

Глаголев С. Н., д-р экон. наук, проф.,
Севостьянов В. С., д-р техн. наук, проф.,
Гриджин А. М., д-р техн. наук, проф.,
Трубаев П. А., д-р техн. наук, проф.,
Севостьянов М. В., канд. техн. наук, доц.,
Филатов В. И., н. с.,
Кощуков А. В., аспирант.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ И СУШКИ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

atlax@mail.ru

В настоящее время стало актуально создание небольших малотоннажных технологических комплексов для производства и переработки различных материалов строительной индустрии. Комплексная переработка сырьевых и техногенных материалов, а также создание безотходных производств - одно из важнейших направлений развития различных отраслей промышленности. Наиболее рациональный способ по утилизации техногенных материалов заключается в его компактировании в сформованные тела, с последующей их сушкой в сушильных агрегатах. Наиболее широкое распространение получили барабанные сушилки, которые обладают простотой конструкции, большой производительностью, надежностью в эксплуатации и другими положительными показателями. Разработанная нами конструкция барабанно-винтового сушильного агрегата (БВСА) обладает рядом преимуществ по сравнению с другими сушильными агрегатами, что позволяет сэкономить на сушке гранулированных и сыпучих материалов и использовать агрегат в малотоннажных технологических комплексах.

Ключевые слова: малотоннажные технологические комплексы; техногенные материалы; барабанно-винтовой сушильный агрегат, теплопередача, сушка.

Одним из приоритетных направлений развития экономики страны являются инновационные технологии и научно-техническое предпринимательство в сфере малого и среднего бизнеса. При этом большое внимание уделяется вопросам комплексной переработки техногенных материалов (ТМ) с различными физико-механическими характеристиками и созданию малотоннажных технологических комплексов [1,2]. Одним из основных технологических пределов при переработке и утилизации ТМ является процесс компактирования порошкообразных или пылевидных материалов в сформованные тела заданной геометрической формы и размеров (окатанные или экструдированные гранулы, спрессованные брикеты или пластины и др.) с последующей их сушкой в сушильных агрегатах [3]. Известны различные технологические способы сушки сформованных тел и технические средства для их реализации. Проведенный классификационный анализ показал, что наибольшее распространение получили: камерные, туннельные, ленточные сушилки, сушилки с кипящим (псевдооживленным) слоем, пневматические и барабанные сушилки, вакуум-сушильные шкафы, аппараты сверхвысокой частоты (СВЧ) и др., но наиболее широкое распространение получили барабанные сушилки, характеризующиеся простотой конструкции, большой производи-

тельностью, надежностью в эксплуатации и другими показателями[4,5,6]. Однако, несмотря на большое многообразие сушильных агрегатов, при дальнейшем развитии малотоннажных технологических комплексов (МТК) необходимо учитывать специфические условия тепловой обработки сформованных ТМ и возможности их дальнейшего совершенствования.

К числу приоритетных направлений конструктивно-технологического совершенствования сушильных агрегатов непрерывного действия следует отнести:

- малые габаритные размеры, компактность и низкая металлоемкость;
- бесшумность в работе и возможность компенсации (демпфирования) динамических нагрузок при работе агрегата;
- отсутствие устройств для восприятия осевых нагрузок;
- обеспечение достаточного времени нахождения материала в зоне теплообмена;
- возможность интенсивного паросъема или реализация вакуумной сушки;
- возможность реализации в одном агрегате нескольких технологических процессов: микрогранулирования, классификации, капсулирования и др.

Отдельным направлением развития технических средств механо-термической обработки

мелкокусковых, зернистых и гранулированных материалов является разработка барабанно-винтовых сушильных агрегатов (БВСА) комбинированного действия (рис. 1-3). Основными преимуществами БВСА по сравнению с вышеперечисленными являются: сравнительная простота конструкции; повышенный удельный влагоём с единицы объема сушильного барабана за счет большой поверхности теплообмена; высокая производительность; возможность изме-

нения скоростных потоков перемещения материала по зонам, в зависимости от их остаточной влажности; возможность сочетания различных физических методов комбинированного воздействия на обрабатываемый материал (сушка теплоносителем, вакуумирование, СВЧ и др.); возможность сочетания микрогранулирования и сушки и др. [7].

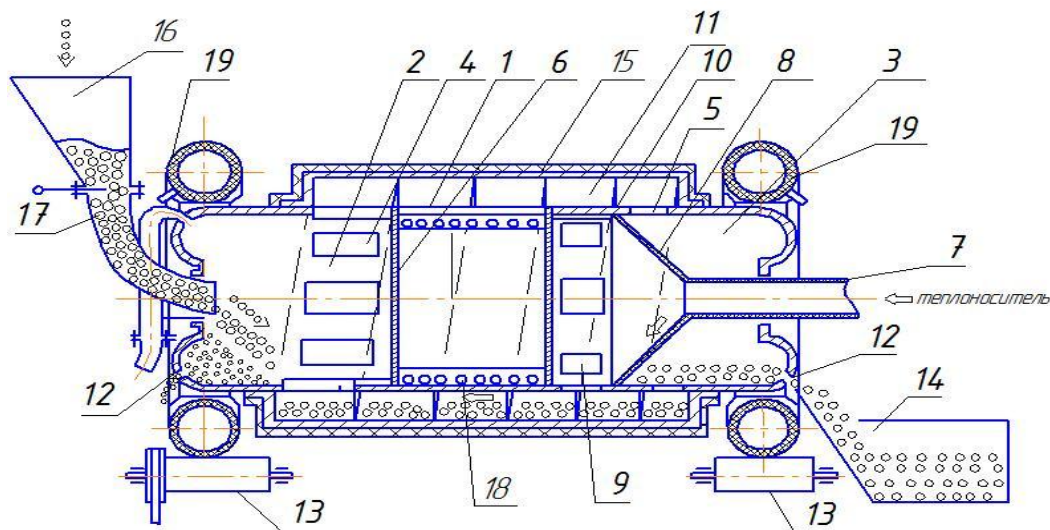


Рис. 1. Барабанно-винтовой сушильный агрегат

1- барабан; 2,3-загрузочная и выгрузочная камеры; 4,5-окна; 6-перегородки; 7-патрубок для подачи теплоносителя; 8-раструб; 9-выгрузочные отверстия; 10-открытый конус; 11-геликоид; 12-выгрузочные окна; 13- опорные ролики; 14-выгрузочный бункер; 15-термоизоляция; 16-загрузочный бункер; 17-материал; 18-электронагреватели; 19- амортизирующие устройства

Агрегат (рис.1) представляет собой горизонтально расположенный цилиндрический барабан 1, опирающийся по краям на опорные ролики 13, от которых получает вращение. Барабан разделен перегородками 6 на камеры, крайние из которых загрузочная 2 и выгрузочная 3. При этом последняя имеет с торца выгрузочные окна 12. Наружную поверхность барабана от загрузочной части до выгрузочной охватывает неподвижно закрепленный на барабане полой нормальный геликоидальный параллелепипед - геликоид 11 с отверстиями, выполненными на первом, предпоследнем и последнем витках. В выгрузочной камере встроен патрубок для подачи теплоносителя 7, заканчивающийся раструбом 8 для равномерного распределения потока теплоносителя, а сам агрегат термоизолирован 15, для максимального снижения потери тепла. Усовершенствованным вариантом БВСА является барабанно-винтовая СВЧ-сушилка (рис. 2), которая предназначена для сушки сыпучих материалов и гранул [8], с использованием сверхвысоких частот электромагнитного воздействия.

Сушилка представляет собой стальной ци-

линдрический барабан 10, опирающийся на ведущий 9 и ведомые 12 ролики. Барабан закрывается торцевыми крышками 2 и 14, имеющими узлы герметизации 5. Внутри барабана установлен неподвижно закрепленный волноводно-щелевой резонансный излучатель 11, подключенный к СВЧ-генератору 7. Для удаления испаренной влаги и нагнетания горячего воздуха сушилка снабжена устройствами подачи нагретого воздуха 15 и удаления паро-воздушной смеси. Влажный материал подается в сушилку за счет транспортирующего шнека 4, а перемешивание - за счет лопастей 3. Для более интенсивного влагоотделения внутри барабана создается разрежение через устройство удаления паро-воздушной смеси 6. Разгрузка материала осуществляется через запредельные волноводы 13.

Нами разработана также конструкция - «Барабанно-винтовой сушильный агрегат для сушки гранулированных и экструдированных техногенных материалов» (рис.3) [9,10].

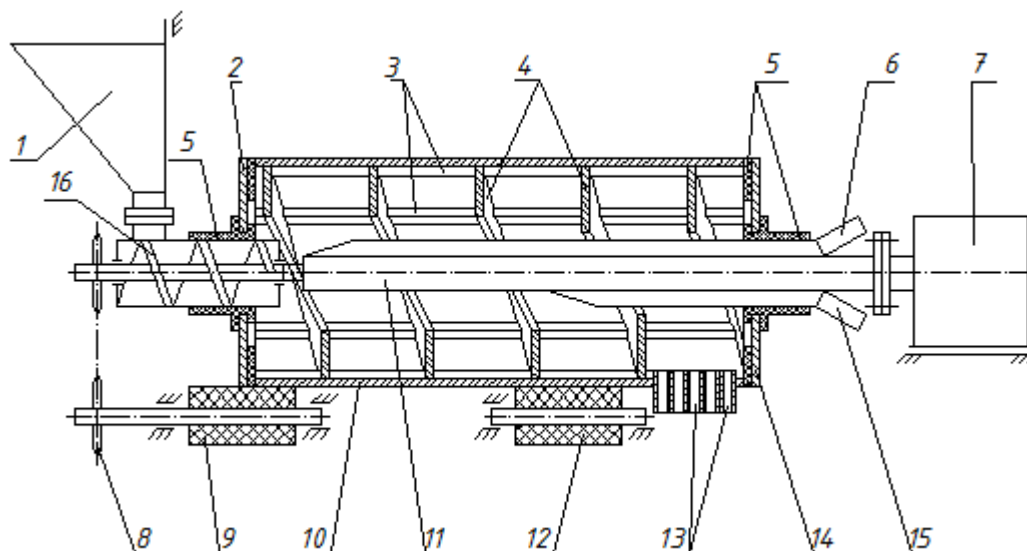


Рис. 2. Барабанно-винтовая СВЧ-сушилка

1 - приемный бункер, 2,14 - крышки торцевые, 3 - лопасть перемешивающая, 4 - шнек транспортирующий, 5 - герметизирующее уплотнение, 6 - устройство удаления паро-воздушной смеси, 7 - СВЧ-генератор, 8 - привод, 9 - ролик ведущий, 10 - барабан, 11 - волноводно-щелевой резонансный излучатель, 12 - ролик ведомый, 13 - запрельные волноводы, 15 - устройство подачи горячего воздуха, 16- шнек питающий

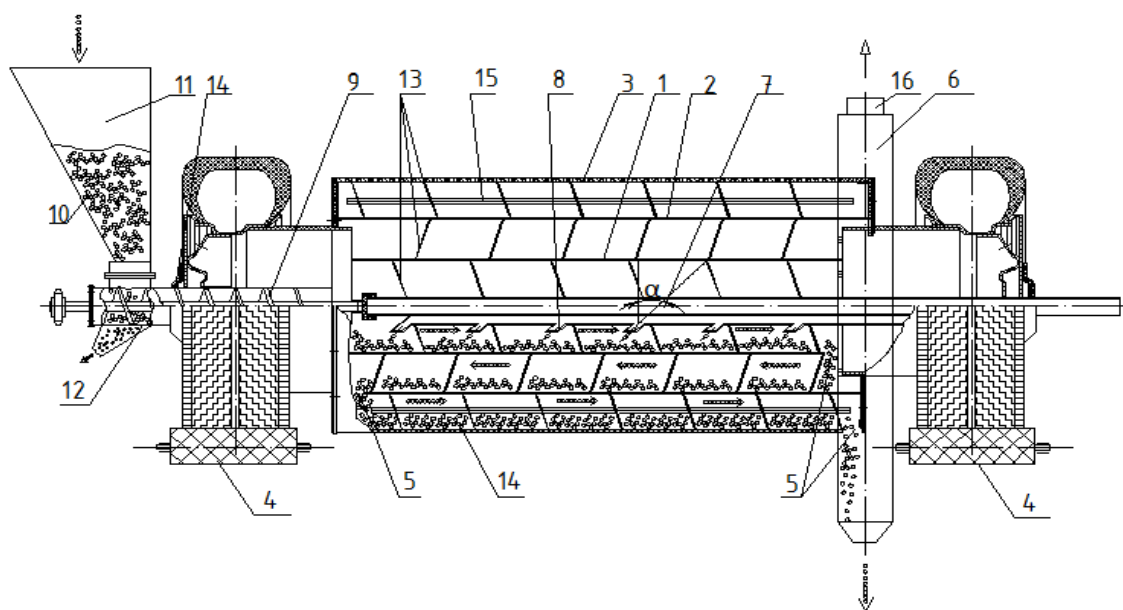


Рис. 3. Барабанно-винтовой сушильный агрегат для сушки гранулированных и экструдированных техногенных материалов.

1- внутренний барабан; 2- средний барабан; 3-внешний барабан; 4- опорные ролики; 5- выгрузочные окна; 6- выгрузочная камера; 7-патрубок; 8-раструбы; 9- шнековый питатель; 10-материал; 11-загрузочный бункер; 12-сетка; 13-винтовые лопасти; 14- амортизирующие устройства; 15- пересыпные лопатки; 16-сбрасывающий патрубок.

БВСА содержит три барабана 1,2,3, концентрично расположенные и жестко скрепленные между собой. Вращающийся барабан опирается на опорные ролики 4 через амортизирующие устройства 14, позволяющие обеспечивать равномерность и плавность хода в зависимости от заданной нагрузки барабана. Во внутренний барабан 1 встроены патрубков 7, заканчи-

вающийся раструбами 8, которые установлены под углом $\alpha=45^\circ$ для максимально эффективного обдува материала, а с противоположной стороны размещен шнековый питатель 9, который обеспечивает непрерывный и равномерный процесс загрузки материала через загрузочный бункер 11. Часть цилиндрической поверхности шнекового питателя выполнена перфорирован-

ной 12, что обеспечивало классификацию материала на начальной стадии загрузки. Для наиболее быстрого удаления сушильного агента на верхнем торце выгрузочной камеры 6 вертикально закреплен патрубок 16.

С учетом выполненных научно-

технических и конструкторско-технологических разработок нами спроектирован и изготовлен малотоннажный технологический комплекс для производства экструдированных техногенных материалов (рис. 4,5).

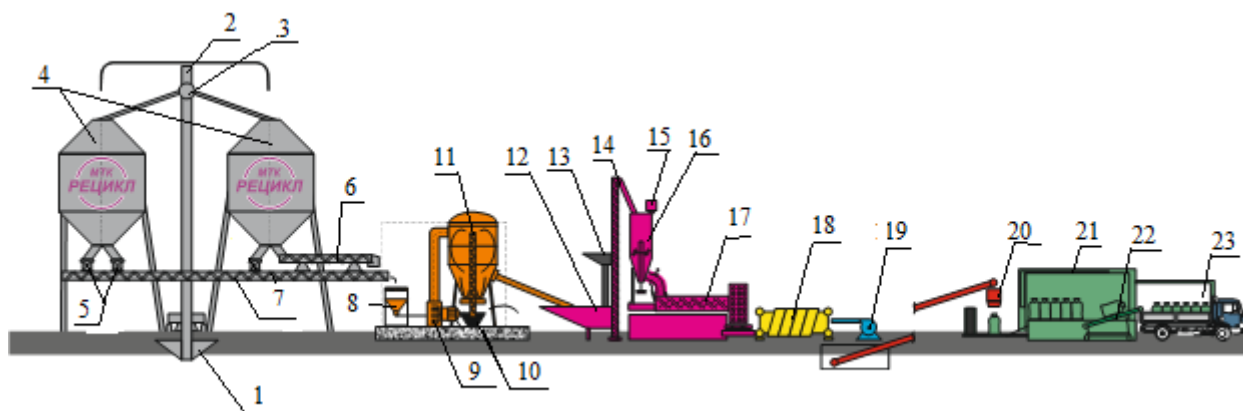


Рис. 4. Малотоннажный технологический комплекс для производства экструдированных техногенных материалов

1-приемный бункер сырьевых компонентов; 2- элеватор (нория); 3- распределительное устройство; 4- бункера компонентов; 5- ячейковый питатель зерновых материалов; 6- шнековый питатель порошкообразных материалов; 7- шнековый питатель мелкозернистых материалов; 8- приемный бункер измельчения; 9- измельчитель ударного действия; 10- приемный бункер шнекового смесителя; 11- бункер-шнековый смеситель; 12- приемный бункер основной смеси; 13- приемный бункер микродобавок; 14- вертикальный шнек; 15- смеситель-гомогенизатор увлажненной смеси; 16- емкость связующего; 17- пресс-валковый экструдер; 18- барабанно-винтовой сушильный агрегат; 19- вентилятор сушильного агрегата; 20- весовой дозатор; 21- склад готовой продукции; 22- ленточный конвейер; 23- автотранспорт с готовой продукцией



Рис. 5. Опытно-промышленный технологический комплекс для производства экструдированных техногенных материалов

Технологический комплекс предназначен для производства экструдированных техногенных материалов различного технологического назначения: при утилизации пылеуноса сушильных и обжиговых агрегатов (вращающихся печей) цементного, известкового, керамзитового и других производств и использование гранул для

раскисления почв в агро-промышленном секторе; для получения изоляционных заполнителей из отходов перлитового, вермикулитового, целлюлозно-бумажного производства; для производства топливо-содержащих пеллет, используемых в качестве нетрадиционных видов топлива при выработке тепловой и электрической энер-

гии в теплоэлектрогенераторах; для получения экструдированных материалов-удобрений пролонгированного действия из отходов агропромышленного и животноводческого комплексов и фиброаппенителей и др.

Опытно промышленный комплекс содержит следующие технологические пределы:

А – загрузки, хранения, транспортирования и дозирования исходных техногенных материалов;

Б – классификация и измельчения техногенных материалов (в случае необходимости);

В – гомогенизации композиционной смеси и смещения ее связующим;

Г – экструдирования подготовленной шихты и сушки сформованных гранул;

Д – отсева просыпи, транспортирования,

взвешивания и упаковки готовой продукции.

Технологический модуль для экструдирования техногенной шихты и сушки сформованных гранул содержит БВСА (рис. 3, 6), который был создан для повышения эффективности процессов тепломассообмена в сушильном барабане, повышения его тепловой мощности и производительности технологической линии в целом.

Барабанно-винтовой сушильный агрегат имеет следующие технические характеристики:

- частота вращения барабана, $n_6=(2-7)$ об/мин;

- диаметр винтового канала БВСА, $D_{кан}=0,2$ м;

-длина БВСА, $L_{БВСА}=1,3$ м;

-диаметр барабана БВСА, $D_{БВСА}=0,62$ м;

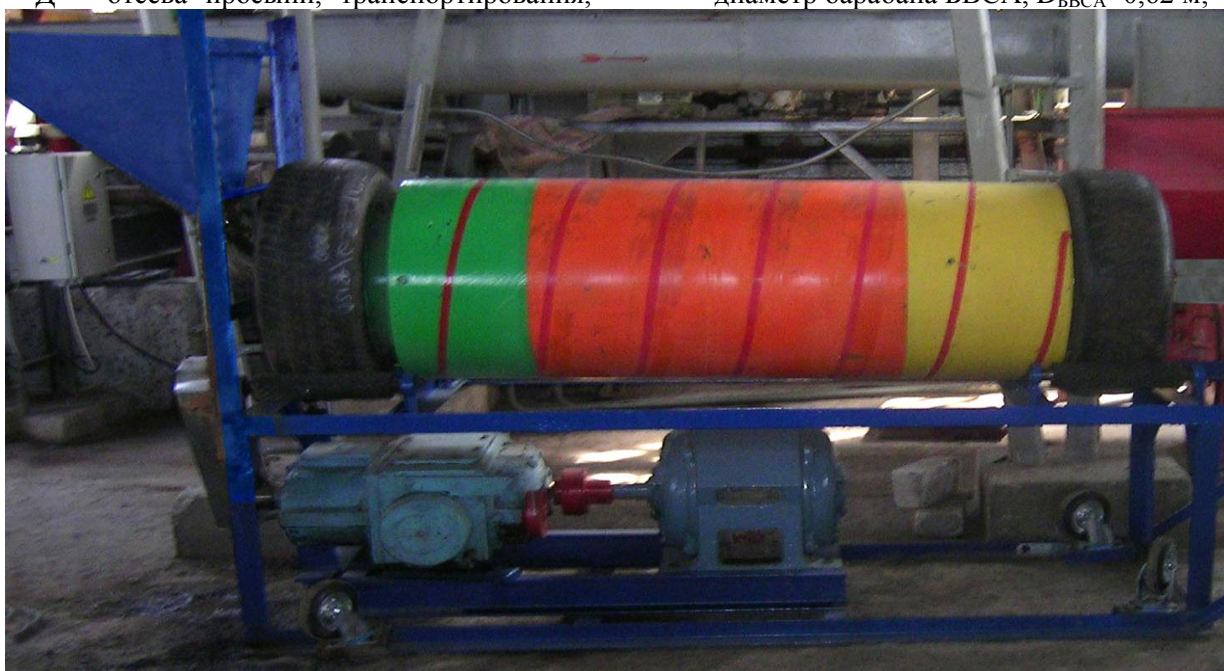


Рис. 6. Барабанно-винтовой сушильный агрегат комбинированного действия

Расчет основных теплотехнических и конструктивно-технологических параметров разработанных нами БВСА производим на основании классических положений теории сушки. В рассматриваемом барабанно-винтовом сушильном агрегате за счет трехкратного прохождения материала по длине барабана увеличена площадь теплообмена. Но при этом за счет уменьшения размера лопаток и поперечного сечения для каждого отдельного хода уменьшается коэффициент теплопередачи. Так как опытные данные по эксплуатации таких агрегатов отсутствуют, оценим изменение удельного объемного влагосъема по имеющимся методикам расчета. Площадь теплообмена в барабанно-винтовом агрегате будет определяться диаметром внутренних барабанов d_1 , d_2 и d_3 . Если диаметр агрегата D то диаметры барабанов следующие: $d_1 = D$; $d_2 = 0,8D$; $d_3 = 0,5D$. Таким образом общая площадь

поверхности барабанов:

$$S = 0,25\pi[d_1^2 + (1 - a)d_2^2 + (1 - a)d_3^2], \quad (1)$$

где a - доля барабана, занятая выгрузочными окнами (5%),

$$S = 1,8 \cdot 0,25\pi D^2, \quad (2)$$

и площадь теплообмена будет в 1,8 раз больше, чем в сушилке с одним барабаном с таким же диаметром и длиной.

Суммарный объемный коэффициент теплообмена в барабанных сушилках α_v включает три составляющие:

$$\alpha_v = \alpha_{v1} + \alpha_{v2} + \alpha_{v3}, \quad (3)$$

где α_{v1} - объемный коэффициент теплообмена от теплоносителя к частицам материала, падающего с лопаток; α_{v2} - объемный коэффициент теплоотдачи от газа к материалу, лежащему на лопатках; α_{v3} - объемный коэффициент теплоотдачи от насадки к материалу.

Произведем расчет коэффициентов теплоотдачи согласно методике, приведенной в работах [11,12]. Для стандартной барабанной сушилки расчет процесса сушки экструдированных техногенных материалов осуществляется нагретым воздухом.

Для рассматриваемых условий составляющие общего коэффициента теплообмена выражения (3) будут равны 520, 112 и 140 Вт/(м²·К) и суммарный объемный коэффициент теплообмена α_v составит 772 Вт/(м²·К).

Изменение коэффициента теплообмена в барабанно-винтовом сушильном агрегате будет определяться изменением следующих параметров:

- условный проходной диаметр поперечного сечения уменьшится в 1,6-2 раза;
- скорость газа возрастет в 1,6-2 раза;
- размер лопаток уменьшится в 2-4 раза.

- параметр В [11], характеризующий внутреннее устройство барабана, уменьшится в 1,6-2,5 раза. Исходя из этих изменений, значение коэффициента α_{v1} уменьшится на 30-40%, коэффициент α_{v2} - на 50%, и коэффициент α_{v3} останется без изменений. Суммарный коэффициент теплопередачи составит 500-560 Вт/(м²·К) и с учетом увеличения площади теплообмена удельный объемный влаговъем в барабанно-винтовом сушильном агрегате по сравнению со стандартной барабанной сушилкой возрастет на 20-30%, что позволяет на такую же величину увеличить её производительность по сравнению с традиционными барабанными сушилками аналогичного размера.

В ходе проделанной работы было выявлено, что БВСА имеет следующие преимущества и возможности: равномерность загрузки материала, высокая производительность, малые габаритные размеры (уменьшенная металлоемкость), увеличен контакт высушиваемого материала с теплоносителем, а следовательно, производительность и эффективность сушильного агрегата, низкие тепловые потери, увеличена равномерность процесса сушки, обеспечена классификация материала на начальной стадии загрузки, возможность сочетания различных физических методов комбинированного воздействия на обрабатываемый материал (вакуумирования, капсулирования, СВЧ и др), повышена эффективность процесса сушки и износостойкость опорных узлов агрегата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перерва П. Г., Глаголев С. Н., Меховик С. А. Основы инновационного менеджмента и экономики инноваций, Ч.1. Белгород-Харьков: Изд. БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. 545 с.
2. Гридчин А. М., Севостьянов В. С., Уральский А. В. Энергосберегающая техника и технологии для комплексной переработки природных и техногенных материалов Эковестник России. 2010. №1. С.68-79.
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. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М: Изд. Химия, 1984. 320 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М: Изд. Химия, 1971. 784 с.
6. Классен П. В // И. Г. Гришаев, И. П. Шомин. Гранулирование. М: Изд. Химия, 1991. 240 с.
7. Патент РФ 2005135035/06, 11.11.2005. Гридчин А. М., Севостьянов В. С., Лесовик В. С., Чашин Ю. Г., Минко В. А., Макридин А. А., Чашин Г. П. Барабанно-винтовой сушильный агрегат//Патент России №2301385.2007. Бюл. №13.
8. Патент РФ 2012133038/06, 01.08.2012. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Гридчин А. М, Воронкин А.С., Маслов В.А., Мальков А.В. Барабанно-винтовой СВЧ-сушильный агрегат непрерывного действия для сушки сыпучих и гранулированных материалов// Патент России № 2516063.2014. Бюл. №14.
9. Заявка на изобретение РФ №2013138030, 13.08.2013. Севостьянов В. С., Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Кошуков А. В., Бабуков В. А., Емельянов Д. А. Барабанно-винтовой сушильный агрегат для сушки гранулированных и сыпучих материалов.
10. Кошуков А. В, Бабуков В. А., Емельянов Д. А. Агрегат для сушки гранулированных и сыпучих материалов// Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов. 2013. Ч I. С. 121-123.
11. Михайлов Н. М. Вопросы сушки топлива на электростанциях. М.: Изд. Госэнергоиздат, 1957. 152 с.
12. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок. М.: Изд. Госэнергоиздат, 1962. 320 с.