

**РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ СМЕСИТЕЛЬ
КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ
ДЛЯ ГОМОГЕНИЗАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ СМЕСЕЙ**

**М. В. Севостьянов¹, А. М. Проценко^{1✉},
В. С. Севостьянов¹, Д. А. Бушуев²**

*Кафедра технологических комплексов, машин и механизмов (1),
nastyu12rudchenko8@gmail.com; кафедра технической кибернетики (2),
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия*

Ключевые слова: гомогенизация; моделирование; ресурсосбережение; рециркуляционный смеситель комбинированного действия; рециклинг.

Аннотация: Представлена конструкция рециркуляционного смесителя комбинированного действия. Разработаны лопастные механизмы в виде П-образного устройства и устройства со сферообразными полостями. Приведен расчет мощности привода камеры смешения добавок и камеры окончательной гомогенизации рециркуляционного смесителя комбинированного действия. Проведены экспериментальные исследования процесса смешения рамочными П-образным и дугообразным с сетчатой поверхностью устройствами. Получены графические зависимости коэффициента заполнения φ' от частоты вращения вала n . Разработан алгоритм проектирования рециркуляционного смесителя комбинированного действия. Показаны виды товарной продукции из композиционных смесей с гетерогенными техногенными компонентами.

Введение

В настоящее время одной из актуальных проблем в строительной индустрии, химической, топливной и других отраслях промышленности является получение гомогенных композиционных смесей (КС) с гетерогенными техногенными компонентами (ГТК). Это существенным образом расширяет спектр новых материалов и изделий из них с заданными физико-механическими характеристиками, способствует развитию инновационных ресурсосберегающих технологий и решению существующих проблемных задач экологии [1 – 3]. В связи с тем что техногенные компоненты композиционных смесей имеют различные физико-механические характеристики, такие как повышенный коэффициент трения; влагоемкость; низкую исходную плотность; сыпучесть; малую пластичность; высокую удельную поверхность; различный гранулометрический состав и другие, распределение ГТК по всему объему смеси затруднено.

Проведенный классификационный анализ различных строительных смесей, в том числе на примере сухих строительных смесей, показывает их многообразие и широкие области использования, специфические особенности в зависимости от технологического назначения [4 – 7] (рис. 1).



Рис. 1. Классификация сухих строительных смесей и смесителей

Быстроразвивающиеся ресурсосберегающие технологии и технические средства свидетельствуют о необходимости разработки и создания специального смесительного оборудования с универсальными механо-технологическими возможностями, обеспечивающими высокое качество получаемой продукции [8 – 10].

С учетом всестороннего анализа отечественных и зарубежных конструкций агрегатов для гомогенизации техногенных материалов, а также вышеуказанных заключений проведены конструкторско-технологические разработки, теоретические и экспериментальные исследования процессов смешения по созданию рециркуляционного смесителя многофункционального действия. Исследования направлены на реализацию постадийных процессов гомогенизации КС с ГТК, макро- и микросмешения основных компонентов, расширение технологических возможностей агрегата и совершенствование конструкций рабочих органов [11, 12].

Рециркуляционный смеситель комбинированного действия обеспечивает следующие преимущества (рис. 2):

- многофункциональность при получении различных составов композиционных смесей с использованием гетерогенных компонентов;
- постадийное макро- и микросмешение компонентов с возрастающей интенсификацией процесса смешения на каждой стадии;
- использование в камерах смесителя винтообразных, П-образных и сферобразных рабочих органов с развитым геометрическим профилем интенсифицирующего действия;
- реализация однозаходными и двухзаходными винтовыми устройствами (ДВУ) внутреннего рециклинга гомогенизируемой смеси и разрушение застойных зон;
- возможность варьирования схем установки рабочих органов в рециркуляционном смесителе с получением гомогенных композиционных смесей различного технологического назначения [11].

Рециркуляционный смеситель оснащен загрузочным бункером 1 исходных компонентов и камерами, имеющими перемешивающие устройства различного геометрического профиля, размеров и технологического назначения (см. рис. 2): однозаходными винтовыми устройствами рециркуляционного действия 6 – камера макросмешения 2; двухзаходными винтовыми устройствами рециркуляционного действия 7 – камера микросмешения 3; камера смешения добавок 4; камера интенсивной гомогенизации смесей 5.

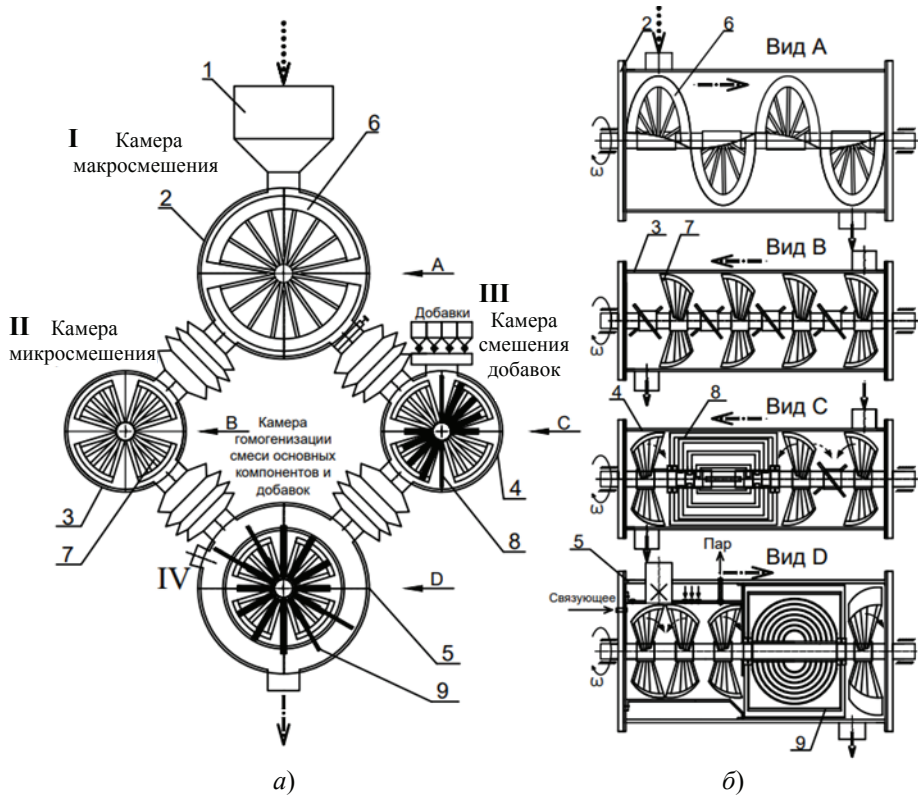


Рис. 2. Рециркуляционный смеситель комбинированного действия:
а – общий вид; *б* – камеры гомогенизации

Кроме того, камеры рециркуляционного смесителя оснащены П-образным устройством 8 и сферообразным устройством интенсифицирующего действия 9 (рис. 3). Каждое из вышеуказанных устройств выполняет заданные технологические функции, а их наличие учитывается при расчете потребляемой мощности приводов камер рециркуляционного смесителя [13].

Процесс гомогенизации смеси гетерогенных добавок реализуется в камере 4, содержащей как питающие винтовые устройства двухстороннего действия, так и пару ДВУ рециркуляционного действия.

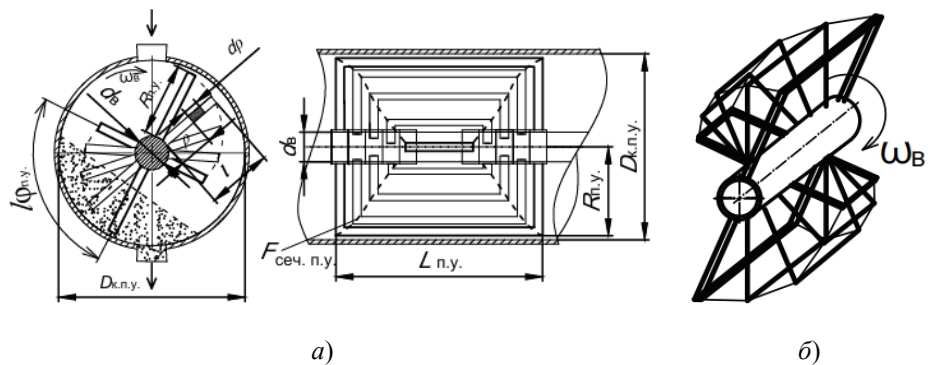


Рис. 3. Схема П-образного устройства интенсифицирующего действия:
а – горизонтальные проекции; *б* – аксонометрическое изображение

Для реализации более сложного технологического процесса гомогенизации разнокомпонентных добавок (фибронеполнителей, ультрадисперсных или поризованных компонентов, суперпластификаторов, различных пигментов-красителей, технического углерода [14] и др.) целесообразно использовать высокоскоростной режим рабочих органов камер III и IV.

В этом случае кинематика привода предусматривает высокоскоростное вращение приводного вала, то есть исключение редуктора и цепной передачи, передающих $M_{кр}$ на входной вал камеры III.

Мощность привода в данном случае складывается из следующих составляющих, Вт:

$$N_{III} = \frac{N_{ДВУ_{питIII}} + N_{инт. дIII} + N_{рецIII} + N_{трIII}}{\eta_{III}}, \quad (1)$$

где $N_{ДВУ_{питIII}}$ – мощность, расходуемая питающим ДВУ; $N_{инт. дIII}$ – мощность, затрачиваемая П-образным устройством интенсифицирующего действия; $N_{рецIII}$ – мощность, расходуемая ДВУ рециркулирующего действия; $N_{трIII}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление трения при перемещении смеси вдоль корпуса камеры III; η_{III} – КПД привода камеры III смешения добавок.

Мощность привода, Вт, камеры IV определяется по формуле

$$N_{IV} = \frac{N_{рецIV(dk)} + N_{ДВУ_{питIV(dk)}} + N_{инт. дIV(Dk)} + N_{выгрIV(Dk)} + N_{трIV}}{\eta_{IV}}, \quad (2)$$

где $N_{рецIV(dk)}$ – мощность, расходуемая на рециклинг смеси ДВУ в камере IV диаметром $dk \leq Dk$; $N_{ДВУ_{питIV(dk)}}$ – мощность, затрачиваемая на подачу смеси из камеры рециклинга диаметром dk в устройство интенсифицирующего действия со сферообразными полостями; $N_{инт. дIV(Dk)}$ – мощность, затрачиваемая устройством интенсифицирующего действия со сферообразными полостями, установленным в камере диаметром Dk ; $N_{выгрIV(Dk)}$ – мощность, расходуемая на выгрузку гомогенизуемого материала из камеры IV; $N_{трIV}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения при перемещении смеси в камерах диаметром dk и Dk ; η_{IV} – КПД привода камеры IV.

Значение $N_{инт. дIV(Dk)}$, в дальнейшем $N_{инт. сф}$, можно определить, используя следующие схемы (рис. 3, 4) и расчеты.

При этом, как было указано ранее, учитываем, что для реализации интенсивного внутреннего рециклинга гомогенизуемой смеси использовано специальное объемное устройство со сферообразными смежными полостями (см. рис. 4). Данное устройство не только обеспечивает большую степень свободы (перемещения) гетерогенных частиц в трех координатных осях XYZ, что активно влияет на процесс гомогенизации, но и направленное движение материального потока из одной смежной сферообразной полости в другую через соединяющий их канал.

Таким образом, реализуется интенсивный процесс окончательной гомогенизации по трем направлениям: 1) внутри каждой сферообразной полости; 2) при перемещении из одной смежной полости в другую; 3) при перемещении гомогенизуемой смеси из сферообразных полостей в камеру смешения и обратно.

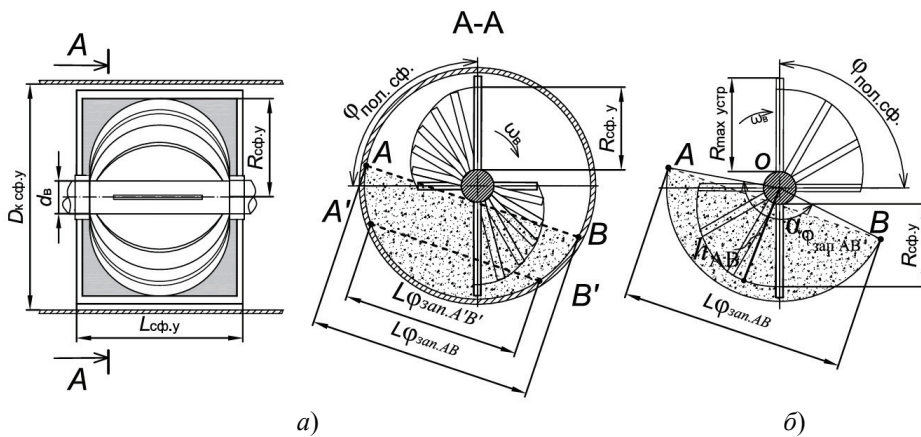


Рис. 4. Схемы устройства интенсифицирующего действия со сферобразными полостями:

а – общий вид; б – схема к расчету $l_{L_{\varphi_{зап}}}$

При этом характерной особенностью разработанного устройства является малый объем занимаемого пространства камеры смешения. Кроме того, данное техническое решение позволяет реализовать также процесс микрогранулирования предварительно увлажненных смесей, что существенно расширяет область их использования. В указанном варианте сферобразные полости (с внутренней стороны поверхности) обрамлены, на дугах, перфорированным материалом. Это позволяет рециркулировать гранулируемый продукт как по внутреннему контуру (в смежных сферобразных полостях), так и по внешнему (просыпи – в камеру смешения). Данное техническое решение расширяет технологические возможности устройства:

а) обеспечивает интенсификацию процесса гомогенизации смеси;

б) реализует при необходимости процесс микрогранулирования смеси с предварительным ее пароувлажнением (или введением пластифицирующих добавок).

Мощность, затрачиваемая устройством интенсифицирующего действия со сферобразными полостями, равна

$$N_{\text{инт.сф}} = 2V_{\text{сф.устр}} K_{\text{зап.сф.устр}} n_{\text{в}} \rho_{\text{см}} g l_{L_{\varphi_{зап}}} k_{\text{сопр}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{зап.сф.устр}}$ – коэффициент заполнения сферобразного устройства, зависящий от «живого сечения» его боковой поверхности, частоты вращения вала $n_{\text{в}}$, а также от коэффициента загрузки камеры смешения (при $K_{\text{зап.сф.устр}} = 0,2 \dots 0,4$; $\varphi_{\text{зап}} = 0,3 \dots 0,5$); $\rho_{\text{см}}$ – насыпная плотность смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение силы тяжести, $\text{м}^2/\text{с}$; $l_{L_{\varphi_{зап}}}$ – длина части окружности, описываемой образующей устройства радиусом $R_{\text{макс.устр}}$ при прохождении через слой материала с коэффициентом заполнения $\varphi_{\text{зап}}$; $k_{\text{сопр}}$ – коэффициент, учитывающий сопротивление слоя смеси при прохождении его сферобразными полостями, $k_{\text{сопр}} = 1,28$ [15].

При коэффициенте заполнения камеры $\varphi_{\text{зап}}$ длина части окружности, описываемой образующей сферобразной полости устройства радиусом $R_{\text{макс.устр}}$ (см. рис. 4), равна

$$l_{L_{\varphi_{\text{зап}} AB}} = \frac{\pi R_{\text{макс устр}} \alpha_{\varphi_{\text{зап}} AB}}{180}, \quad (4)$$

где $\alpha_{\varphi_{\text{зап}} AB}$ – центральный угол, ограниченный дугой AB , °.

При этом хорда AB сегмента определяет коэффициент заполнения камеры смешения $\varphi_{\text{зап}}$, а хорда $A'B'$ – коэффициент заполнения сферообразных полостей устройства после просева материала через их боковую поверхность.

Величины $R_{\text{макс устр}}$ и угла $\alpha_{\varphi_{\text{зап}} AB}$ определяем по формулам:

$$R_{\text{макс устр}} = \frac{l_{AB}^2 + 4h^2}{8h}; \quad \text{tg} \frac{\alpha_{\varphi_{\text{зап}} AB}}{4} = \frac{2h}{l_{AB}}, \quad (5)$$

где l_{AB} – длина хорды сектора, м; h – высота сегмента, м.

Тогда, с учетом указанных значений параметров, выражение (3) принимает вид

$$N_{\text{инт. сф}} = 2(0,033...0,035) \pi^2 R_{\text{макс устр}}^4 n_{\text{в}} \rho_{\text{см}} g \alpha_{\varphi_{\text{макс}}} K_{\text{зап. сф. устр}}. \quad (6)$$

С учетом реального использования гетерогенных компонентов смеси с различными физико-механическими характеристиками (гранулометрическим составом, геометрией частиц, коэффициентами внутреннего и внешнего трения, влажности, сыпучести и др.) интенсивность внутреннего рециклинга может быть увеличена за счет конструктивно-технологического исполнения сферообразных полостей.

Для установления основных закономерностей и изучения процесса гомогенизации смеси проведено моделирование процессов смешения. При исследовании процесса смешения чаще всего применяют физическое и имитационное моделирование. В целях повышения сложно-пространственного воздействия на материал и изучения процесса движения его в рамочном П-образном устройстве проводились экспериментальные исследования с использованием модельной установки периодического режима работы (рис. 5).

Установлено, что с увеличением частоты вращения вала возрастает зона воздействия на перемешиваемую среду l_2 и уменьшаются застойные зоны в торцах барабана смесителя l_1 (см. рис. 5).

Анализ графических зависимостей $l_2 = f(n)$ показывает, что с увеличением частоты вращения вала возрастает линейно и зона воздействия l_2 на перемешиваемую среду. При этом застойные зоны l_1 в торцах барабана смесителя уменьшаются.

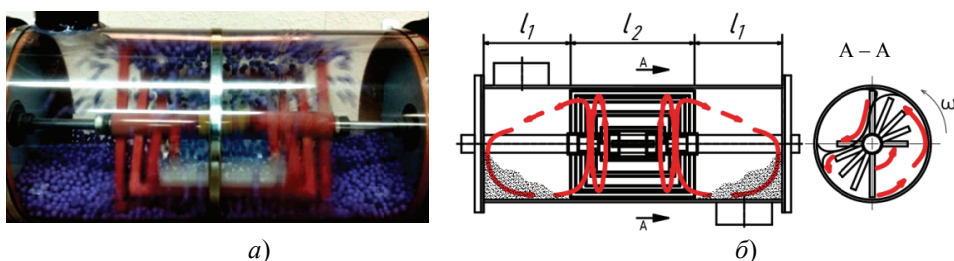


Рис. 5. Съемка процесса гомогенизации смеси рамочным П-образным устройством в барабане с прозрачным корпусом (а) и схема воздействия данного устройства (б)

Кроме того, проведенные исследования показали, что использование рамочного П-образного устройства позволяет регулировать зону l_2 интенсификации процесса гомогенизации за счет изменения частоты вращения вала смесителя. Также рассмотрены варианты применения дополнительных лопастных устройств для организации внутренних потоков и рециклинга материала в барабане смесителя.

Для изучения процесса движения материала внутри рабочих полостей рамочного дугообразного устройства с сетчатой поверхностью проводились экспериментальные исследования с использованием модельной установки (рис. 6).

Установленные закономерности представлены в виде графической зависимости $\varphi' = f(n)$ (рис. 7).

Графическая зависимость $\varphi' = f(n)$ отражает три процесса (I, II, III), при которых:

I – материал больше перекачивается в рабочих полостях, его можно обозначить как «зона окатывания»;

II – материал интенсивно перемещается как внутри рабочих полостей, так и снаружи по стенкам барабана, его можно обозначить как «зона смешения»;

III – материал вытесняется из полостей центробежной силой и прижимается к стенкам барабана, его можно обозначить как «зона центрифугирования».

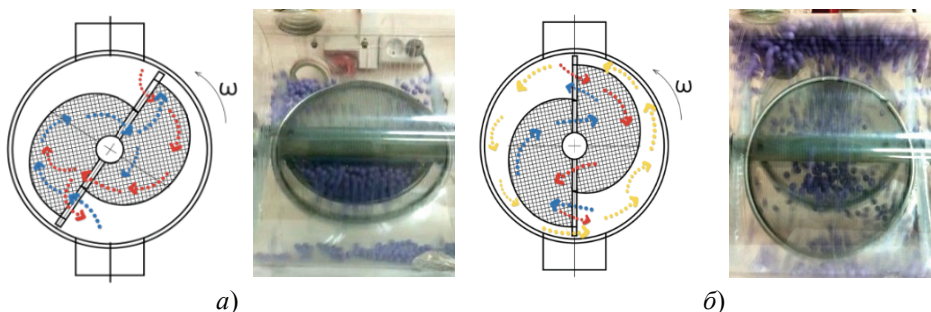


Рис. 6. Схема движения материальных потоков внутри камеры барабана и полостей рамочного дугообразного устройства с сетчатой поверхностью:

а, б – соответственно при частоте вращения вала $n = 20 \dots 50$ об/мин и $n = 100 \dots 120$ об/мин

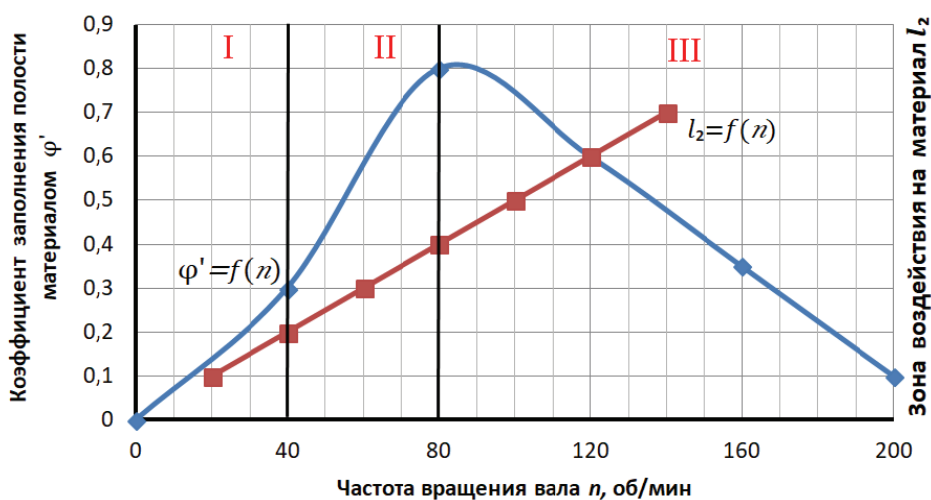


Рис. 7. Графические зависимости $l_2 = f(n)$ и $\varphi' = f(n)$

Проведенные исследования показали, что при изменении частоты вращения вала смесителя со сферообразными полостями можно регулировать процесс перемещения материала как внутри полостей, так и во время его нахождения внутри барабана смесителя. Это позволяет управлять процессами гомогенизации композиционной смеси и осуществлять процесс микрогранулирования смеси после предварительного смешения ее со связующим в парообразном или распыленном состоянии.

Несмотря на многофункциональные технологические возможности патентованной конструкции рециркуляционного смесителя, расширенную комбинацию конструктивного исполнения и применение различных рабочих органов агрегата, необходимо использовать специальный алгоритм (рис. 8).

С учетом проведенных теоретических исследований, моделирования технологических процессов и полученных экспериментальных данных спроектирован и изготовлен опытно-промышленный агрегат – рециркуляционный смеситель комбинированного действия (рис. 9).

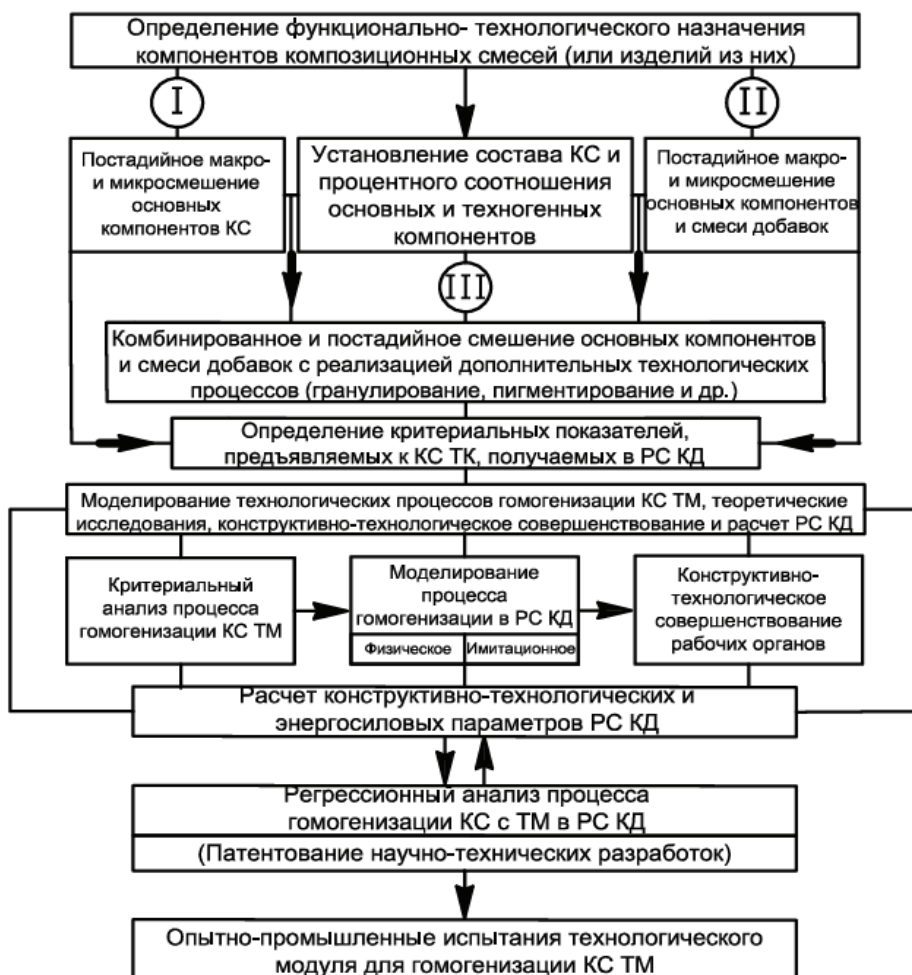


Рис. 8. Алгоритм проектирования рециркуляционного смесителя комбинированного действия для гомогенизации композиционных смесей с техногенными гетерогенными компонентами

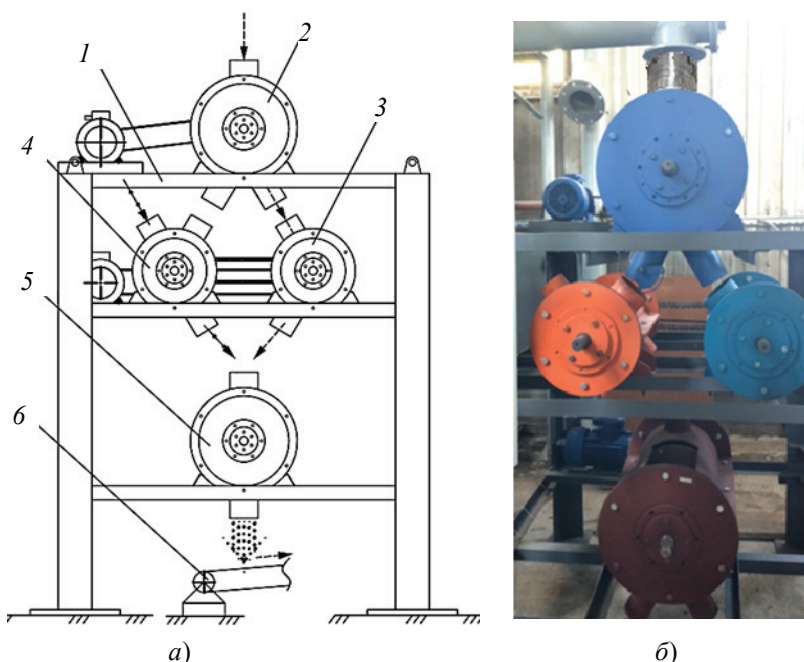


Рис. 9. Схема технологического модуля (а) и опытно-промышленный агрегат – рециркуляционный смеситель комбинированного действия (б):
 1 – рама; 2, 3 – камеры макро- и микросмешения соответственно;
 4 – камера смешения добавок; 5 – камера гомогенизации смеси основных компонентов и добавок; 6 – питатель гомогенизируемой смеси

Технические характеристики рециркуляционного смесителя комбинированного действия.

Размер камер барабанов РС КД $D_{св} \times L, 10^{-3}$ м:	
макросмешения.....	320 × 600
микросмешения.....	230 × 600
смешения добавок.....	230 × 600
гомогенизации смеси основных компонентов и добавок.....	320 × 600
Частота вращения валов камер смесителя $n_B, м^{-1}$ *:	
макросмешения.....	20...50
микросмешения.....	40...100
смешения добавок.....	80...400
гомогенизации смеси основных компонентов и добавок.....	30...120
Угол подъема винтовых линий устройств, °:	
$\alpha_{ОВУ}$	10...35
$\alpha_{ДВУ}$	5...20
Коэффициент заполнения материалом барабана смесителя φ_{ik}	0,2...0,5
Расстояние между лопастями $L_{л}, 10^{-3}$ м.....	20...100
Высота пластин винтовых рабочих элементов смесителя, 10^{-3} м.....	30...90
Производительность, кг/ч *.....	40...500
Габаритные размеры агрегата, мм:	
длина.....	1230
ширина.....	1320
высота.....	1980
Масса, кг.....	980

* В зависимости от физико-механических характеристик компонентов смесей, конструктивного исполнения устройств и технологических режимов работы отдельных блоков смесителя.



Рис. 10. Различные виды продукции из композиционных смесей разного технологического назначения

Выполненные научно-технические разработки рекомендуется использовать в различных ресурсоэнергосберегающих технологиях, предназначенных для получения композиционных механоактивированных смесей, смесей с различными гетерогенными компонентами и фиброапполнителями, теплоизоляционных изделий с использованием технического углерода и других видов инновационной продукции (рис. 10).

Рециркуляционный смеситель комбинированного действия и разработанные технологии используются в технологических комплексах технопарка БГТУ им. В. Г. Шухова, научно-производственных линиях ООО «ТК «Экотранс» и других производств в рамках выполняемых проектов.

Заключение

Рассмотрена актуальность получения композиционных смесей с гетерогенными техногенными компонентами, проведены классификации сухих строительных смесей и конструкций смесителей. Разработана конструкция патентозащищенного рециркуляционного смесителя комбинированного действия, где представлены лопастные механизмы в виде П-образного устройства и устройства со сферообразными полостями. Проведен расчет мощности привода камеры смешения добавок и камеры окончательной гомогенизации рециркуляционного смесителя комбинированного действия.

Экспериментальные исследования зависимости коэффициента заполнения интенсифицирующего устройства от частоты вращения вала n показали, что использование рамочного П-образного устройства позволяет регулировать зону интенсификации процесса гомогенизации, а использование сферообразных полостей позволяет управлять процессами гомогенизации композиционной смеси и осуществлять процесс ее микрогранулирования после предварительного смешения ее со связующим в парообразном или распыленном состоянии. Разработан алгоритм проектирования рециркуляционного смесителя комбинированного действия для приготовления композиционных смесей с ТКК. Представлены опытно-промышленный образец спроектированного рециркуляционного смесителя комбинированного действия, а также виды приготавливаемой товарной продукции из композиционных смесей с гетерогенными техногенными компонентами.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках национального проекта «Наука и университет» по созданию новой лаборатории «Разработка, исследования и опытно-промышленная апробация наукоемких технологий и технических средств для производства полимерсодержащих композиционных смесей и изделий из техногенных органоминеральных компонентов» (проект FZWN-2024-0002) с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Список литературы

1. Improvement of Technical Means for Recycling of Technogenic Waste to Construction Fiber / S. Klyuev, V. Sevostyanov, M. Sevostyanov, R. Fediuk [et al.] // Case Studies in Construction Materials. – 2022. – Vol. 16, No. 7. – P. e01071. doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01071
2. Технологический комплекс для производства композиционных смесей с техногенными материалами / В. С. Севостьянов, С. В. Клюев, М. В. Севостьянов [и др.] // СТИН. – 2022. – № 12. – С. 11 – 14.
3. Технологии комплексной переработки твердых коммунальных отходов / С. Н. Глаголев, Н. Т. Шеин, В. С. Севостьянов, В. В. Оболонский, Р. Ю. Шамгулов // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 12. – С. 11 – 15. doi: 10.18412/1816-0395-2020-12-11-15
4. Исследование изменения концентрации ключевого компонента сухой смеси в горизонтальном лопастном смесителе с цилиндрическими стержнями / С. И. Ханин, В. П. Воронов, Н. О. Кикин [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 2. – С. 94 – 101. doi: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101
5. Переработка отходов минераловатного производства / В. В. Фирсов, В. В. Самойленко, А. Н. Блазнов [и др.] // Ползуновский вестник. – 2015. – № 4-2. – С. 61 – 65.
6. Разработка и техническое совершенствование агрегатов для комплексной переработки техногенных материалов / А. М. Проценко, В. А. Бабуков, П. Ю. Горягин, И. Г. Мартаков // Образование. Наука. Производство : материалы XII Международного молодежного форума, Белгород, 01 – 20 октября 2020 г. – Белгород, 2020. – С. 1105 – 1112.
7. Проценко, А. М. Классификация смесителей для композиционных смесей с гетерогенными компонентами / А. М. Проценко, И. Г. Мартаков // Международный науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, Белгород, 30 апреля 2021 г. – Белгород, 2021. – С. 1808 – 1811.
8. Гарабажиу, А. А. Интенсификация процессов перемешивания сухих сыпучих материалов в современных конструкциях смесителей / А. А. Гарабажиу // Строительная наука и техника. – 2010. – № 4. – С. 27 – 42.
9. Богомолов, А. А. Современное смесительное оборудование для производства строительных смесей / А. А. Богомолов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2007. – № 38. – С. 31 – 35.
10. Евсеев, А. В. Классификации немиксинговых смесевых компонентов, продуктов и устройств / А. В. Евсеев // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 2022. – Т. 28, № 2. – С. 287 – 296. doi: 10.17277/vestnik.2022.02.pp.287-296
11. Пат. 2809971 Российская Федерация, МПК В01F 27/70. Способ постадийной гомогенизации композиционных смесей / Глаголев С. Н., Севостьянов В. С., Бушуев Д. А., Севостьянов М. В., Клюев С. В., Проценко А. М. ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова». – № 2023115756 : заявл. 15.06.2023 : опубл. 19.12.2023, Бюл. № 35. – 14 с.
12. Пат. 2788202 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Рециркуляционный смеситель комбинированного действия / Глаголев С. Н., Севостьянов В. С., Проценко А. М., Севостьянов М. В., Клюев С. В., Шамгулов Р. Ю. ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова». – № 2022112968 : заявл. 13.05.2022 : опубл. 17.01.2023, Бюл. № 2. – 19 с.

13. Проценко, А. М. Интенсификация процессов гомогенизации смесей в рециркуляционном смесителе / А. М. Проценко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2024. – Т. 30, № 2. – С. 346-357. doi: 10.17277/вестник.2024.02.с.346-357.

14. Processing and Granulation of Carbon Black / V. S. Sevost'yanov, R. Y. Shamgulov, A. M. Protsenko, A. S. Apatenko // Russian Engineering Research. – 2022. – Vol. 42, No. 5. – P. 538 – 540. doi: 10.3103/S1068798X22050240

15. Карпушкин, С. В. Расчеты и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов : учеб. пособие / С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский, А. Б. Борисенко. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 168 с.

Recirculation Mixer of Combined Action for Homogenization of Composite Mixtures

M. V. Sevostyanov¹, A. M. Protsenko^{1✉}, V. S. Sevostyanov¹, D. A. Bushuev²

Department of Technological Complexes, Machines and Mechanisms (1), nastya12rudchenko8@gmail.com; Department of Technical Cybernetics (2), Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia

Keywords: homogenization; modeling; resource saving; recirculation mixer of combined action; recycling.

Abstract: The design of a recirculation mixer of combined action is presented. Blade mechanisms in the form of a U-shaped device and a device with spherical cavities are developed. The calculation of the drive power of the additive mixing chamber and the final homogenization chamber of the combined-action recirculation mixer is presented. Experimental studies of the mixing process by frame U-shaped and arc-shaped devices with a mesh surface are conducted. Graphic dependencies of the filling factor φ' on the shaft rotation frequency n are obtained. An algorithm for designing a combined-action recirculation mixer is developed. Types of commercial products from composite mixtures with heterogeneous technogenic components are shown.

References

1. Klyuev S., Sevostyanov V., Sevostyanov M., Fediuk R. [et al.] Improvement of Technical Means for Recycling of Technogenic Waste to Construction Fiber, *Case Studies in Construction Materials*, 2022, vol. 16, no. 7, pp. e01071. doi: 10.1016/j.csm.2022.e01071

2. Sevost'yanov V.S., Klyuyev S.V., Sevost'yanov M.V. [et al.] [Technological complex for the production of composite mixtures with technogenic materials], *STIN*, 2022, no. 12, pp. 11-14. (In Russ., abstract in Eng.)

3. Glagolev S.N., Shein N.T., Sevost'yanov V.S., Obolonskiy V.V., Shamgulov R.Yu. [Technologies for complex processing of municipal solid waste], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2020, vol. 24, no. 12, pp. 11-15. doi: 10.18412/1816-0395-2020-12-11-15 (In Russ., abstract in Eng.)

4. Khanin S.I., Voronov V.P., Kikin N.O. [et al.], [Study of changes in the concentration of a key component of a dry mixture in a horizontal paddle mixer with cylindrical rods], *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova* [Bulletin of the Belgorod State Technological

University named after V. G. Shukhov], 2022, no. 2, pp. 94-101. doi: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101 (In Russ., abstract in Eng.)

5. Firsov V.V., Samoylenko V.V., Blaznov A.N. [et al.], [Processing of mineral production waste], *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Vestnik], 2015. no. 4-2, pp. 61-65. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Protsenko A.M., Babukov V.A., Goryagin P.Yu., Martakov I.G. *Obrazovaniye. Nauka. Proizvodstvo: materialy XII Mezhdunar. molodezhnogo foruma* [Education. Science. Production: materials of the XII Int. youth forum], Belgorod, 01-20 October 2020, Belgorod, 2020, pp. 1105-1112. (In Russ.)

7. Protsenko A.M., Martakov I.G. *Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shukhova* [Int. scientific and technical. conf. of young scientists of BSTU named after V. G. Shukhov], Belgorod, 30 April 2021, Belgorod, 2021, pp. 1808-1811. (In Russ.)

8. Garabazhiu A.A. [Intensification of mixing processes of dry bulk materials in modern mixer designs], *Stroitel'naya nauka i tekhnika* [Construction Science and Technology], 2010, no. 4, pp. 27-42. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Bogomolov A.A. [Modern mixing equipment for the production of building mixtures], *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University], 2007, no. 38, pp. 31-35. (In Russ., abstract in Eng.)

10. Yevseyev A.V. [Classifications of non-mixing mixture components, products and devices], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2022, vol. 28, no. 2, pp. 287-296. doi: 10.17277/vestnik.2022.02.pp.287-296 (In Russ., abstract in Eng.)

11. Glagolev S.N., Sevost'yanov V.S., Bushuyev D.A., Sevost'yanov M.V., Klyuyev S.V., Protsenko A.M. *Sposob postadiynoy gomogenizatsii kompozitsionnykh smesey* [Method for stepwise homogenization of composite mixtures], Russian Federation, 2023, Pat. 2809971 (In Russ.)

12. Glagolev S.N., Sevost'yanov V.S., Protsenko A.M., Sevost'yanov M.V., Klyuyev S.V., Shamgulov R.Yu. *Retsirkulyatsionnyy smesitel' kombinirovannogo deystviya* [Recirculation mixer of combined action], Russian Federation, 2022, Pat. 2788202 (In Russ.)

13. Protsenko, A.M. [Intensification of homogenization processes of mixtures in a recirculation mixer], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2024, vol. 30, no 2, pp 346-357. doi: 10.17277/вестник.2024.02.с.346-357.

14. Sevost'yanov V.S., Shamgulov R.Y., Protsenko A.M., Apatenko A.S. Processing and Granulation of Carbon Black, *Russian Engineering Research*, 2022, vol. 42, no. 5, pp. 538-540. doi: 10.3103/S1068798X22050240

15. Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N., Borisenko A.B. *Raschety i vybor mekhanicheskikh peremeshivayushchikh ustroystv vertikal'nykh yemkostnykh apparatov: ucheb. posobiye* [Calculations and selection of mechanical mixing devices of vertical capacitive apparatuses: textbook], Tambov: Izdatel'stvo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2009, 168 p. (In Russ.)

Umwälzmischer kombinierter Wirkung zur Homogenisierung der Kompositionsmischungen

Zusammenfassung: Es ist der Entwurf eines kombinierten Umwälzmischers vorgestellt. Es sind Paddelmechanismen in Form einer U-förmigen Vorrichtung und einer Vorrichtung mit kugelförmigen Hohlräumen entwickelt. Die Berechnung der Antriebsleistung der Zusatzmischkammer und der Endhomogenisierungskammer des kombinierten Rezirkulationsmischers ist angegeben. Es sind experimentelle Untersuchungen des Mischvorgangs bei U-förmigen und bogenförmigen

Rahmengeräten mit Gitteroberfläche durchgeführt. Es sind grafische Abhängigkeiten des Füllfaktors φ' von der Wellendrehzahl n ermittelt. Ein Entwurfsalgorithmus für den Rezirkulationsmischer mit kombinierter Wirkung ist entwickelt. Es sind Typen kommerzieller Produkte aus Verbundmischungen mit heterogenen künstlichen Komponenten gezeigt.

Mélangeur de recyclage à action combinée pour homogénéisation de mélanges composites

Résumé: Est présentée la conception du mélangeur de recyclage à action combinée. Sont développés des mécanismes à lames sous la forme d'un dispositif en forme de U et d'un dispositif avec des cavités sphériques. Est donné le calcul de la puissance d'entraînement de la chambre de mélange des additifs et de la chambre d'homogénéisation finale du mélangeur de recyclage à action combinée. Sont réalisées des études expérimentales sur le processus de mélange de dispositifs en forme de U et en forme d'arc avec une surface maillée. Sont obtenues les dépendances graphiques du facteur de remplissage φ' de la vitesse de rotation de l'arbre n . Est développé l'algorithme de conception du mélangeur de recyclage à action combinée. Sont présentés les types des produits commercialisables à partir de mélanges composites avec des composants technologiques hétérogènes.

Авторы: *Севостьянов Максим Владимирович* – доктор технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов; *Проценко Анастасия Максимовна* – аспирант, ассистент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов; *Севостьянов Владимир Семенович* – доктор технических наук, профессор кафедры технологических комплексов, машин и механизмов; *Бушув Дмитрий Александрович* – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической кибернетики, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия.