

*Севостьянов М.В., канд. техн. наук, доц.,  
Ильина Т.Н., д-р техн. наук, проф.,  
Уваров В.А., д-р техн. наук, проф.  
Шинкарев Л.И., инж.*

*Белгородский технологический университет им. В.Г. Шухова*

## СПОСОБЫ КОМПАКТИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

msev31@mail.ru

*Подтверждена актуальность утилизации техногенных дисперсных материалов методом компактирования. Рассмотрены неиспользованные резервы процессов агломерации в технологиях окатыwania, экструдирования, брикетирования, а также конструкции традиционных аппаратов для их реализации.*

*Разработаны ресурсосберегающие технологии и технические средства для компактирования техногенных материалов с различными физико-химическими свойствами.*

**Ключевые слова:** *компактирование, техногенные материалы, вибрационно-центробежный гранулятор, пресс-валковый экструдер, вальцевый пресс.*

Проблема комплексной утилизации техногенных материалов особенно актуальна и востребована в такой крупномасштабной и материалоёмкой отрасли, как промышленность строительных материалов [1,2].

По оценке российских специалистов на данный момент в нашей стране накоплено более 80 млрд. тонн твердых бытовых отходов (ТБО). Ежегодно образуется около 3 млрд. тонн промышленных отходов и 40 млн. тонн ТБО. Из них более 90% составляют хвосты добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых [3-5].

Во многих отраслях промышленности (керамической, цементной, стекольной, горнодобывающей и др.) процессу производства основной продукции сопутствуют инновационные технологии по утилизации отходов. Это реализуется в формировании тонкодисперсных или порошкообразных шихт в компактированные тела заданной геометрической формы и размеров. Технологии, позволяющие вторично перерабатывать отходы производства позволяют получать новые конкурентоспособные материалы с различными физико-механическими характеристиками и физико-химическими свойствами. Данный подход к выпуску различных видов продукции является весьма рациональным и экономически выгодным.

Наиболее известные из существующих технологий утилизации техногенных материалов (окатывание, гранулирование, экструдирование, прокатка, брикетирование, прессование и др.) частично решают вышеуказанную проблему, но не являются универсальными. Традиционные способы агломерации не всегда позволяют учесть специфические особенности исходного гранулируемого материала, что затрудняет получение продукции с заданными физико-

механическими характеристиками и ограничивают области их применения [6,7]

Так, например, в технологии окатыwania (тарельчатые, барабанные, вибрационные грануляторы и др.) существуют следующие технологические проблемы: отсутствие стадии предварительного уплотнения материала с образованием центров гранулообразования (микрогранулирования) отрицательно влияет на качество получаемой продукции и ее стабильный состав; неравномерное распределение связующего в гранулируемом слое смеси при использовании материалов с высоким водопоглощением; при вибрационном воздействии на композиционную смесь материалов с различной плотностью компонентов при ее виброгранулировании имеет место сегрегация гранулируемой шихты и др.

В технологии экструдирования возникают проблемы иного рода: недостаточная плотность гранул, получаемых при воздействии на материал прессующих валков и шнека в существующих экструдерах; невысокая степень предварительного уплотнения материала и отсутствие выдержки шихты под давлением для релаксации упругих деформаций; повышенный износ рабочих органов, а также отсутствие возможности подогрева материала внутри корпуса при эксплуатации агрегата в различных температурных условиях окружающей среды или использовании термопластичных материалов и др.

Технология брикетирования также требует своего совершенствования: невозможность полного удаления газообразной фазы из прессуемого материала; незначительное время выдержки прессуемых брикетов под воздействием силовой нагрузки; неравномерность скорости приложения и снятия нагрузки; отсутствие возможности регулирования давления прессования, пластических свойств формуемой шихты, ее равномерно-

го распределения по ширине рабочих органов; ограниченная возможность регулирования степени предварительного уплотнения материала, а также сложность восстановления изношенных формующих элементов и др.

Проведенные многолетние исследования в области создания энергоэффективной техники и ресурсосберегающих технологий позволили нам разработать патентозащищенные конструкции машин, в которых реализованы новые принципы организации процессов компактирования техногенных материалов с учетом их специфических особенностей: малой насыпной массы и пластичности; низкой сыпучести и склонности к зависанию; повышенной влагопотребности и агрегирования и др.

Разработанные агрегаты используются как в существующих ресурсо-энергосберегающих технологиях, так и предназначены для перспективных инновационных технологий.

Для реализации процесса виброгранулирования техногенных материалов нами разработан вибрационно-центробежный гранулятор (ВЦГ, Рис. 1, Патент РФ № 2412753), в котором реализуются следующие технологические процессы [8]:

а) с целью гранулирования различных по плотности и грансоставу исходных материалов, а также повышения эффективности процесса и качества выпускаемой продукции используется специальное устройство подготовки - микрогранулирование, включающее два пресс-валка с профильной прессующей поверхностью;

б) для обеспечения постадийной и селективной обработки материала гранулятор снабжен блоком формования, состоящим из трех цилиндрических барабанов, последовательно обеспечивающих классифицирующее и вибрационно-центробежное воздействие на гранулируемый материал, причем два последних из которых обеспечивают водопадно-каскадный и каскадный режимы гранулообразования;

в) возможность изменения положения второго барабана относительно первого или третьего позволяет, соответственно, усилить эффект водопадного или каскадного воздействия на гранулируемый материал;

г) наличие торообразных камер, закрепленных на торцах третьего барабана обеспечивает большую степень свободы в движении сформованных гранул, а, следовательно, - придание им сферической формы и упрочнение их поверхностного слоя.

В отличие от известных вибро- и окаточных грануляторов данный агрегат за счет изменения кинематики движения формующих барабанов и величины динамического воздействия

на гранулируемый материал позволяет получать более качественные гранулы с заданными физико-механическими характеристиками: плотностью, прочностью, размерами и др. из техногенных материалов с различными пластическими свойствами.

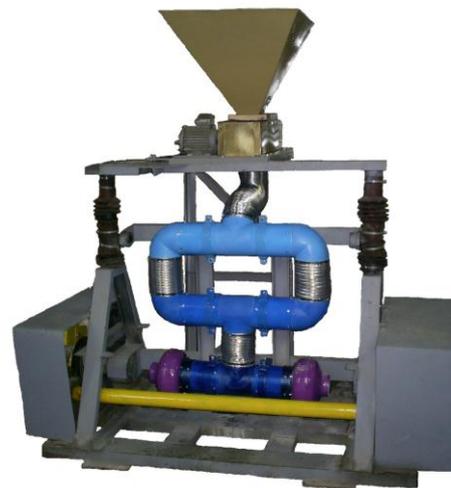


Рис. 1. Вибрационно-центробежный гранулятор

Для экструдирования техногенных порошкообразных материалов с различными физико-механическими характеристиками (дисперсностью, пластичностью, плотностью, сыпучестью и др.) нами разработан многоцелевой гранулятор-экструдер [9,10] (Рис.2, Патент РФ № 2207247, А.св. № 30244), а также гранулятор волокнистых материалов [11] (Патент РФ № 135539).

В разработанных конструкциях пресс-валковых экструдеров (ПВЭ) учтены недостатки известных аналогов, а также расширены функциональные возможности агрегатов:

а) предложено совмещенное исполнение предуплотняющего шнека и вращающейся пресс-матрицы;

б) для равномерной подачи прессуемой шихты в шнековый пресс предусмотрен загрузочный бункер с вибрирующим устройством на корпусе, что стабилизирует процесс подачи материала;

в) за счет устройства для предварительного уплотнения в загрузочном бункере, плавного увеличения диаметра вала шнека в сторону зоны формования, наличия прессующей головки и прорезиненных валков, расположенных эксцентрично своей оси происходит эффективное предварительное уплотнение шихты и выдержка ее под давлением, а также варьируется плотность материала;

г) в корпусе шнека предусмотрены термоподогрев уплотняемой массы и возможность ввода в нее пластификаторов;

д) за счет выгрузки подпрессованного материала в центральную часть по ширине пресс-

матрицы происходит равномерное распределение шихты по ширине валков.



Рис. 2. Пресс-валковый экструдер новой конструкции

В конструкции гранулятора волокнистых материалов (Рис. 3) для формования шихты малой насыпной массы (например, измельченные целлюлозно-бумажные отходы) реализованы следующие технические решения:

а) для удаления воздушной фазы предусмотрены предуплотнительные устройства, состоящие из внутреннего подвижного и наружного неподвижного конусов с гладкими и ребристыми поверхностями;

б) расположение конусов образуют с корпусом гранулятора резервуар для хранения и подачи жидкого связующего или пара;

в) для уменьшения застойной зоны и направления движения материала под прессующие валцы в верхней части корпуса установлена вибрирующая воронка с наклонными бортами и др.

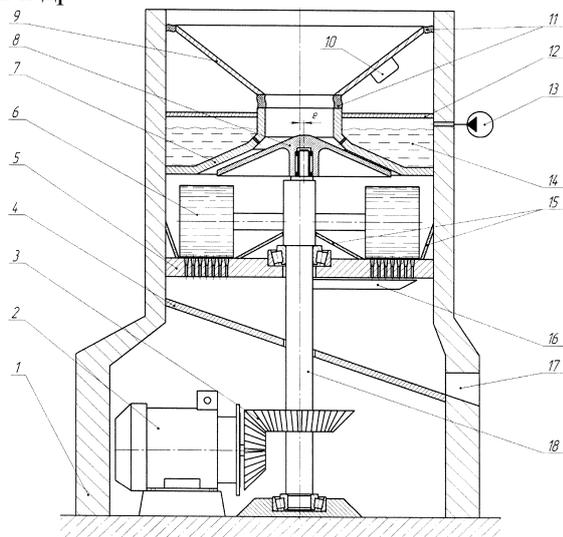


Рис. 3. Гранулятор волокнистых материалов:

1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 – механическая передача; 4 – наклонный стол; 5 – неподвижная дисковая матрица; 6 – валцы; 7 – наружный неподвижный конус; 8 – внутренний подвижный конус; 9 – загрузочная воронка; 10 – высокочастотный генератор; 11 – упругие элементы; 12 – герметизирующая крышка; 13 – насос; 14 – резервуар; 15 – наклонные борта; 16 – нож; 17 – выгрузочное отверстие.

Для брикетирования техногенных материалов с низкой насыпной массой и малой сыпучестью (техногенные волокнистые материалы, отходы вермикулитового и деревообрабатывающего производства, целлюлозно-бумажные отходы и др.) нами разработан способ формования порошкообразных и вязкопластичных техногенных материалов с малой насыпной массой и пресс-валковый агрегат для его осуществления [12] (ПВА, Рис. 4, Патент РФ № 2473421).

При проведении научных исследований и выполнении конструкторско-технологических разработок были решены следующие задачи:

а) разработаны специальные устройства (валковый и вибро-щечковый уплотнители) для предварительного уплотнения шихты, что обеспечивает равномерное питание и распределение шихты по ширине формирующих элементов, обеспечивает возможность варьирования давления прессования в вальцах;

б) за счет устройств постадийного уплотнения техногенных материалов обеспечивается удаление газообразной фазы из рыхлой малосыпучей шихты с низкой насыпной массой на стадии предподготовки, что исключает запрессовку воздуха в прессуемые тела и появление в них трещин;

в) за счет использования желобково-зубчатой формы формирующих элементов, а также большего давления прессования увеличена производительность пресс-валкового агрегата на 15-20% и повышено качество спрессованных брикетов.

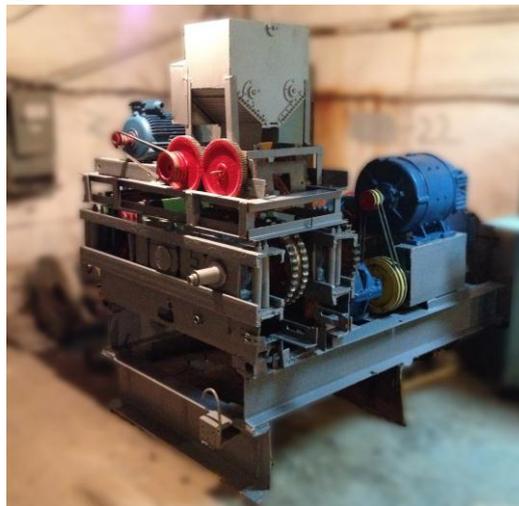


Рис. 4. Пресс – валковый агрегат с устройствами для предварительного уплотнения шихты

Для прессования порошкообразных материалов с различными физико-механическими характеристиками разработана новая конструкция вальцевого пресса с протяженной зоной уплотнения материала и съемными формирующими элементами [13] (Рис. 5, Патент РФ № 2204486).

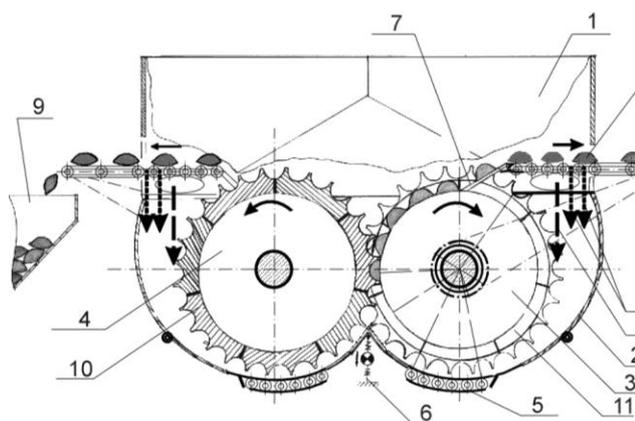


Рис.5. Конструкция вальцевого пресса с протяженной зоной предварительного уплотнения шихты:

1 – загрузочный бункер; 2 – дугообразная пластина протяженной зоны уплотнения; 3,4 – вальцы; 5 – бесконечная лента; 6- виброуплотняющее устройство; 7 – очистная гребенка; 8 – устройство возврата просыпи и удаления брикетов; 9 – бункеры готовой продукции; 10 – съемные формующие элементы зубчатого типа; 11 – съемные формующие элементы желобково-зубчатого типа.

Разработанная конструкция вальцевого пресса с протяженной зоной предварительного уплотнения имеет следующие преимущества:

а) имеет высокий коэффициент предварительного уплотнения шихты  $k_{упл.}=2,5-3$  за счет

протяженных зон обезвоздушивания и деформирования материала;

б) обеспечивает высокую производительность в виду наличия двухстороннего потока шихты и использования каждого из вальцов в виде формующего органа;

в) повышает выход качественной готовой продукции за счет возврата просыпи в зону формования;

г) обеспечивает высокое качество спрессованных брикетов за счет наличия протяженной зоны предварительного уплотнения шихты (обезвоздушивания, эффективной упаковки частиц при вибровоздействии, снижения величины упругой деформации спрессованных тел после снятия напряжений – релаксации напряжений), а также за счет надежного выхода брикетов из желобов формующих элементов при использовании специальных устройств;

д) увеличивает степень уплотнения шихты (качество брикетов) из-за протяженного времени динамического воздействия на уплотняемый материал, выдержки его под давлением и снижения, соответственно, величины упругих деформаций после снятия напряжений и др.

Полученная продукция: сферообразные и цилиндрические гранулы, спрессованные брикеты (рис. 6 а, б, в) могут быть использованы для решения ряда инновационных технологических задач и производства новых видов продукции.



Рис. 6. Сформованные гранулы и брикеты в ВЦГ (а), ПВЭ (б), ПВА (в)

Таким образом, проведенный нами комплекс теоретических, конструкторско-технологических и экспериментальных исследований позволил разработать высокоэффективные агрегаты для компактирования техногенных материалов с различными физико-механическими свойствами.

*\*Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента РФ (Код проекта НШ-588.2012.8), а также Министерства образования и науки РФ в рамках программы стратеги-*

*ческого развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 г. (2011 / ПР-146).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Губанов Л.И. Рециклирование материалов из отходов и осадков сточных вод при повторном использовании в производстве / Л.И. Губанов, А.Ю. Зверева, В.И. Зверева // Учебное пособие. Н. Новгород, 2009. 405 с.

2. Назаров В.И. Переработка и утилизация дисперсных материалов и твердых отходов / В.И. Назаров, Д.А. Макаренков, Г.В. Четвертков и др. / Учебное пособие М.: Альфа-М, 2014. 462 с.
3. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления: справочное издание / Под ред. Б.Б. Бобовича.- М.: Интермет Инжиниринг, 2000. - 496 с.
4. Никитин Д.П. Окружающая среда и человек / Д.П. Никитин, Ю.В. Новиков. М.: Высшая школа, 2000. 240 с.
5. Севостьянов В.С. Техника и технология утилизации техногенных материалов керамзитового производства / В.С. Севостьянов, А.И. Нестерцов, С.В. Свергузова и др. «Строительные материалы». 2006. №11. С.17-19.
6. Ильина Т.Н. Процессы агломерации в технологиях переработки дисперсных материалов : Монография / Т.Н. Ильина. – Белгород : Изд. БГТУ, 2009. 229 с.
7. Ильина Т.Н. Конструктивно-технологическое совершенствование агрегатов для гранулирования порошкообразных материалов / Т.Н. Ильина, М.В. Севостьянов, Е.А. Шкарпеткин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №2. С. 100 – 102.
8. Патент № 2412753 РФ. Вибрационно-центробежный гранулятор / Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Уральский А.В., Шкарпеткин Е.А.; заявл. 25.09.09; опубл. 27.02.2011, Бюл. №6.
9. Патент № 2207247 Р.Ф., В 29 В 9/06/ Пресс-валковый экструдер./ Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Севостьянов М.В. и др.-опубл. 27.06.2003, Бюл. №18.
10. Свидетельство на полезную модель № 30244 «Многоцелевой гранулятор» Авторы: Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Севостьянов М.В. и др.-Опубл. 27.06.2003, Бюл. № 18.
11. Патент № 135539 Р.Ф. МПК В01J 2/20 /Гранулятор волокнистых материалов Севостьянов М.В., Ильина Т.Н., Осокин А.В., Севостьянов В.С., Сабитов Р.А.; заявитель и патентообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова. - № 2013130468/05; заявл. 02.07.2013; опубл. 20.12.2013, Бюл. №35. - 2с.
12. Патент № 2473421 Р.Ф. МПК В28В 3/12. Способ формования техногенных материалов и пресс-валковый агрегат для его осуществления / С.Н. Глаголев, В.С. Севостьянов, С.В. Свергузова, Л.И. Шинкарев, М.Н. Спиринов, Д.Д. Фетисов, М.В. Севостьянов, Ж.А. Свергузова, заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова, опубл. Бюл. №3 27.01.2013 – 10с.
13. Патент № 2204486 Р.Ф. 7 В 30 В 11/18, В 28 В 3/14/ Вальцовый пресс для брикетирования порошкообразных материалов./ Севостьянов В.С., Зубаков А.П., Бондаренко В.Н., Новиков Э.В., Севостьянов М.В.- Опубл.20.05.2003 Бюл. № 14.