

DOI: 10.34031/article_5cd6df484183d5.29120935

^{1,*}Ильина Т.Н., ¹Емельянов Д.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46.

*E-mail: ilina50@rambler.ru

О РОЛИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЧАСТИЦ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

Аннотация. Рассмотрен механизм поверхностных взаимодействий полидисперсных частиц при их агломерации. Дана характеристика волокнистых материалов на примере измельченных отходов бумаги и картона. Получено уравнение для расчета скорости витания частиц волокнистой структуры в зависимости от их относительных размеров и плотности. Рассмотрены механизмы коагуляции частиц в движущихся воздушных потоках. Показана преобладающая роль коагуляции за счет механизма ускорения для волокнистых материалов. Представлены результаты расчета динамики укрупнения частиц техногенных волокнистых материалов в зависимости от их первоначального размера. Показана целесообразность организации процесса агломерации частиц в торообразных камерах пневмомеханического аппарата под действием центробежных сил.

Ключевые слова: техногенные волокнистые материалы, двухфазные потоки, скорость витания, коагуляция, агломерация, пневмомеханический аппарат.

Введение. Одним из перспективных способов утилизации порошкообразных отходов является получение компактированных тел заданной формы и физико-механических параметров. Среди дисперсных отходов можно выделить группу материалов техногенных материалов с низкой истинной ($200 \dots 900 \text{ кг/м}^3$) и насыпной ($20 \dots 85 \text{ кг/м}^3$) плотностью. Как правило, это волокнистые отходы деревообрабатывающего и целлюлозно-бумажного производств, сельского хозяйства, строительной индустрии, характеризующиеся высокой удельной поверхностью и низкой пластичностью. Для таких материалов процесс переработки с получением компактированной продукции в существующих аппаратах не всегда является эффективным. Для гранулирования таких материалов особое значение приобретают пневмомеханические аппараты, для разработки которых и организации процесса агломерации в воздушных потоках необходимо исследование роли поверхностных взаимодействий с учетом физико-химических свойств волокнистых частиц, скорости витания, коэффициента формы и концентрации частиц в потоке.

Основная часть. Поверхностные взаимодействия между частицами в полидисперсных системах обусловлены наличием свободной поверхностной энергии, накопленной в измельченном материале, особенно при его механоактивации [1]. Процесс агломерации – это физико-механический процесс, при котором происходит стихийное или направленное сближение частиц с образованием тел заданной формы плотности и прочности. В основе агломерации могут быть поверхностные взаимодействия, тепловые или физико-химические превращения [2]. С точки зрения

поверхностных явлений в дисперсных системах агломерацию можно рассматривать как переход системы из свобододисперсного (текучего) состояния, когда дисперсная фаза подвижна, в связнодисперсное, в которой одна из фаз не перемещается свободно (гранулы, брикеты и др.).

Для получения компактированных тел используют технологических связки, как правило, жидкие, взаимодействие которых с поверхностью твердого тела обусловлено свободной поверхностной энергией или межфазным поверхностным натяжением. Необходимая прочность агломератов зависит от адгезии связующего к агломерируемому твердому веществу и собственной высокой когезионной прочности [2, 3].

Поверхностные взаимодействия в полидисперсных системах обусловлены соотношением между силами аутогезии и когезии. Аутогезия частиц характеризует взаимодействия между соприкасающимися частицами. Адгезия частиц означает взаимодействие частиц и твердой поверхности макроскопических тел (стенок и рабочих органов технологических аппаратов и др.). Когезия проявляется в виде связи между молекулами (атомами, ионами) с образованием единого тела. Когезия может возникать также на участках при непосредственном соприкосновении твердых тел.

Взаимодействие между частицами в результате аутогезии проявляется на многих стадиях технологического передела дисперсных материалов, например, при транспортировании, хранении, складировании полидисперсных материалов. При этом происходит так называемая стихийная агломерация без воздействия внешних сил. Образование агломератов происходит также

в воздушных потоках аспирационных систем, например, при обеспыливании технологических процессов многих производств, в том числе и в производстве строительных материалов [4].

Наибольшее распространение получили процессы компактирования дисперсных материалов, в том числе и отходов различных производств, под действием внешних сил с получением тел с требуемыми физико-механическими характеристиками [5, 6].

Механизм образования связей между частицами с получением сформованных тел зависит от многих факторов, характеризующих как физико-механические параметры твердой фазы (минералогический состав, истинная и насыпная плотность, форма частиц, удельная поверхность), так и физико-химические и реологические свойства связующей добавки, ее количества, а также способа реализации процесса компактирования [7]. Представленные в данной работе рекомендации относятся в основном к плотно-кристаллическим дисперсным материалам, в то время как волокнистые материалы состоят из частиц удлиненной формы. Промежутки между волокнами заполнены воздухом у непропитанных материалов или синтетическими смолами у пропитанных.

Структура волокнистой массы ЦБО представлена растительными волокнами, на внешней поверхности которых находится тонкая оболочка, внутри расположена полость (люмен), заполненная протоплазмой, состоящей из белковых веществ (протеинов и протеидов). В протоплазме различают клеточное ядро (кариоплазма) и внеядерную часть (цитоплазма), включающую митохондрии и хроматофоры, которые представлены в виде слоистых спиральных отдельных волокон – фибриллы. Диаметр фибрилл составляет 0,1-0,4 мкм, а ширина их пучков – 1-5 мкм. В большинстве случаев фибриллы уложены равномерно слоями, а в отдельных – спиралевидно [8].

Многочисленные рентгенографические и электронографические исследования показали, что при огромных увеличениях ($50 \cdot 10^3$ раз) мицеллярные соединения составлены из отдельных групп макромолекул нитеобразной формы [8]. При диспергировании целлюлозы (распушении волокон) и ее производных достигается огромная удельная поверхность, которая обеспечивает высокую адгезионную способность взаимодействия с окружающими компонентами.

Одним из способов по утилизации целлюлозно-бумажных отходов является производство гранулированных стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона (ГСД

ЩМА), введение которых обеспечивает однородность асфальтобетона. В БГТУ им. В.Г. Шухова разработан технологический комплекс для получения экструдированных техногенных материалов различного функционального назначения, в том числе и ГСД ЩМА. Исходным сырьем являются отходы бумаги, картона [9].

Технологический комплекс для переработки ЦБО и их гранулирования с минеральными добавками и связующими включает основные технологические операции, а именно двухстадийное измельчение ЦБО с введением в измельченный материал после шредера добавок; осаждение измельченных ЦБО в аспирационной системе; гранулирование композиционной смеси в плоскоматричном грануляторе с последующей сушкой и классификацией готового продукта в барабанно-винтовом сушильном агрегате.

Предварительный анализ материальных потоков показал, что для повышения эффективности работы технологического комплекса, а именно, снижения количества пыли, поступающей в аспирационную систему и увеличения производительности по готовой продукции, необходимо провести теоретические и экспериментальные исследования процессов коагуляционно-адсорбционного взаимодействия частиц при агломерации в воздушном потоке с разработкой пневмомеханического устройства для микрогранулирования.

Известно, что с ростом среднего размера частиц и его плотности значительно возрастает эффективность их осаждения в циклонной установке. При очистке газов от пыли существенное значение имеют следующие виды коагуляции, т.е. сцепления частиц: тепловая (за счет броуновского движения), градиентная (при наличии поперечного градиента скорости газа) и турбулентная (за счет механизма ускорения) [10]. Соотношение между этими силами определяется дисперсным составом частиц, их формой, удельной поверхностью, скоростью и температурой движущегося газодисперсного потока. Задачей настоящего исследования является выявление соотношения между этими механизмами с выделением наиболее эффективного для частиц картона, измельченных в роторном измельчителе технологического комплекса.

Проведены исследования физико-химических параметров, измельченных в шредере и молотковой дробилке отходов в виде картона и плотной бумаги типа ватман и пошедших через сито № 2 (2 мм). Истинная плотность измельченного картона составляет 680 кг/м^3 , плотность измельченного ватмана – 889 кг/м^3 . Определение удельной поверхности и среднего размера частиц проводили на автоматизированном приборе

ПСХ-12. Средний размер частиц на входе в циклон составляет 15..17 мкм, пыль после циклона 9-11 мкм, просыпь из классификатора 1..2 мм. Удельная поверхность дисперсных частиц перед циклоном 530...580 м²/кг, после циклона 840...900 м²/кг.

Важной характеристикой волокнистых материалов для оценки возможности их осаждения в циклонной установке является скорость витания. Исследования показали, скорость витания измельченных частиц бумаги, картона составляет от 1.1 до 4.4 м/с для частиц эквивалентного диаметра 0,50...0,8 мм., коэффициент формы 2,0...2,5.

На основании экспериментальных данных нами было получено уравнение для определения скорости витания частиц волокнистых материалов, которое справедливо для частиц измельченных волокнистых материалов с длиной волокон от 2 до 8 мм:

$$v_{\text{внт}} = 1,87\sqrt{0,028a + 0,0043b} - 1; R_{xy} = 0,943, \quad (1)$$

где $a=l/d$ – соотношение между длиной волокна и его диаметром (коэффициент a для волокнистых материалов находится в диапазоне 15–40); $b=\rho_m/\rho_g$ – отношение плотности частицы к плотности воздуха (для диапазона $200 \leq \rho_m \leq 900$ кг/м³).

Расчет механизмов коагуляции частиц проводился по следующим уравнениям.

Скорость убывания счетной концентрации частиц ($n, 1/\text{м}^3$) в результате процесса коагуляции находится из выражения [10]:

$$N = -\frac{dn}{d\tau_k} = -Kn^2, \quad (2)$$

где N – скорость коагуляции – величина, соответствующая числу встреч частиц в единице объема в единицу времени, $1/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$; τ_k – время коагуляции, с; K – константа коагуляции, м³/с.

Скорость броуновской коагуляции рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{бр}} = 8\pi D_c (n')^2 d_c, \quad (3)$$

где D_c – коэффициент сцепления частиц, характеризующий интенсивность броуновского движения, м²/с.

Градиентная коагуляция происходит при наличии поперечного градиента скорости газов при их движении в потоке, например, течение газов у твердой стенки (в воздуховоде).

Скорость градиентной коагуляции может быть определена по формуле:

$$N_{\text{гр}} = \frac{32}{3} (n')^2 i d_c^3, \quad (4)$$

где i – градиент скорости, с⁻¹; n' – начальная концентрация частиц, $1/\text{м}^3$.

Расчет константы коагуляции по механизму ускорения $K_{\text{уск}}$, м³/с, определяется по формуле [10]:

$$K_{\text{уск}} = \pi \frac{\rho_m}{\rho_g} \frac{v_c^{9/4}}{l^{3/4} v_c^{5/4}} \beta d_c^4, \quad (5)$$

где β – коэффициент, характеризующий распределение частиц по размерам (принимается равным 1); d_c – средний размер частиц, м; v_c – кинематическая вязкость газа, м²/с; v_c – скорость газа, м/с; l – длина трубопровода, м. При движении газового потока по трубе $l=D_{\text{тр}}$.

Средняя масса частиц m_c , кг, в момент времени τ может быть определена по формуле [11]:

$$m_c = \frac{z}{n} = \frac{z(1+0,5K_{\text{уск}} n' \tau_k)}{n'} \approx \frac{K_{\text{уск}} z \tau_k}{2}, \quad (6)$$

где z – массовая концентрация частиц, кг/м³; n' – начальная концентрация частиц, $1/\text{м}^3$; τ_k – время коагуляции, с.

Диаметр частицы, увеличенной в процессе коагуляции, определяется по формуле и сравнивается с первоначальным диаметром:

$$d_c = \sqrt[3]{6m_c / \pi \rho_m}, \quad (7)$$

Скорость и константа коагуляции $K_{\text{уск}}$ в значительной степени определяется скоростью газового потока ($N_{\text{уск}} \sim v_c^{9/4}$) [12].

Расчет различных механизмов коагуляции измельченных волокнистых частиц в движущемся потоке при одинаковых динамических условиях показал, что наиболее эффективна коагуляция за счет механизма ускорения, которая на 6 порядков выше броуновской коагуляции и на 3 порядка выше механизма градиентной коагуляции. Поскольку плотность дисперсной фазы значительно выше плотности дисперсионной среды именно коагуляция за счет механизма ускорения имеет большее значение и зависит от массы частиц, коэффициента их формы и скорости витания, за счет различия в скоростях движения частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды, а также благодаря волокнистой форме частиц и происходит их взаимодействие, сопровождающееся сцеплением.

По уравнениям (5)–(7) нами произведен расчет коэффициента укрупнения частиц размером 0,5–2,0 мм, которые поступают в циклон технологического комплекса для осаждения и последующего поступления уловленного материала в гранулятор. Результаты расчета представлены на рис. 1.

Как видно из рисунка, размер частиц за счет их сцепления растет с увеличением времени контакта частиц и их первоначального размера. Отсюда следует, что для взаимодействия частиц волокнистых материалов в двухфазном движущемся потоке, т. е. их агломерации, необходимо

увеличение времени взаимодействия и скорости их вращения частиц в поле центробежных сил. Эти условия могут быть реализованы в пневмомеханических аппаратах с торообразными камерами.

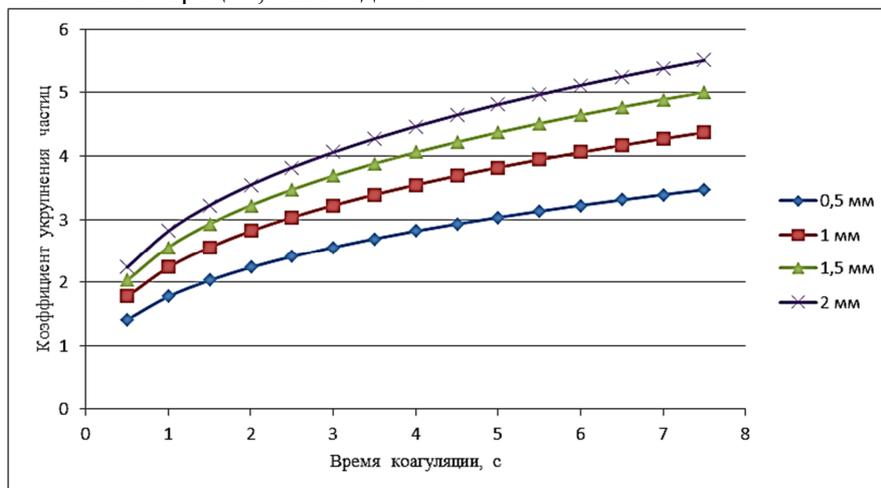


Рис. 1. Динамика укрупнения волокнистых частиц различного первоначального размера

Проведенные нами теоретические исследования позволили разработать математическую модель движения двухфазного потока в торообразных камерах под действием центробежных сил и способ ее решения [13]. Полученные математические зависимости могут быть использованы для описания процессов агломерации частиц в центробежном поле сил газодисперсного потока и послужили теоретической основой для разработки пневмомеханического аппарата [14].

Подтверждением преобладающего механизма ускорения при агломерации частиц является полученная ранее зависимость скорости витания волокнистых частиц от концентрации. Нами установлено, что с увеличением объемной доли волокнистых частиц в потоке создаются условия для их сцепления, образуются агломераты, коэффициент формы которых приближается к единице [15].

Для повышения эффективности процесса агломерации целесообразно использование водных растворов связующих добавок, адсорбирующихся на частицах дисперсного материала с образованием коагуляционно-структурированной прослойки. Спектр связующих добавок широк, выбор зависит от свойств материала, его дисперсности, удельной поверхности, гидрофильности и других физико-химических показателей. Полученные при агломерации гранулы могут быть как промежуточным этапом технологического процесса, так и готовой продукцией в зависимости от предъявляемых к гранулам требований.

Выводы. Для агломерации частиц техногенных волокнистых материалов в движущемся газодисперсном потоке необходимо создать условия для их поверхностных взаимодействий, а именно увеличить время и скорость движения двухфазного потока в центробежном поле, что возможно в торообразных камерах пневмомеханического аппарата. Технологические параметры процесса и выбор связующего определяются требованиями к физико-механическим характеристикам готовой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евтушенко Е.И. Активационные процессы в технологии строительных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. 193 с.
2. Ильина Т.Н. Процессы агломерации в технологиях переработки дисперсных материалов: Монография. Белгород: Изд-во БГТУ. 2009. 229 с.
3. Сулименко Л.М., Альбац Б.С. Агломерационные процессы в производстве строительных материалов // ВНИИЭСМ. 1994. 297 с.
4. Ильина Т.Н. Снижение пылеуноса из вращающейся цементной печи // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2008. №10. С. 36–40.
5. Макаренко Д.А., Назаров В.И., Гонопольский А.М, Трефилова Я.А. Особенности выбора гранулирующего оборудования многокомпонентных полидисперсных шихт со вторичными материальными ресурсами на основе системного анализа // Вестник МГОУ. Серия Естественные науки. 2013. № 1. С. 49–64.

6. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Гридчин А.М., Уральский В.И., Севостьянов М.В., Ядыкина В.В. Ресурсо-энергосберегающие модули для комплексной утилизации техногенных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 102–106.

7. Pina T.N. Classification of Fine Materials and Recommendations for Sintering // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Т. 49. №. 3-4. С. 229–232.

8. Корда И., Либнар З., Прокоп И. (перевод с чешского). Разлом бумажной массы. М.: Изд-во «Лесная промышленность». 1967. 421 с.

9. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Гридчин А.М., Севостьянов М.В., Трубаев П.А., Уральский В.И., Филатов В.И., Кошуков А.В. Пат. 2567519 Российская Федерация, МПК А23К 1/20. Технологическая линия и способ для экструдирования техногенных волокнистых материалов. № 2014149776/13, опублик. 10.11.2015, Бюл. № 31. 10 с.

10. Вальдберг А.Ю., Куцев Л.А. Расчет пыле- и каплеулавливающих установок: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010. 172 с.

Информация об авторах

Ильина Татьяна Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: ilina50@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Емельянов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, инженер кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: dimon8-8@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в февраль 2019 г.

© Ильина Т.Н., Емельянов Д.А., 2019

^{1,*} Pina T.N., ¹ Emel'yanov D.A.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: ilina50@rambler.ru

ON THE ROLE OF SURFACE INTERACTIONS OF PARTICLES OF FIBER STRUCTURE DURING AGGLOMERATION IN THE AIR FLOW

Abstract. The mechanism of surface interactions of polydisperse particles during agglomeration is considered. The characteristic of fibrous materials is given on the example of shredded waste paper and cardboard. An equation is obtained for calculating the soaring speed of the particles of the fibrous structure depending on their relative sizes and density. The mechanisms of coagulation of particles in moving air streams are considered. The prevailing role of coagulation due to the acceleration mechanism for fibrous materials is shown. The results of the calculation of the dynamics of particle enlargement of technogenic fibrous materials depending on their initial size are presented. The expediency of organizing the process of agglomeration of particles in the toroidal chambers of a pneumomechanical apparatus under the action of centrifugal forces is shown.

Keywords: technogenic fibrous materials, two-phase flow soaring speed, coagulation, agglomeration, pneumomechanical apparatus.

REFERENCES

1. Evtushenko E.I. Activation processes in the technology of building materials [*Aktivacionnye pro-*

11. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР. 1965. 160 с.

12. Вальдберг А.Ю., Николайкина Н.Е. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. М.: Дрофа. 2008. 239 с.

13. Ильина Т.Н., Бойчук И.П., Емельянов Д.А. О взаимодействии частиц волокнистых материалов в воздушном потоке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 116–121.

14. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Шкарпеткин Е.А., Осокин А.В., Бойчук И.П., Емельянов Д.А. Патент РФ на полезную модель № 162472. Пневмомеханическое устройство для микрогранулирования дисперсных материалов, опублик. 10.06.2016 Бюл. № 16.

15. Емельянов Д.А., Плотников К.В. О влиянии объемной концентрации техногенных волокнистых материалов на коэффициент формы частиц в материально-воздушном потоке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 91–95.

cessy v tekhnologii stroitel'nyh materialov]. Belgorod: Publishing House of BSTU. V.G. Shukhov, 2003. 193 p. (rus)

2. Ilina T.N. Agglomeration processes in the processing technologies of dispersed materials [*Processy aglomeracii v tekhnologiyah pere-rabotki dispersnyh materialov*]: Monograph. Belgorod: BGTU publishing house. 2009. 229p. (rus)

3. Sulimenko L.M., Albats B.S. Agglomeration processes in the production of building materials [*Aglomeracionnye processy v proizvodstve stroitel'nyh materialov*]. VNIIESM. 1994. 297 p. (rus)

4. Ilina T.N. Reduction of dust removal from a rotating cement kiln [*Snizhenie pyleunosa iz vrashchayushchejsya ce-mentnoj pechi*]. Chemical and oil and gas engineering. 2008. No. 10. Pp. 36–40. (rus)

5. Makarenkov D.A., Nazarov V.I., Gonopolsky A.M., Trefilova Ya.A. Features of the choice of granulating equipment of multi-component polydisperse charges with secondary material resources based on system analysis [*Osobennosti vybora granuliruyushchego oboru-dovaniya mnogokomponentnyh polidispersnyh shiht so vtorichnymi material'nymi re-sursami na osnove sistemnogo analiza*]. Bulletin of Moscow Region State University. Series Natural Sciences. 2013. No. 1. P. 49–64. (rus)

6. Glagolev S.N., Sevostyanov V.S., Gridchin A.M., Uralsky V.I., Sevostyanov M.V., Yadykina V.V. Resource and Energy Saving Modules for the Complex Utilization of Technogenic Materials [*Resurso-ehnergoberegayushchie moduli dlya kompleksnoj utilizacii tekhnogennyh materialov*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 6. Pp. 102–106. (rus)

7. Il'ina T.N. Classification of Fine Materials and Recommendations for Sintering. Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 49. No. 3–4. Pp. 229–232.

8. Korda I., Libnar Z, Prokop I. (translation from Czech). Breaking paper stock [*Razlom bumazhnoj massy*]. M.: Publishing house Forest industry. 1967. 421 p. (rus)

9. Glagolev S.N., Sevostyanov V.S., Gridchin A.M., Sevostyanov M.V., Trubaev P.A., Ural V.I., Philats V.I., Koshchukov A.V. Pat. 2567519 Russian Federation, IPC A23K 1/20. Technological line and method for the extrusion of man-made fibrous materials [*Tekhnologicheskaya liniya i sposob dlya ehkstrudirovaniya tekhnogennyh voloknistyh materialov*] No. 2014149776/13. (rus)

10. Waldberg A.Yu., Kushev L.A. Calculation of dust and dropping installations [*Raschet pyle i kapleulavlivayushchih ustanovok*]. Manual. Belgorod: BGTU publishing house. 2010. 172 p. (rus.)

11. Fuchs N.A. Advances in aerosol mechanics [*Uspekhi mekhaniki aehrozolej*]. M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. 1965. 160 p. (rus)

12. Waldberg A.Yu., Nikolaykina N.E. Processes and devices for environmental protection [*Processy i apparaty zashchity okruzhayushchej sredy*]. M.: Bustard. 2008. 239 p. (Rus.)

13. Ilina T.N., Boychuk I.P., Emelyanov D.A. On the interaction of particles of fibrous materials in the air flow [*O vzaimodejstvii chastic voloknistyh materialov v vozdushnom potoke*] Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 6. Pp. 116–121. (rus)

14. Glagolev S.N., Sevostyanov V.S., Ilyina T.N., Sevostyanov M.V., Shkarpetkin E.A., Osokin A.V., Boychuk I.P., Yemelyanov D.A. RF Patent for Utility Model Pneumatic-mechanical device for microgranulation of dispersed materials. [*Pnevromekhanicheskoe ustrojstvo dlya mikro-granulirovaniya dispersnyh materialov*]. No. 162472. (rus)

15. Yemelyanov D.A., Plotnikov K.V. On the effect of the volume concentration of technogenic fibrous materials on the shape factor of particles in the material-air flow [*O vliyanii ob'emnoj koncentracii tekhnogennyh voloknistyh materialov na koehfficient formy chastic v material'no-vozdushnom potoke*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. № 3. Pp. 91–95. (rus)

Information about the authors

Il'ina, Tatyana N. DSc, Professor. E-mail: ilina50@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Emel'anov, Dmitriy A. PhD. E-mail: dimon8-8@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in February 2019

Для цитирования:

Ильина Т.Н., Емельянов Д.А. О роли поверхностных взаимодействий частиц волокнистой структуры при агломерации в воздушном потоке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 106–111. DOI: 10.34031/article_5cd6df484183d5.29120935

For citation:

Il'ina T.N., Emel'anov D.A. On the role of surface interactions of particles of a fibrous structure during agglomeration in an air stream. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 106–111. DOI: 10.34031/article_5cd6df484183d5.29120935