

Емельянов Д. А., аспирант

Плотников К. В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

## О ВЛИЯНИИ ОБЪЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ЧАСТИЦ В МАТЕРИАЛЬНО-ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

dimon8-8@mail.ru

Произведено исследование физико-химических параметров частиц техногенных волокнистых материалов. Определены скорости витания и коэффициенты аэродинамического сопротивления частиц различных форм и диаметров. Рассмотрено влияние эквивалентного диаметра сформованных и дискообразных частиц на их коэффициент формы. Построены графические зависимости коэффициента формы частиц от их размеров и концентрации твердой фазы в материально-воздушном потоке.

**Ключевые слова:** техногенные волокнистые материал, пневмомеханическое гранулирование, двухфазные поток,; скорость витания, коэффициент формы, концентрация твердой фазы.

**Введение.** Многие техногенные образования, в частности отходы предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, являются ценным технологическим сырьем и могут быть вовлечены в технологическое производство с целью получения композиционных материалов с последующим изготовлением из них материалов гражданского и промышленного назначения.

Складирование промышленных отходов требует отведение больших земельных площадей, значительных финансовых расходов на их транспортировку и платежей за их размещение, следствием которого является загрязнение окружающей среды. Кроме того, из полезного использования выводится огромное количество вторичного ресурса, утилизация которого может обеспечить строительную индустрию экологически чистым, конкурентоспособным строительным материалом [1].

В промышленности строительных материалов достаточно успешно внедрена практика вторичного использования отходов, а также техника и технологии переработки техногенных материалов методом компактирования: экструдирования, гранулирования, брикетирования, прессования и др. [2, 3]. Одним из приоритетных направлений развития различных отраслей промышленности является создание безотходных производств и комплексная переработка техногенных материалов. В настоящее время весомую значимость приобрело создание небольших малотоннажных технологических комплексов для комплексной утилизации техногенных волокнистых материалов с различными физико-механическими характеристиками и минералогическим составом.

**Основная часть.** Основную массу техногенных волокнистых материалов (ТВМ) представляют целлюлозно-бумажные отходы (ЦБО). Отличительной особенностью этих материалов является низкая насыпная плотность и неправильная форма частиц. Наиболее рациональным решением по утилизации целлюлозно-бумажных отходов является их применение в производстве стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона. Основная цель применения стабилизирующих добавок заключается в повышении толщины битумных пленок, обеспечивающих присутствие свободного (объемного) битума и однородности ЦМА.

К настоящему времени наибольшее распространение получили стабилизирующие добавки на основе целлюлозы, являющейся продуктом различных способов переработки растительного сырья. При этом целлюлоза применяется либо в виде фибриллизованного (измельченного) волокна, либо в форме гранул. Гранулированные добавки представляют собой волокна, спрессованные в гранулы с их обработкой модифицирующими составами или без нее [4].

Применение гранулированных добавок, состоящих из переработанных отходов, позволяет существенно увеличить долговечность дорожного покрытия, добиться высокой прочности и устойчивости к механическим воздействиям и пластическим деформациям.

В условиях рыночной экономики, в сфере малого и среднего бизнеса стало актуально внедрение небольших малотоннажных технологических комплексов для производства и переработки различных материалов строительной индустрии. Создание небольших

малотоннажных технологических комплексов влечет за собой разработку экономичного, малогабаритного и менее металлоемкого оборудования.

С учетом выполненных научно-технических и конструкторско-технологических разработок коллективом сотрудников университета спроектирован и изготовлен малотоннажный технологический комплекс для производства экструдированных техногенных материалов. Технологический комплекс предназначен для получения экструдированных техногенных материалов различного функционального назначения (топливных пеллет, органоминеральных удобрений, теплоизоляционных наполнителей и др.), но основную роль уделяется созданию гранулированных стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона [5, 6].

Для повышения эффективности комплекса необходимо производить предварительное уплотнение измельченного волокнистого материала, что обеспечивает лучшие условия работы основного гранулятора. В связи с этим был разработан патентнозащищенный аппарат для пневмомеханического гранулирования техногенных материалов. Аппарат включает в себя бункер с патрубком, две торообразные камеры, расположенные вертикально, соединенные между собой разгонной трубкой. За счет использования в аппарате торообразных камер достигается наибольшая величина центробежных сил, вызванных изменением направления движения воздуха [7].

Для изучения процесса гранулирования при утилизации техногенных волокнистых материалов необходимо произвести исследование их физико-химических параметров: размер и форма частиц, скорость их витания, удельная поверхность и другие поверхностные свойства [8]. Для получения гранул пневмомеханическим способом необходимо определить скорость витания частиц и оценить их форму.

Скорости витания шарообразной одиночной частицы в неограниченной среде может быть рассчитана по различным формулам, в том числе по обобщенному методу через критерий Архимеда и Лященко [9].

$$Ar = Ga \frac{\Delta\rho}{\rho_c} = \frac{Re^2}{Fr} \cdot \frac{\rho - \rho_c}{\rho_c} = \frac{d^3(\rho - \rho_c)\rho_c g}{\mu_c^2}. \quad (1)$$

Критерий Архимеда состоит из величин, которые не зависят от скорости и режима потока, и поэтому числовые значения его могут быть

найжены, если только известны размеры частиц, их плотность, а также плотность газа или жидкости и их вязкость при заданных условиях процесса.

По найденному значению критерия  $Ar$  определяют критерий  $Ly$ :

$$Ly = \frac{Re^3}{Ar} = \frac{Re Fr \rho_c}{\rho - \rho_c} = \frac{\omega_{sum}^3 \rho_c^2}{\mu_c (\rho - \rho_c) g}. \quad (2)$$

Далее вычисляют скорость витания:

$$\omega_{sum} = \sqrt[3]{Ly \mu_c (\rho - \rho_c) g / \rho_c^2}. \quad (3)$$

Форму исследуемых частиц можно рассчитать с помощью определения коэффициента лобового сопротивления  $C_x$ .

Для определения скорости витания и коэффициента лобового сопротивления была создана экспериментальная установка, которая состоит из ротаметра с конической трубкой, вентилятора, устройства для замера расхода воздуха и клапана для регулировки расхода воздуха. Ротаметр состоит из конической трубки длиной 365 мм и диаметром в нижней части 16 мм, в верхней части 20 мм.

Для определения скорости витания исследуемая частица помещается в коническую трубку ротаметра. Далее при помощи вентилятора и регулировочного клапана достигается взвешенное состояние частицы в середине конической трубки и замеряется расход воздуха. При известных значениях расхода воздуха и диаметра трубки определяется скорость потока воздуха в известном сечении [10].

В качестве исследуемого материала использовались сформованные и дискообразные частицы газетной бумаги ( $\rho=200 \text{ кг/м}^3$ ), офисной бумаги ( $\rho=400 \text{ кг/м}^3$ ) и алюминиевой фольги ( $\rho=800 \text{ кг/м}^3$ ).

При проведении экспериментов скорости воздушного потока изменялась в пределах от 0,8 до 14 м/с, при этом устанавливается турбулентный режим обтекания частиц ( $2000 < Re < 10000$ ).

При таких высоких значениях числа Рейнольдса обтекание происходит в автомоделльной области сопротивления, и коэффициент лобового сопротивления может быть определен по формуле:

$$C_x = K_\phi \cdot 0,44. \quad (4)$$

Данное уравнение позволяет определить коэффициент формы исследуемых частиц.

По расчетным и экспериментальным данным была построена зависимость коэффициента формы сформованных (рис. 1) и

дискообразных (рис. 2) частиц газетной бумаги (ρ=200 кг/м³), офисной бумаги (ρ=400 кг/м³) и алюминиевой фольги (ρ=800 кг/м³) от эквивалентного диаметра.

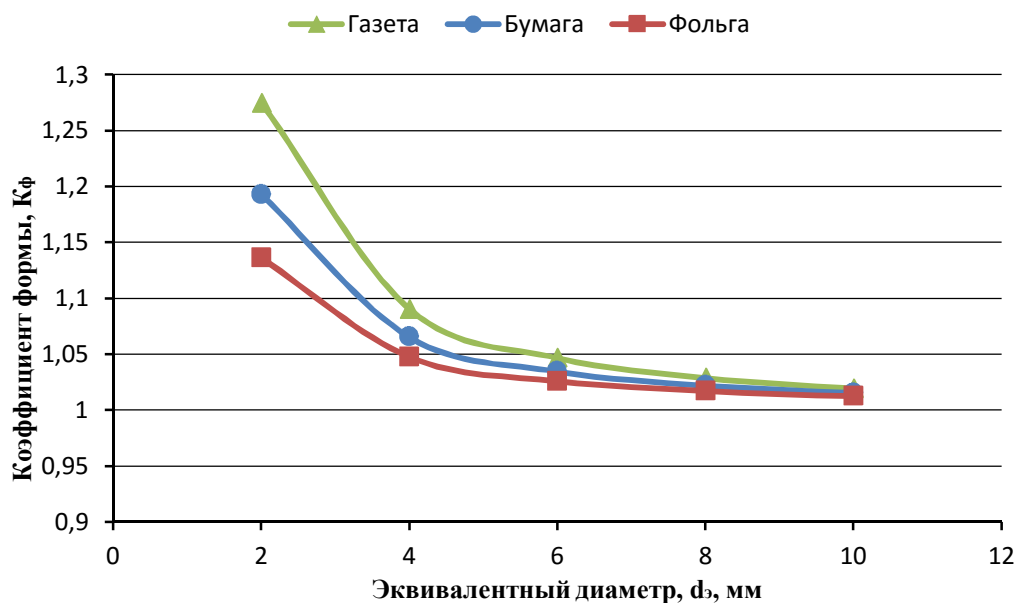


Рис. 1. Зависимость коэффициента формы сформованных частиц от эквивалентного диаметра

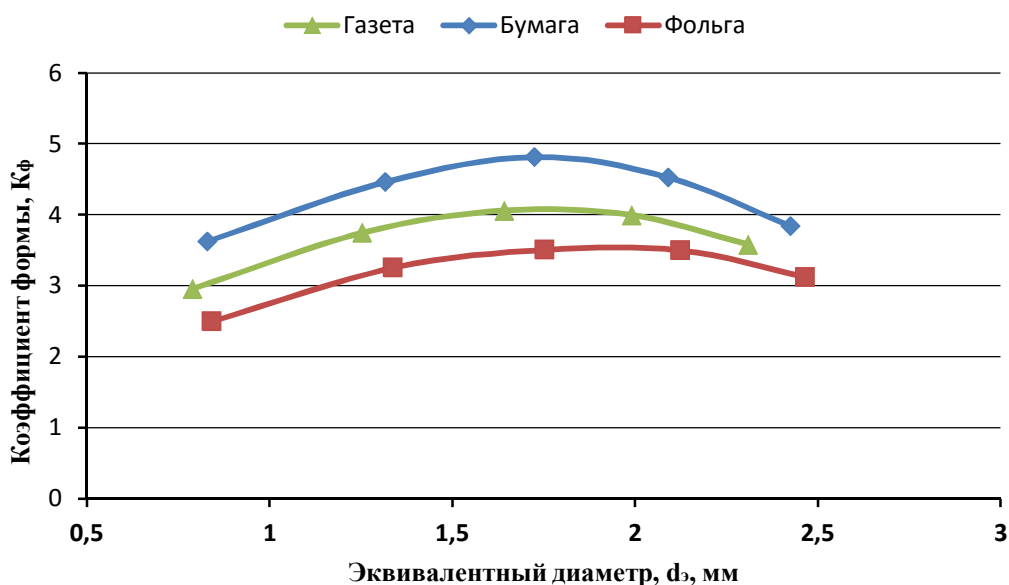


Рис. 2. Зависимость коэффициента формы дискообразных частиц от эквивалентного диаметра

Удовлетворительное совпадение полученных значений коэффициента формы для дискообразных частиц различных эквивалентных диаметров с научными трудами других авторов [11, 12] свидетельствует о достоверности полученных на данной установке результатов.

При условиях движения материально-воздушного потока в ограниченном пространстве на частицы оказывают влияние концентрация этих частиц в потоке.

Влияние концентраций частиц на их сопротивление в потоке может быть учтено с помо-

щью различных эмпирических зависимостей, например, формулы Годеса [13]:

$$Re = \frac{Ar(1 - \epsilon_m)^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar(1 - \epsilon_m)^{4,75}}} \quad (5)$$

справедливой для объемной концентрации частиц в потоке  $\epsilon_m > 0,01$ .

Повышение концентрации твердой фазы оказывает значительное влияние на скорость витания и коэффициент формы исследуемых частиц (рис. 3).

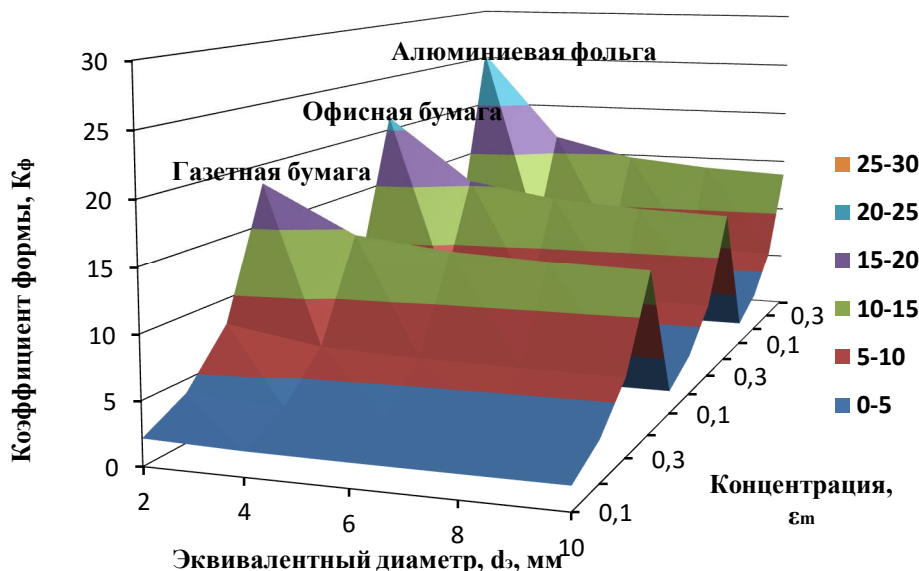


Рис. 3. Зависимость коэффициента формы сформованных частиц от эквивалентного диаметра и концентрации твердой фазы

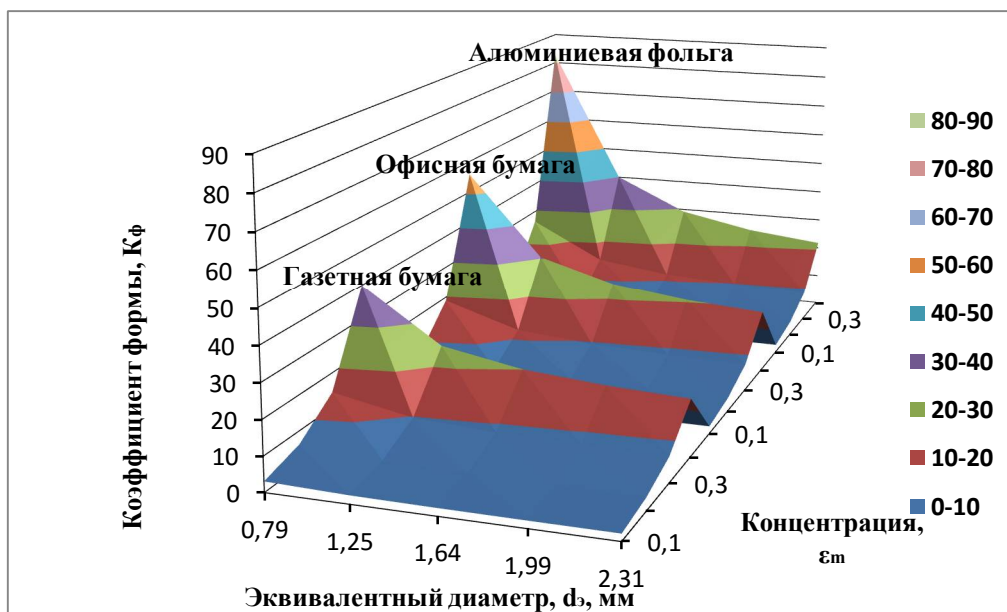


Рис. 4. Зависимость коэффициента формы дискообразных частиц от эквивалентного диаметра и концентрации твердой фазы

Как видно из рисунка, при увеличении концентрации твердых частиц в материально-воздушном потоке коэффициент формы увеличивается. Это говорит об образовании агломератов из единичных частиц, изменении их формы и увеличении сопротивления, причем влияние степени объемного заполнения неоднозначно от размеров частиц. Эти зависимости следует учитывать при проектировании пневмотранспортных установок для перемещения и агломерации техногенных волокнистых материалов.

Следует отметить, что для успешной эксплуатации технологического комплекса актуальными задачами являются совершенствование технологии получения

гранул заданного качества из различных техногенных материалов, подбор конкурентоспособной связующей добавки для предварительной агломерации частиц в воздушном потоке и далее в пресс-валковом грануляторе, исследование свойств уловленных тонкодисперсных частиц и разработка способов их утилизации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Севостьянов В.С., Макридин А.А., Севостьянов М.В., Шинкарев Л.И. Техника и технология комплексной утилизации целлюлозно-бумажных отходов // Проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: Междунар. науч.-

практ. конф., (Пенза, 14–19 июня 2011 г.), Пенза: Изд-во ПГТУ. 2011. С. 152–156.

2. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Ильина Т.Н., Уральский В.И. Технологические модули для комплексной переработки техногенных материалов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. №9. С. 43–45.

3. Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Шкарпеткин Е.А. Конструктивно-технологическое совершенствование агрегатов для гранулирования порошкообразных материалов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2010. №2. С. 100–102.

4. 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 имени В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 102-106.

5. Пат. 2567519 Российская Федерация, МПК А23К 1/20. Технологическая линия и способ для экструдирования техногенных волокнистых материалов / С.Н. Глаголев, В.С. Севостьянов, А.М. Гридчин, М.В. Севостьянов, П.А. Трубаев, В.И. Уральский, В.И. Филатов, А.В. Кошуков; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2014149776/13, заявл. 09.12.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31. 10 с.

6. Пат. 2545252 Российская Федерация, МПК F26B11/04. Барабанно-винтовой сушильный агрегат для сушки гранулированных и сыпучих материалов / В.С. Севостьянов, Т.Н. Ильина, М.В. Севостьянов, А.В. Кошуков, В.А. Бабуков, Д.А. Емельянов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2013138030/06, заявл. 13.08.2013; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9. 7 с.

7. Пат. 2538579 Российская Федерация, МПК В01F13/10. Устройство для пневмомеханического гранулирования техногенных материалов / В.С. Севостьянов, Т.Н. Ильина, М.В. Севостьянов, Д.А. Емельянов, А.В. Кошуков; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2013137715/05, заявл. 12.08.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. 7 с.

8. Емельянов Д.А., Ильина Т.Н. О скорости витания техногенных волокнистых материалов // Актуальные проблемы развития науки и образования: Сб. научн. трудов по материалам Междунар. научно-практ. конф., (Москва, 5 мая 2014 г.), Москва: «АР-Консалт», 2014. Ч. 4. С. 109–112.

9. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: в 2 кн. М: Логос; Высшая школа, 2003. Кн. 2. 872 с.

10. Емельянов Д.А., Ильина Т.Н. Определение и расчет скорости витания частиц различных материалов [Электронный ресурс] / Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгород. 2015.

11. Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. Основы практической теории горения: Учебное пособие для вузов. Под ред. В. В. Померанцева. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 312 с.

12. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. Москва: Химия, 1967. 372 с.

13. Шилиев М.И. Аэродинамика и тепломассообмен газодисперсных потоков: Учеб. пособие. Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2003. 272 с.

---

**Emelyanov D. A., Plotnikov K. V.**

**ABOUT THE INFLUENCE OF VOLUME CONCENTRATION OF TECHNOGENIC FIBROUS MATERIALS ON SHAPE COEFFICIENT OF PARTICLES IN MATERIAL-AIR FLOW**

*Investigated physico-chemical parameters of particles of technogenic fibrous materials. Defined soar velocities and aerodynamic resistance coefficients of particles various shapes and diameters. The influence of the equivalent diameter of molded and disc-shaped particles on their shape coefficient. Built graphical dependence of coefficient shape of particle on the size and concentration of solid phase in the material-air flow.*

**Key words:** *technogenic fibrous materials; rotor granulation; two-phase flow; soar velocity; shape coefficient; concentration of the solid phase.*

---

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

**Плотников Кирилл Викторович**, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.