

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГОМОГЕНИЗАЦИИ СМЕСЕЙ В РЕЦИРКУЛЯЦИОННОМ СМЕСИТЕЛЕ

А. М. Проценко✉

*Кафедра «Технологические комплексы, машины и механизмы»,
nastya12rudchenko8@gmail.com; ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия*

Ключевые слова: винтовые устройства; моделирование; ресурсосбережение; рециклинг; рециркуляционный смеситель комбинированного действия; смешение; техногенные материалы.

Аннотация: Представлены результаты совершенствования конструкций горизонтальных смесителей для композиционных смесей. Предложена интенсификация процесса смешения за счет объемно-пространственного воздействия рабочих органов на композиционную смесь и организации постадийного процесса получения смесей. Разработана конструкция рециркуляционного смесителя комбинированного действия для приготовления композиционных смесей с техногенными гетерогенными компонентами. Получены аналитические выражения для расчета площадей контакта винтовых устройств с материалом при различных углах их поворота, позволяющие определить моменты сопротивления при перемешивании композиционных масс и потребляемые мощности приводов камер смешения. Исследован процесс приготовления смеси одно- и двухзаходными винтовыми устройствами различного геометрического профиля.

Введение

Вопрос получения качественных композиционных смесей является актуальным, несмотря на постоянное развитие строительной отрасли и модернизацию смешивающего оборудования. Особую значимость данное научно-техническое направление приобретает в связи с необходимостью создания оборудования для приготовления композиционных смесей с различными техногенными компонентами [1, 2]. Кроме того, разработка инновационных технологий с использованием вторичных материальных ресурсов способствует комплексному решению проблемной задачи переработки твердых бытовых отходов [3, 4].

Одним из направлений повышения качества смешивания материалов является конструктивно-технологическое совершенствование рабочих органов. Интенсификация процесса гомогенизации компонентов в смесителе достигается за счет выбора и совершенствования геометрии, формы и схемы расположения рабочих органов, что также влияет на энергозатраты процесса гомогенизации обрабатываемой среды.

Проведенный анализ патентных исследований показал, что в целях повышения надежности и долговечности рабочих органов применяют защитные кожухи для лопастей [5, 6]. Данная модернизация позволяет продлить срок службы лопастных устройств, повышая тем самым производительность и эффективность смесителя.

Для интенсификации процесса гомогенизации используют комбинаторику лопастных устройств. Так, в работах [7, 8] реализуется интенсивное перемещение всех компонентов смеси как в радиальном, так и осевом направлениях внутри камеры. Благодаря повышению «степени свободы» движущихся компонентов смеси, создается турбулизация и интенсификация перемещаемых слоев материала. Выгрузочные лопасти реализуют рециклинг, частично возвращая материал в зону смешения.

Применение рамочных и спиралевидных лопастных устройств [9, 10] позволяет разрезать материал послойно по всему объему камеры, осуществляя макросмешивание, а также повышает транспортирующую способность внутри барабана, что устраняет застойные зоны и интенсифицирует процесс смешения. В конструкциях, представленных в [11, 12], используются стержневые элементы в качестве смешивающих устройств. Исполнение таких конструкций («разрушителей») позволяет воздействовать на смесь, разделяя ее на потоки и образуя завихрения, что увеличивает зону интенсификации процесса смешения, создавая вихревые потоки и разрушая слои материала перед лопастями. Это повышает однородность распределения всех компонентов смеси и улучшает ее качество.

Организация процесса приготовления смеси и введения добавок, реализация постадийного воздействия на материал также интенсифицирует процесс гомогенизации. Так, в патенте [13] реализуется двухстадийный процесс смешения. С помощью автоматизированной системы управления и подачи сигналов о закрытии и открытии загрузочных и разгрузочных затворов и шибера возможно регулирование времени приготовления смеси. Данное техническое решение позволяет увеличить производительность и уменьшить занимаемую площадь на производстве.

По результатам проведенного анализа патентных исследований и конструкций рабочих органов смесителей можно сделать вывод, что объемно-пространственное исполнение рабочих органов интенсифицирует процесс гомогенизации. Однако это требует специальных научно-технических разработок и исследований для установления наиболее рациональной геометрической формы, размеров композиционных схем расположения рабочих органов [14, 15].

Для исследования процесса взаимодействия смешивающего (рециркуляционного) устройства с обрабатываемой средой представим его в виде усеченной пластины, наклоненной к горизонтальной оси под углом α [16]. Угол среза эллипсного контура β образующей AB к малой оси эллипса AB определяет направление силового воздействия на материал: по ходу движения потока материала – β' или в обратном направлении – β'' . При этом изменяются технологические функции устройств (схемы расположения – моделирования) при их расположении (на противоположных сторонах эллипсного контура по его большей оси AB) с различным направлением среза (β') по отношению к малой оси эллипса AB) – транспортирующее воздействие в заданную сторону камеры или при одинаковом направлении среза – рециркулирующее воздействие на материал во внутреннем пространстве между устройствами. Направление и частота вращения вала устройств имеют принципиальное значение, определяющее режим работы камеры смешения.

Таким образом, площадь контакта однозаходного винтового устройства (ОВУ) с материалом зависит от следующих параметров $S_k = f(\pm\alpha; \pm\beta; l; \varphi; R_{\text{ОВУ}}; \xi)$.

Для расчета значений $S_{\text{ОВУ}}$ используем схему, показанную на рис. 1). Геометрический профиль ОВУ для упрощения расчетов можно представить в виде части эллипсного контура, ограниченного образующей AB , наклоненной под углом β к его малой оси. При этом устройство наклонено к горизонтальной оси камеры смешения под углом α . Расстояние от образующей до горизонтальной оси

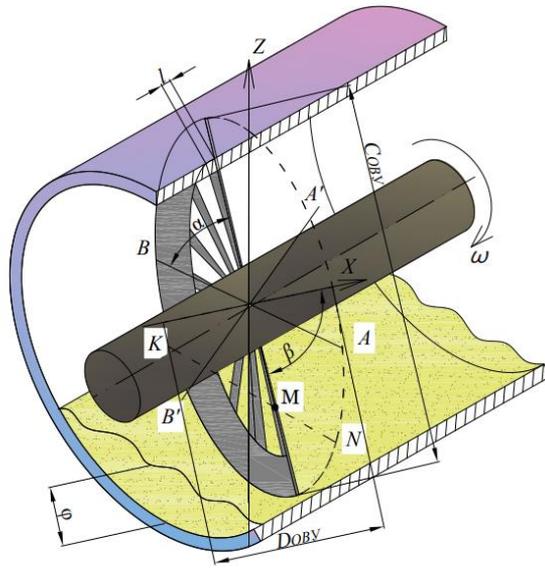


Рис. 1. Схема взаимодействия лопастного смешивающего устройства с материалом

камеры смешения равно l , коэффициент загрузки материалом – φ . Угол поворота устройства обозначим через ξ , диаметр устройства – $D_{\text{ОВУ}}$, радиус – $R_{\text{ОВУ}}$.

Выбор данного геометрического профиля устройства позволяет более детально изучить механизм его воздействия на перемешиваемую среду, ввиду многообразия вышеуказанных параметров [17, 18].

При исходных данных $S_{\text{ОВУ}} = \pi R_{\text{ОВУ}} C_{\text{ОВУ}}$, где $C_{\text{ОВУ}} = R_{\text{ОВУ}} / \sin \alpha$; $S_{\text{ОВУ}} = \pi R_{\text{ОВУ}}^2 / \sin \alpha$.

Для определения значения $S_{\text{ОВУ}}$ воспользуемся интегральным выражением с заданными граничными условиями (1)

$$S_{\text{ОВУ}} = 2 \int_{-R_{\text{ОВУ}}}^{x_A} dx \int_0^z dz + \int_{x_A}^{x_B} dx \int_{z_{A,B}}^z dz. \quad (1)$$

Используем при этом следующие значения Z и $Z_{A,B}$:

$$\begin{cases} Z = \pm \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x^2}; \\ Z_{AB} = \text{tg} \beta x + l. \end{cases} \quad (2)$$

После соответствующих преобразований получим значения $S_{\text{ОВУ}}$

$$\begin{aligned} S_{\text{ОВУ}} = & \frac{1}{2 \sin \alpha} \times \\ & \times \left[R_{\text{ОВУ}}^2 \left(\pi + \arcsin \alpha \frac{x_B}{R_{\text{ОВУ}}} + \arcsin \alpha \frac{x_A}{R_{\text{ОВУ}}} \right) + x_A \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_A^2} + x_B \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_B^2} \right] - \\ & - \frac{1}{2} \text{tg} \beta (x_B^2 - x_A^2) - l(x_B - x_A). \end{aligned} \quad (3)$$

При реализации процесса гомогенизации смеси происходит цикличное погружение устройства в слой материала, то есть изменение площади контакта устройства со средой. Согласно схеме площадь контакта с материалом зависит от угла поворота вала ОВУ, $S_k = f(\xi)$. Последовательность погружения ОВУ в материал обозначается графическими точками.

Тогда площадь соприкосновения ОВУ со слоем материала, ограниченную линиями по оси Z краем образующей AB ($Z_{A,B}$) линией соприкосновения NM ($Z_{N,M}$) и эллипсным контуром ($Z_{эл}$), можно выразить из системы:

$$Z_{A,B} = \operatorname{tg} \beta x + l; \quad (4)$$

$$Z = \operatorname{tg} \beta_1 x + l'; \quad (5)$$

$$Z_{эл} = \pm \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{R_{ОВУ}^2 - x^2}, \quad (6)$$

где $\operatorname{tg} \beta_1 x = \frac{\operatorname{tg} \xi}{\sin \alpha}$; $l' = \frac{L}{\sin \alpha \cos \xi}$.

Координаты точек A , B , K , N и M можно установить, решив следующие уравнения:

$$\begin{cases} X_{A,B} = \frac{-l \sin^2 \alpha \operatorname{tg} \beta \pm \sqrt{R_{ОВУ}^2 (1 + \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \beta) - l^2 \sin^2 \alpha}}{1 + \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \beta}; \\ Z_{A,B} = \frac{\pm \operatorname{tg} \beta \sqrt{R_{ОВУ}^2 (1 + \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \beta) - l^2 \sin^2 \alpha}}{1 + \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \beta}; \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} X_{N,K} = -L \sin \xi \pm \cos \xi \sqrt{R_{ОВУ}^2 - L^2}; \\ Z_{N,K} = \frac{1}{\sin \alpha} (L \cos \xi \pm \sin \xi \sqrt{R_{ОВУ}^2 - L^2}); \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} X_M = \frac{l - l_1}{\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta} = \frac{l \sin \alpha \cos \xi - L}{\sin \xi - \sin \alpha \operatorname{tg} \beta \cos \xi}; \\ Z_M = \operatorname{tg} \beta_1 \frac{l - l_1}{\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta} + l_1 = \frac{\operatorname{tg} \beta_1 l - \operatorname{tg} \beta_1 l_1}{\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta} = \frac{l \sin \xi - L \operatorname{tg} \beta}{\sin \xi - \sin \alpha \operatorname{tg} \beta \cos \xi}. \end{cases} \quad (9)$$

Исходя из приведенной схемы взаимодействия ОВУ с материалом (см. рис. 1) и соответствующих преобразований, площадь взаимодействия устройства с материалом определяется по формуле

$$S_k = \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[R_{ОВУ}^2 \left(\pi + \arcsin \frac{x_C}{R_{ОВУ}} + \arcsin \frac{x_N}{R_{ОВУ}} \right) + x_C \sqrt{R_{ОВУ}^2 - x_K^2} + x_N \sqrt{R_{ОВУ}^2 - x_N^2} \right] - \frac{1}{2} \operatorname{tg} \beta_1 (x_K^2 - x_N^2) - l(x_K - x_N). \quad (10)$$

Используя полученное ранее значение $S_{\text{ОВУ}}$ (3), получим окончательно

$$S_K = \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[R_{\text{ОВУ}}^2 \left(\pi + \arcsin \frac{x_A}{R_{\text{ОВУ}}} + \arcsin \frac{x_C}{R_{\text{ОВУ}}} \right) + x_A \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_A^2} + x_N \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_K^2} \right] - \frac{1}{2} \text{tg} \beta_1 (x_K^2 - x_M^2) - l_1 (x_K - x_M) + \frac{1}{2} \text{tg} \beta (x_A^2 - x_M^2) + l (x_A - x_M). \quad (11)$$

Аналогично, по выполненным расчетам площади контакта ОВУ с материалом при различных углах поворота ξ устройства, можно определить соответствующие значения $S_{\text{кОВУ}}$ для устройства, наклоненного в сторону выгрузки материала.

Тогда, для схемы расположения ОВУ его площадь, ограниченная образующей AB , будет равна

$$S_{\text{ОВУ}} = \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[R_{\text{ОВУ}}^2 \left(\pi - \arcsin \frac{x_A}{R_{\text{ОВУ}}} - \arcsin \frac{x_B}{R_{\text{ОВУ}}} \right) - x_A \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_A^2} - x_B \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_B^2} \right] - \frac{1}{2} \text{tg} \beta (x_A^2 - x_B^2) - l (x_A - x_B). \quad (12)$$

На стадии погружения устройства в материал, при пересечении линии контура слоя NK и образующей ОВУ $A'B'$ в точке M' , значение $S_{\text{ОВУ}}$ будет определяться суммой двойных интегралов площадей

$$S_{\text{ОВУ}} = \int_{x_M}^{x_{A'}} dx \int_{x_{A',B'}}^{z_{N,K}} dz + \int_{x_{A'}}^{x_N} dx \int_{z_K}^{z_{N,K}} dz = \frac{1}{2 \sin \alpha} \times \left[R_{\text{ОВУ}}^2 \left(\arcsin \frac{x_N}{R_{\text{ОВУ}}} - \arcsin \frac{x_{A'}}{R_{\text{ОВУ}}} \right) + x_N \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_N^2} - x_{A'} \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_{A'}^2} \right] + \frac{1}{2} \text{tg} \beta_1 (x_N^2 - x_M^2) + l_1 (x_N - x_M) - \frac{1}{2} \text{tg} \beta (x_{A'}^2 - x_{M'}^2) - l (x_{A'} - x_{M'}). \quad (13)$$

Максимальное значение площади контакта ОВУ со слоем материала будет достигаться при полном погружении устройства

$$S_{\text{кmax}} = \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[R_{\text{ОВУ}}^2 \left(\pi - \arcsin \frac{x_N}{R_{\text{ОВУ}}} - \arcsin \frac{x_K}{R_{\text{ОВУ}}} \right) - x_N \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_N^2} - x_K \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_K^2} \right] - \frac{1}{2} \text{tg} \beta_1 (x_K^2 - x_N^2) - l (x_K - x_N). \quad (14)$$

Соответственно, при выходе ОВУ из слоя материала площадь взаимодействия уменьшается

$$S_{\text{квых}} = \int_{x_{B'}}^{x_{M'}} dx \int_{z_{A',B'}}^{z_{\text{эл}}} dz + \int_{x_{M'}}^{x_K} dx \int_{z_{N,K}}^{z_{\text{эл}}} dz = \frac{1}{2 \sin \alpha} \times$$

$$\times \left[R_{\text{ОВУ}}^2 \left(\arcsin \frac{x_K}{R_{\text{ОВУ}}} - \arcsin \frac{x_B}{R_{\text{ОВУ}}} \right) + x_K \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_K^2} - x_{B'} \sqrt{R_{\text{ОВУ}}^2 - x_{B'}^2} \right] - \frac{1}{2} \text{tg} \beta_1 (x_K^2 - x_{M'}^2) - l(x_K - x_{M'}) - \frac{1}{2} \text{tg} \beta (x_{M'}^2 - x_{B'}^2) - l(x_{M'} - x_{B'}). \quad (15)$$

Полученные аналитические выражения для расчета площадей взаимодействия устройств, закрепленных на валу камеры смешения по различным схемам, с гомогенизируемым материалом помогают установить значения площадей контакта S_k при различных углах поворота ξ устройств. Определение предельных значений S_k позволяет настроить соответствующие сопротивления при погружении смесительных устройств в слой материала. Использование различных схем установки ОВУ в камерах смешения дает возможность изменять направления и величину силового воздействия на материал, что является важным при гомогенизации композиционных смесей с различными компонентами.

Полученные аналитические выражения необходимы для определения моментов сопротивления при перемешивании композиционных масс, а в дальнейшем – для расчета потребляемой мощности привода камер смешения.

Для изучения процесса гомогенизации смеси одно- и двухзаходными винтовыми устройствами (ДВУ) проведено моделирование процесса смешения в периодическом режиме работы с использованием вышеуказанных устройств (рис. 2). Для изменения энергосилового воздействия рабочих органов (винтовых устройств) на их поверхности установлены сплошные пластины с различной площадью контакта в период погружения в слой материала.

При реализации процесса рециклинга материалов во внутреннем пространстве ОВУ перемещает слой материала и, по мере погружения в него, смещает шихту вдоль винтовой поверхности. Симметричное расположение лопастей ОВУ позволяет реализовать последовательное (через каждые 180°) внутреннее перемещение (рециклинг) материала в центральной части барабана смесителя.

Для реализации процесса микросмешивания двухзаходными винтовыми лопастями использовались устройства без накладных пластин. Двухзаходные винтовые устройства влияют на материал в два раза интенсивнее. За один оборот вала (угол раскрытия поверхности ДВУ $\psi = 90^\circ$) каждая их лопасть обеспечивает двухкратное воздействие на смесь, создавая встречные противоположно направленные потоки, осуществляя при этом внутренний рециклинг композиционной смеси.

При моделировании процесса гомогенизации смеси установлено, что при установке на рабочей винтовой поверхности ОВУ и ДВУ накладных пластин повышается захватывающая способность устройств и силовое воздействие на материал.

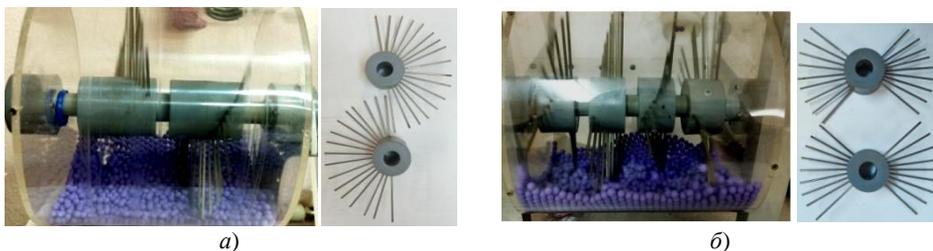


Рис. 2. Стендовые экспериментальные установки с одно- (а) и двухзаходными (б) винтовыми устройствами для моделирования процессов смешения

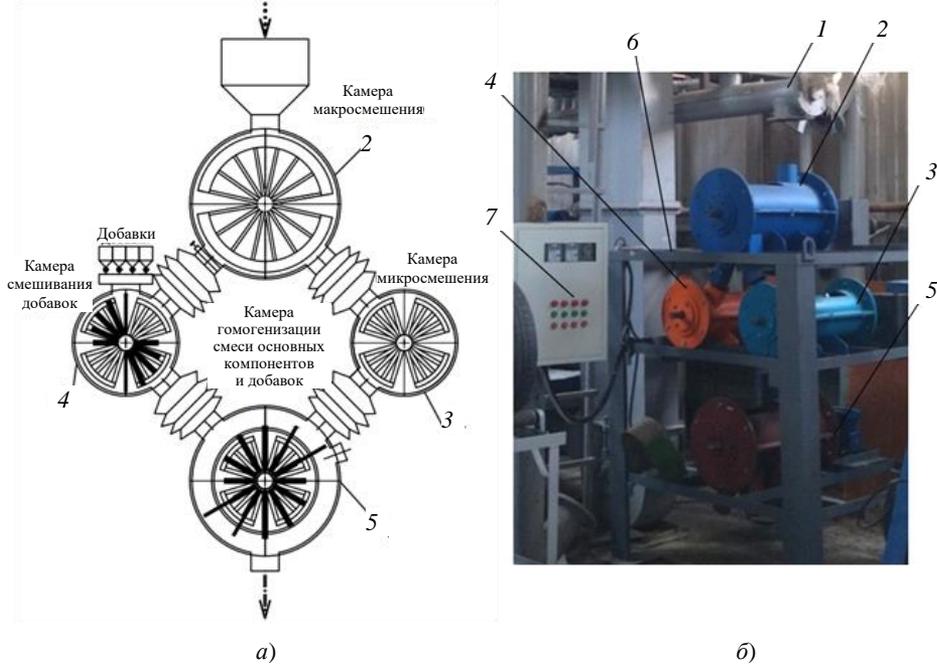


Рис. 3. Рециркуляционный смеситель комбинированного действия:

- а – схема компоновки камер агрегата; б – опытно-промышленный агрегат;
 1 – транспортирующий шнек; 2 – камера макросмешивания; 3 – камера микросмешивания;
 4 – камера смешивания добавок; 5 – камера окончательной гомогенизации;
 б – рама; 7 – пульт управления

Последнее приводит к интенсивному перемещению материала (рециклингу) внутри барабана смесителя. Также выявлено, что при различных значениях частоты вращения вала с устройствами наблюдается интенсификация процесса смешения в различных зонах камеры.

Так, при $n_{\text{ДВУ}} = 20 \dots 80$ об/мин наблюдалось интенсивное перемещение материала в нижней зоне камеры, а при $n_{\text{ДВУ}} = 80 \dots 180$ об/мин – дополнительно и в верхней части камеры. При этом установление объемно-пространственного перемещения материала в верхней части барабана существенно интенсифицирует процесс смешения.

С учетом проведенного моделирования исследуемых процессов разработан рециркуляционный смеситель комбинированного действия [16]. Разработанный на его основе технологический модуль работает следующим образом (рис. 3). Основные компоненты подаются с помощью транспортирующего шнека 1 в камеру макросмешивания 2. Однозаходными лопастями, закрепленными на горизонтальном валу, компоненты перемешиваются рабочими органами – ОВУ. Обработанная в камере 2 смесь разделяется на два потока. Первый поступает в камеру микросмешивания 3, оснащенную двухзаходными лопастями. На смесь совершается четырехкратное воздействие каждой парой ДВУ за один оборот вала, что за счет внутреннего рециклинга существенно интенсифицирует процесс смешения и повышает качество композиционной смеси.

Вторая часть материалов подается в камеру гомогенизации добавок 4, которая оснащена двухзаходными лопастными и П-образными устройствами. За счет

высокоскоростного воздействия рабочих органов материалы основных компонентов вместе с добавками интенсивно перемешиваются. В дальнейшем частично подготовленные в камерах 3 и 4 композиционные смеси подаются в камеру окончатальной гомогенизации 5, где перемешиваются, а при необходимости, с подачей связующего – микрогранулируются.

Рециркуляционный смеситель обладает многофункциональными технологическими возможностями за счет использования комбинированных рабочих органов объемно-пространственного воздействия на компоненты композиционной смеси в режиме их рециклинга между парными ОВУ и ДВУ. Обеспечивается интенсивное перемешивание гетерогенных техногенных компонентов композиционной смеси. Реализация в смесителе постадийного процесса смешения гетерогенных компонентов с различными физико-механическими характеристиками (гранулометрическим составом, плотностью, сыпучестью и др.) при разной комбинаторике использования камер позволяет получать высококачественные композиционные смеси широкого спектра использования.

Заключение

Выполненные научно-технические разработки направлены на конструктивно-технологическое совершенствование рабочих органов геометрического профиля и схем установки в камерах постадийного смешения (рециклинга) гетерогенных компонентов композиционных смесей.

Полученные аналитические выражения для расчета площадей контакта S_k винтовых устройств с материалом при различных углах поворота ξ позволяют определить моменты сопротивления при перемешивании композиционных масс и потребляемые мощности приводов камер смешения.

Проведенные экспериментальные исследования по моделированию процессов смешения гетерогенных композиционных смесей с использованием винтовых устройств интенсифицирующего действия различного геометрического профиля, кинематического и силового воздействия подтверждают технологическую целесообразность реализации постадийного внутреннего рециклинга смешиваемых компонентов.

Разработан, изготовлен и экспериментально апробирован патентозащищенный рециркуляционный смеситель комбинированного действия для смешения гетерогенных техногенных компонентов и получения композиционных смесей различного технологического назначения.

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).

Список литературы

1. Разработка щелочеактивированных вяжущих на основе техногенных волокнистых материалов / А. В. Клюев, Н. Ф. Кашапов, С. В. Клюев [и др.] // Строительные материалы и изделия. – 2023. – Т. 6, № 1. – С. 60 – 73. doi: 10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73

2. Экспериментальные исследования процессов структурообразования композиционных смесей с техногенным механоактивированным кремнеземистым компонентом / А. В. Клюев, Н. Ф. Кашапов, С. В. Клюев [и др.] // Строительные

материалы и изделия. – 2023. – Т. 6, № 2. – С. 5 – 18. doi: 10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18

3. Ресурсоэнергосберегающие технологии и технические средства для переработки твердых коммунальных отходов / В. С. Севостьянов, Р. Ю. Шамгулов, Н. Т. Шеин, В. В. Оболонский, В. А. Бабуков // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 319 – 326.

4. Технологические возможности использования термоллиза при переработке техногенных материалов / Н. Т. Шеин, В. С. Севостьянов, Р. Ю. Шамгулов, В. В. Оболонский, Л. И. Шинкарев, М. М. Белых // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды : материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Алушта, 04 – 08 июня 2018 г.). – Белгород, 2018. – Т. III. – С. 200 – 207.

5. Пат. 1009780 СССР, МПК В28С 5/12 (2000.01). Лопасть смесителя / Б. Я. Барер, Б. Л. Кашевник, В. В. Коротеев, Л. М. Райцев ; заявитель и патентообладатель Ордена «Знак почета» объединение по производству строительных материалов, конструкций и деталей «Победа» Главленстройматериалы. – № 3315173 ; заявл. 15.06.1981; опубл. 07.04.1983, Бюл. № 13.

6. Чемеричко, Г. И. Совершенствование конструкции рабочих органов двухвального лопастного смесителя непрерывного действия / Г. И. Чемеричко, Е. В. Порядина // Научно-технологические инновации : юбилейная Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 60-летию БГТУ им. В. Г. Шухова, XXI научные чтения. (Белгород, 09–10 окт. 2014 г.). – Белгород, 2014. – Т. 4. – С. 181 – 184.

7. Пат. 778762 СССР, МПК В01F 7/04 (2000.01). Лопастной смеситель / Ю. А. Поволоцкий, М. Ю. Збарский, О. С. Бурков ; заявитель и патентообладатель Предприятие п/я в-8808, Механический завод № 6 ВТУС. – № 2648491 ; заявл. 24.07.1978 ; опубл. 15.11.1980. Бюл. № 44.

8. Полезная модель 192831 Российская Федерация, МПК В01F 7/02. Лопастной смеситель / В. В. Матюшев, А. В. Семенов, И. А. Чаплыгина, А. С. Аветисян ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – № 2019122007 ; заявл. 09.07.2019 ; опубл. 02.10.2019, Бюл. № 28.

9. Пат. 997773 СССР, МПК В01F 7/08 (2000.01). Смеситель / Н. П. Марук, Я. С. Опман, В. В. Борисейкл, В. С. Душкин, А. А. Тереньгев ; заявитель Белорусский комплексный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт топливной промышленности. – № 3320606 ; заявл. 24.07.1981; опубл. 23.02.1983. Бюл. № 7.

10. Авт. св. 1178608 А1 СССР, МПК В28С 5/14, В01F 7/08. Смеситель для приготовления строительных смесей / Г. Д. Дибров, И. Л. Ветвицкий, Л. А. Хмара, Н. Г. Ильченко ; заявитель Днепропетровский инженерно-строительный ин-т. – № 3740987 ; заявл. 07.03.1984 ; опубл. 15.09.1985.

11. Полезная модель 192657 U1 Российская Федерация, МПК В28С 5/14, В01F 7/04. Смеситель материалов / С. И. Ханин, Н. О. Кикин ; заявитель ФГБОУ ВО «Белгородский гос. техн. ун-т. им. В. Г. Шухова». – № 2019119931 ; заявл. 25.06.2019 ; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 27.

12. Пат. 2521579 С2 Российская Федерация, МПК В01F 7/02. Способ и устройство для непрерывного смешивания волокон со связующим / В. Франк, Й. Бернс, К. Лемпфер ; заявитель и патентообладатель СИМПЕЛЬКАМП МАШИНЕН-УНД АНЛАГЕНБАУ ГМБХ УНД КО. КГ. – № 2011151080/05 ; заявл. 11.05.2010 ; опубл. 27.06.2014, Бюл. № 18.

13. Полезная модель 64129 U1 Российская Федерация, МПК В28С 5/14, В28С 7/04. Каскадный смеситель / В. В. Горшков, В. Н. Королев, А. И. Косик

[и др.] ; заявитель ФГУП «26 Центральный научно-исследовательский институт». – № 2006121863/22 ; заявл. 21.06.2006 ; опубл. 27.06.2007, Бюл. № 18.

14. 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.

15. Кикин, Н. О. Совершенствование конструкции рабочих органов смесителей с горизонтальным расположением валов с целью повышения интенсификации смешивания / Н. О. Кикин // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова : Посвящена 165-летию В. Г. Шухова (Белгород, 01 – 20 мая 2018 г.). – Белгород, 2018. – С. 2145 – 2149.

16. Пат. 2788202 С1 Российская Федерация, МПК А23N 17/00. Рециркуляционный смеситель комбинированного действия / С. Н. Глаголев, В. С. Севостьянов, А. М. Проценко [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова». – № 2022112968 ; заявл. 13.05.2022 ; опубл. 17.01.2023. Бюл. № 2. – 19 с.

17. Машины и агрегаты адаптивного действия для селективной переработки природных и техногенных материалов : монография / В. С. Севостьянов, В. И. Уральский, Л. И. Сиваченко, А. М. Проценко. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2023. – 358 с.

18. Теоретические и экспериментальные исследования рециркуляционного смесителя комбинированного действия / М. В. Севостьянов, А. М. Проценко, В. С. Севостьянов [и др.] // СТИН. – 2023. – № 5. – С. 17 – 20.

Intensification of Homogenization Processes of Mixtures in the Recirculator Mixer

A. M. Protsenko✉

*Department of Technological Complexes, Machines and Mechanisms,
nastyal2rudchenko8@gmail.com; Belgorod State Technological University named
after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia*

Keywords: screw devices; modeling; resource saving; recycling; combined action recirculation mixer; mixing; technogenic materials.

Abstract: The results of improving the designs of horizontal mixers for composite mixtures are presented. The intensification of the mixing process is proposed due to the volumetric-spatial influence of the working bodies on the composite mixture and the organization of a stage-by-stage process for obtaining mixtures. The design of a recirculating mixer of combined action has been developed for the preparation of composite mixtures with technogenic heterogeneous components. Analytical expressions are obtained for calculating the contact areas of screw devices with the material at different angles of rotation, which make it possible to determine the moments of resistance when mixing composite masses and the power consumption of the mixing chamber drives. The process of preparing the mixture using single- and double-thrust screw devices of various geometric profiles has been studied.

References

1. Klyuyev A.V., Kashapov N.F., Klyuyev S.V. [et al.], [Development of alkali-activated binders based on technogenic fibrous materials], *Stroitel'nyye*

materialy i izdeliya [Construction materials and products], 2023, vol. 6, no. 1, pp. 60-73. doi: 10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73 (In Russ., abstract in Eng.)

2. Klyuyev A.V., Kashapov N.F., Klyuyev S.V. [et al.], [Experimental studies of the processes of structure formation of composite mixtures with technogenic mechanically activated silica component], *Stroitel'nyye materialy i izdeliya* [Construction materials and products], 2023, vol. 6, no. 2, pp. 5-18. doi: 10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Sevost'yanov V.S., Shamgulov R.Yu., Shein N.T., Obolonskiy V.V., Babukov V.A. [Resource-energy-saving technologies and technical means for processing solid municipal waste], *Energeticheskiye sistemy* [Energy systems], 2019, no. 1, pp. 319-326. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Shein N.T., Sevost'yanov V.S., Shamgulov R.Yu., Obolonskiy V.V., Shinkarev L.I., Belykh M.M. *Innovatsionnyye puti resheniya aktual'nykh problem prirodopol'zovaniya i zashchity okruzhayushchey sredy: materialy dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Innovative ways to solve current problems of environmental management and environmental protection: materials of reports. Intl. scientific-technical conf.], (Alushta, 04-08 June 2018), Belgorod, 2018, vol. III, pp. 200-207. (In Russ.)

5. Barer B.Ya., Kashevnik B.L., Koroteyev V.V., Raytsev L.M. *Lopast' smesitel'ya* [], USSR, 1983, Pat. 1009780. (In Russ.)

6. Chemerichko G.I., Poryadina Ye.V. *Naukoyemkiye tekhnologii i innovatsii: yubileynaya Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennaya 60-letiyu BGTU im. V.G. Shukhova, XXI nauchnyye chteniya* [Science-intensive technologies and innovations: Anniversary International. scientific-practical Conf., dedicated to the 60th anniversary of BSTU. V.G. Shukhov, XXI scientific readings], (Belgorod, 09-10 October 2014), Belgorod, 2014, vol. 4, pp. 181-184. (In Russ.)

7. Povolotskiy Yu.A., Zbarskiy M.Yu., Burkov O.S. *Lopastnoy smesitel'* [Mixer blade], USSR, 1980, Pat. 778762 (In Russ.)

8. Matyushev V.V., Semenov A.V., Chaplygina I.A., Avetisyan A.S. *Lopastnoy smesitel'* [Mixer blade], Russian Federation, 2019, Utility model 192831. (In Russ.)

9. Maruk N.P., Opman Ya.S., Boriseykl V.V., Dushkin V.S., Teren't'yev A.A. *Smesitel'* [Mixer], USSR, 1983, Pat. 997773 (In Russ.)

10. Dibrov G.D., Vetvitskiy I.L., Khmara L.A., Il'chenko N.G. *Smesitel' dlya prigotovleniya stroitel'nykh smesey* [Mixer for preparing building mixtures], USSR, 1985, Copyright certificate 1178608 (In Russ.)

11. Khanin S.I., Kikin N.O. *Smesitel' materialov* [Mixer of materials], Russian Federation, 2019, Utility model 192657 (In Russ.)

12. Frank V., Berns Y., Lempfer K. *Sposob i ustroystvo dlya nepreryvnogo smeshivaniya volokon so svyazuyushchim* [Method and device for continuous mixing of fibers with a binder], Russian Federation, 2014, Pat. 2521579 (In Russ.)

13. Gorshkov V.V., Korolev V.N., Kosik A.I. [et al.] *Kaskadnyy smesitel'* [Cascade mixer], Russian Federation, 2006, Utility model 64129 (In Russ.)

14. Garabazhiu A.A. [Intensification of the processes of mixing 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.)

15. Kikin N.O. *Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: Posvyashchena 165-letiyu V. G. Shukhova* [International scientific-technical conf. young scientists of BSTU named after. V.G. Shukhova: Dedicated to the 165th anniversary of V. G. Shukhov], (Belgorod, 01-20 May 2018), Belgorod, 2018, pp. 2145-2149. (In Russ.)

16. Glagolev S.N., Sevost'yanov V.S., Protsenko A.M. [et al.] *Retsirkulyatsionnyy smesitel' kombinirovannogo deystviya* [Recirculation mixer of combined action], Russian Federation, 2023, Pat. 2788202 (In Russ.)

17. Sevost'yanov V.S., Ural'skiy V.I., Sivachenko L.I., Protsenko A.M. *Mashiny i agregaty adaptivnogo deystviya dlya selektivnoy pererabotki prirodnykh i tekhnogennykh materialov: monografiya* [Machines and units of adaptive action for selective processing of natural and man-made materials: monograph], Belgorod: Izdatel'stvo BGTU, 2023, 358 p. (In Russ.)

18. Sevost'yanov M.V., Protsenko A.M., Sevost'yanov V.S. [et al.] [Theoretical and experimental studies of a recirculation mixer of combined action], *STIN* [], 2023, no. 5, pp. 17-20. (In Russ., abstract in Eng.)

Intensivierung der Homogenisierungsverfahren von Gemischen im Recycling-Mischer

Zusammenfassung: Es sind die Ergebnisse der Verbesserung der Konstruktionen von Horizontalmischern für Verbundmischungen vorgestellt. Es ist die Intensivierung des Mischprozesses durch die volumen-räumliche Einwirkung der Arbeitskörper auf die Verbundmischung und die Organisation des stufenweisen Prozesses der Mischungsherstellung vorgeschlagen. Es ist der Entwurf des kombinierten Recycling-Mischers für die Herstellung von Verbundmischungen mit technogenen heterogenen Komponenten entwickelt. Es sind analytische Ausdrücke für die Berechnung der Kontaktflächen der Schneckenvorrichtungen mit dem Material bei verschiedenen Winkeln ihrer Drehung erhalten, die es ermöglichen, die Widerstandsmomente beim Mischen von Verbundmassen und die verbrauchte Leistung der Mischkammerantriebe zu bestimmen. Der Prozess der Mischungsvorbereitung mithilfe von Einzel- und Doppelschneckenvorrichtungen mit verschiedenen geometrischen Profilen ist untersucht.

Intensification des processus d'homogénéisation des mélanges dans le mélangeur de recyclage

Résumé: Sont présentés les résultats du perfectionnement de la conception des mélangeurs horizontaux pour les mélanges composites. Est proposé d'intensifier le processus de mélange en raison de l'impact volumétrique et spatial des organes de travail sur le mélange composite et de l'organisation du processus post-stade de la préparation des mélanges. Est élaborée la conception du mélangeur de recyclage à action combinée pour la préparation des mélanges composites avec des composants hétérogènes artificiels. Sont obtenues des expressions analytiques pour le calcul des zones de contact des dispositifs à vis avec le matériau à différents angles de rotation, ce qui permet de déterminer les moments de résistance lors du mélange des masses composites et la consommation d'énergie des entraînements des chambres de mélange. Est étudié le processus de la préparation du mélange avec des dispositifs à vis à une et à deux voies de différents profils géométriques.

Автор: *Проценко Анастасия Максимовна* – аспирант, инженер кафедры технологических комплексов, машин и механизмов, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия.

ДЛЯ ЗАМЕТОК