабочий орган аппарата (стекло, алюминий и т.д.), особенно при условии принудительного механического воз-

действия. Адгезионные свойства материала становятся явно выраженными при влажности более 15 % (Si от 0,02 до 0,006), приводящие к негативному влиянию на качество получаемого антрацита.

Дальнейшие исследования были направлены на то, чтобы оценить отношение затрачиваемой мощности при перемещении крошки антрацита с различной влажностью к силам инерции, возникающим внутри аппарата, при помощи критерия мощности K_N :

$$K_N = \frac{N}{\rho \times n^3 \times d_k^5}, \quad (6)$$

где N – полезная мощность, затрачиваемая на смешивание сыпучих материалов, Вт; ρ – плотность частиц материала, кг/м^3 ; d_k – средний диаметр конуса ротора, по которому осуществляется движение частиц, м; n – частота вращения ротора, с^{-1} .

Полученные результаты аппроксимированы полиномом 5-го порядка и представлены на рис. 4 в виде графической зависимости влажности крошки антрацита от критерия мощности:

$$y = 0,00022x^5 - 0,0614x^4 + 0,0421x^3 - 0,0953x^2 + 0,0062x - 0,8345. \quad (7)$$

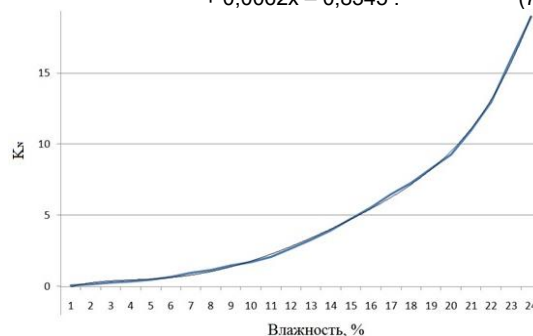


Рисунок 4 – График зависимости влажности антрацита от критерия мощности

Figure 4 – Graph of the dependence of anthracite moisture on the power criterion

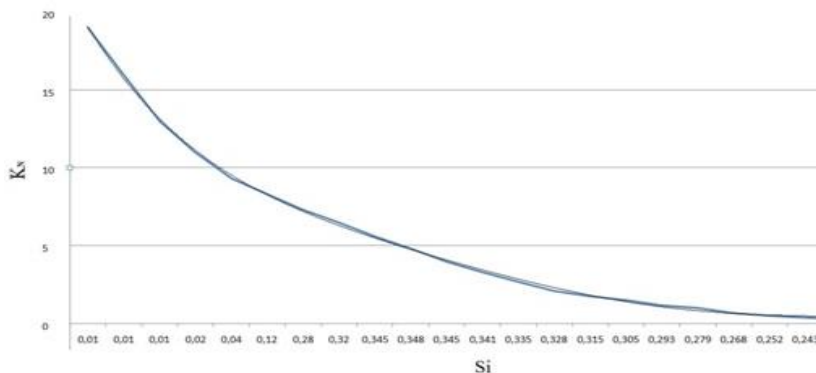


Рисунок 5 – График зависимости критерия сыпучести от критерия мощности

Figure 5 – Graph of the dependence of the flowability criterion

Минимальное значение критерия мощности аппарата $K_N = 0,1..0,42$ достигается при влажности в диапазоне 0...13 %. Дальнейшее увеличение влаги в крошке антрацита (от 13 % и выше) приводит к резкому увеличению критерия мощности практически в 9 раз ($K_N = 4...16$). Следовательно, затрачиваемая мощность на перемещение крошки антрацита сильно зависит от его влажности и прямо пропорциональна K_N . Кривая зависимости критерия сыпучести от критерия мощности представлена на рисунке 5.

Из графика видно, что с увеличением сыпучести материала снижается критерий мощности. На основании вышеприведенных экспериментальных исследований можем сделать вывод, что мощность, затрачиваемая на перемещение крошки антрацита, находится в прямо пропорциональной зависимости от ее влажности.

Увеличение влажности приводит к снижению сыпучести и образованию конгломератов, как следствие, к возрастанию затрачиваемой мощности и удорожанию всего процесса.

ВЫВОДЫ

Решая поставленные задачи, можем заключить, что использование непрерывно действующих центробежных аппаратов с конусным ротором, обеспечивающих непрерывное движение, является эффективным способом создания тонкого слоя крошки антрацита. При следующих характеристиках: насыпной плотности крошки антрацита $\rho = 630...820 \text{ кг/м}^3$, угле конусности $70...110^\circ$, диаметре нижнего основания конуса $0,06...0,1 \text{ м}$, частоте вращения ротора $n = 450...600 \text{ об/мин}$, влажность крошки антрацита находится в диапазоне от 6 % до 15 %. При этом потребляемая мощность двигателя аппарата находится в пределах $N = 0,37...0,41 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3$. Однако для наилучшего дальнейшего обогащения крошки антрацита лазерными лучами рекомендуемые величины влажности должны находиться в диапазоне от 8 до 13 %. В этих условиях исключено пылеобразование и отсутствие явного проявления адгезионных свойств.

Все это позволяет с применением лазерной обработки и новейших технологий получить обогащенные мелкие частицы угля, с последующим их прессованием и брикетированием, с заданными свойствами по более низкой закупочной цене по отношению к кусковому углю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородулин Д.М. Исследование взаимосвязи критерия сыпучести с динамическими и энергетическими характеристиками в объеме смесителя непрерывного действия // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2013. № 5–6. С. 74–78.
2. Иванец В.Н. Исследование направления и скорости воздушных потоков в рабочей камере центробежного смесителя // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 1. С. 75–80.
3. Разработка и исследование центробежного смесителя непрерывного действия для получения смесей для спортивного питания / В.Н. Иванец [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 1. С. 48–55.
4. Borodulin D.M., Sukhorukov D.V. Comparing efficiency of two centrifugal mixers producing dry combined mixtures. Science, Technology and Higher Education, Materials of the III international research and practice conference. Westwood, Canada. 2013. P. 398–405.
5. Borodulin D.M. & Sukhorukov D.V. & Komarov S.S. Investigation of dynamic characteristics flowability. European Science and Technology, Materials of the IV international research and practice conference Vol. I. Munich, Germany. 2013. P. 146–150.
6. Borodulin D.M., Sukhorukov D.V., Komarov S.S. Research flowability of food materials. Science, Technology and Higher Education, Materials of the II international research and practice conference Vol. II, Westwood, Canada. 2013. P. 101–106.
7. Borodulin D.M., Bakin I.A., Sukhorukov, D.V., Ratnikov, S.A. (2020). Simulation of mixing process in drum mixer with different topology of material flows. International scientific and practical conference "Agro-SMART – Smart solutions for agriculture".
8. Центробежный смеситель : пат. 2496561 Рос. Федерация № 2012125453/05 : заявл. 19.06.2012; опубл. 27.10.2013.
9. Центробежный смеситель диспергатор: пат. 2464078 Рос. Федерация № 2011119845/05: заявл. 17.05.2011; опубл. 20.10.2012.
10. Исследование работы смесительного агрегата, состоящего из двух последовательно установленных центробежных СНД, для получения смеси с соотношением смешиваемых компонентов 1:1000 методом последовательного разбавления / Д.М. Бородулин [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2013. № 5(80). С. 210–217.

Информация об авторах

Д. В. Сухоруков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерного дизайна» Кемеровского государственного университета.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

С. А. Ратников – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерного дизайна» Кемеровского государственного университета.

А. А. Андрюшков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергоресурсосберегающих процессов в химической и нефтегазовой технологиях» Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева.

REFERENCES

1. Borodulin, D.M., Sukhorukov, D.V. & Komarov, S.S. (2013). Investigation of the relationship of the flowability criterion with dynamic and energy characteristics in the volume of a continuous mixer. News of higher educational institutions. Food technology, (5-6), 74-78. (In Russ.).
2. Ivanets, V.N., Borodulin, D.M. & Sukhorukov, D.V. (2013). Investigation of the direction and velocity of air flows in the working chamber of a centrifugal mixer. Technique and technology of food production, (1), 75-80. (In Russ.).
3. Ivanets, V.N., Borodulin, D.M., Sukhorukov, D.V. & Chechko, S.G. (2015). Development and research of a continuous centrifugal mixer for the production of mixtures for sports nutrition. Scientific journal of the ITMO Research Institute. Series: Processes and devices of food production, (1), 48-55. (In Russ.).
4. Borodulin, D.M. & Sukhorukov, D.V. (2013). Comparing efficiency of two centrifugal mixers producing dry combined mixtures. Science, Technology and Higher Education, Materials of the III international research and practice conference. Westwood, Canada. 2013. P. 398-405.
5. Borodulin, D.M., Sukhorukov, D.V. & Komarov, S.S. (2013). Investigation of dynamic characteristics flowability. European Science and Technology, Materials of the IV international research and practice conference Vol. I. Munich, Germany. 2013. P. 146-150.
6. Borodulin, D.M., Sukhorukov, D.V. & Komarov, S.S. (2013). Research flowability of food materials. Science, Technology and Higher Education, Materials of the II international research and practice conference Vol. II, Westwood, Canada. 2013. P. 101-106.
7. Borodulin, D.M., Bakin, I.A., Sukhorukov, D.V. & Ratnikov, S.A. (2020). Simulation of mixing process in drum mixer with different topology of material flows. International scientific and practical conference "Agro-SMART – Smart solutions for agriculture".
8. Borodulin, D.M., Andryushkov, A.A. & Voitkova, L.A. (2013). Centrifugal mixer. Pat. 2496561 Russian Federation, published on 27.10.2013. (In Russ.).
9. Ivanets, V.N., Borodulin, D.M. & Andryushkov, A.A. (2012). Centrifugal mixer disperser. Pat. 2464078 Russian Federation, published on 20.10.2012. (In Russ.).
10. Borodulin, D.M., Sablinsky, A.I., Sukhorukov, D.V. & Andryushkov, A.A. (2013). Investigation of the operation of a mixing unit consisting of two sequentially installed centrifugal pumps for producing a mixture with a ratio of miscible components 1:1000 by sequential dilution. Bulletin of the KrasGAU, (5(80)), 210-217. (In Russ.).

Information about the authors

D.V. Sukhorukov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Engineering Design" of Kemerovo State University.

S.A. Ratnikov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Engineering Design" of Kemerovo State University.

A.A. Andryushkov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Energy-saving Processes in Chemical and Oil and Gas Technologies" Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev.