

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101

Ханин С.И., Воронов В.П., Кикин Н.О., Мордовская О.С.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: dh@intbel.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КЛЮЧЕВОГО КОМПОНЕНТА СУХОЙ СМЕСИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ СТЕРЖНЯМИ

Аннотация. В производстве строительных материалов двухвальными лопастными смесителями распространены при подготовке как сухих, так и пластичных смесей. При вращении лопасти в смешиваемой среде непосредственно перед её рабочей поверхностью образуется уплотненная зона из перемешиваемых компонентов. Это уплотнение негативно влияет на качество смесеприготовления, характеризующегося однородностью получаемой смеси. С целью воздействия на уплотненную зону, интенсификации процесса смешивания перед рабочей поверхностью лопасти устанавливаются стержни цилиндрической формы. Получено математическое описание процесса сухого смешивания двух компонентов в горизонтальном лопастном смесителе. Оно позволяет, в зависимости от наиболее влияющих на этот процесс его конструктивных и технологических параметров, рассчитать в определенном объеме смеси значения концентрации ключевого компонента как при установке перед рабочей поверхностью лопасти стержней цилиндрической формы, так и без стержней. Выполнены исследования изменения концентрации ключевого компонента для смесителя со стержнями при изменяющихся значениях его конструктивно-технологических параметров. Определены для смесителя со стержнями закономерности влияния конструктивно-технологических параметров на изменение концентрации ключевого компонента в определенном объеме смеси и их рациональные значения. При сравнении значений концентраций ключевого компонента, полученных с использованием математического описания для смесей, приготовляемых в смесителях со стержнями и без стержней, установлено, что смеситель со стержнями позволяет получать смесь более высокого качества со значениями концентрации ключевого компонента более близкими к идеальному значению.

Ключевые слова: смешивание, лопастной двухвальный смеситель, концентрация ключевого компонента, стержни цилиндрической формы.

Введение. Процесс смешивания компонентов получил широкое распространение в производстве различных строительных материалов. Для подготовки качественных сухих строительных смесей используются смесительные машины различных принципов действия: смесители гравитационного типа, смесители принудительного действия, смесители, воздействующие на компоненты энергоносителем (например, пневматические) и другие.

Двухвальные лопастные смесители, относящиеся к группе смесителей принудительного действия, являются эффективными машинами для получения качественных смесей. Благодаря относительно простой конструкции, достаточно большой производительности и повышенной площади взаимодействия рабочих органов со смешиваемым материалом, двухвальные смесители используются для получения как сухих, так и пластичных смесей [1, 2].

На отечественных и зарубежных предприятиях по производству сухих строительных смесей применяют различные модели двухвальных

смесителей. Как правило, выбор конкретной машины определяется технологическим регламентом предприятия на производство продукции [3].

Двухвальные смесители непрерывного действия обеспечивают производительность до 100 т/ч и более. Для таких машин очень важным параметром является точность дозирования компонентов и время их пребывания в рабочей камере смесителя. К основному недостатку машин данного типа относится низкая однородность готовой смеси. Периодические двухвальные смесители характеризуются меньшей производительностью, однако, в связи с точной дозировкой компонентов и строго определенным временем смешивания, готовая смесь получается более высокого качества [4].

Основными рабочими органами, непосредственно взаимодействующими с усредняемым материалом, в двухвальных смесителях являются лопасти, которые радиально закреплены на вращающемся валу. Так как лопасти повернуты на некоторый угол относительно плоскости, перпендикулярной продольной оси валов, то при

вращательном движении лопасти активно перемещают компоненты смеси в радиальном (поперечном) направлении. Такое воздействие является основным в смесителях периодического действия. Продольное движение смеси в рабочей камере зависит от режима работы смесителя, схемы и угла установки лопастей относительно плоскости вращения.

При движении лопасти в смешиваемой среде перед её рабочей поверхностью образуется уплотнение из компонентов (рис.1), в котором массообменные процессы идут гораздо медленней, чем на границе возникновения уплотнения. Объем данного уплотнения преимущественно зависит от геометрических размеров лопасти и угла её установки относительно плоскости вращения [5–7].

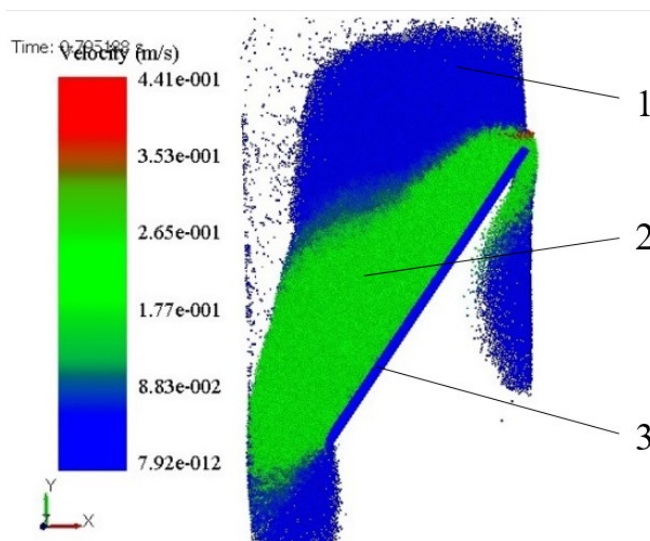


Рис. 1. Образование уплотнения из смешиваемого материала перед лопастью:

1 – смешиваемый материал, удаленный от рабочей поверхности лопасти;

2 – зона уплотнения материала; 3 – лопасть

С целью воздействия на уплотнение перед лопастью и повышения интенсификации процесса смешивания за счет увеличения площади взаимодействия рабочих органов с материалом, была предложена конструкция смесителя, в котором перед лопастью устанавливаются стержни цилиндрического поперечного сечения. Для установления рациональных значений параметров рабочих органов рассматриваемой конструкции смесителя целесообразно разработать математическое описание процесса смешивания компонентов материала [8–11].

Методология. С учетом рекомендаций [12–15], а также с учетом результатов анализа процесса смешивания компонентов в смесителе периодического режима работы со схемой установки лопастей, которая обеспечивает круговое движение компонентов в рабочей камере смесителя, рассматривалось изменение концентрации ключевого компонента для поперечного движения смешиваемого материала. Схема поперечного сечения предложенной модели двухвального смесителя с установленными перед рабочей поверхностью стержнями цилиндрической формы показана на рис. 2.

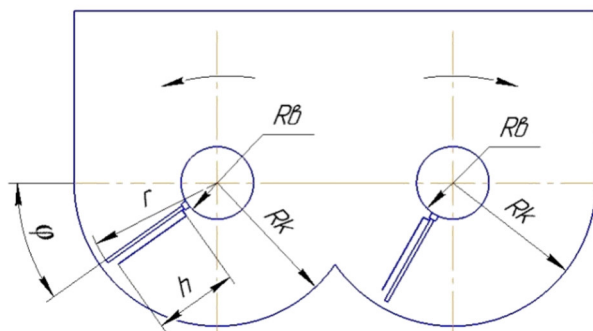


Рис. 2. Схема поперечного сечения двухвального смесителя:

h – высота цилиндрических стержней; R_k – радиус днища корпуса; R_b – радиус вала;

r – расстояние от оси вращения, φ – угол поворота лопасти

Запишем уравнение диффузионной модели для поперечного движения смешиваемого материала согласно (12):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D_r}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) \right), \quad (1)$$

где $C=C(t,r)$ – изменение в смеси концентрации ключевого компонента с течением времени t и при изменении расстояния r от оси вращения; D_r – коэффициент поперечного перемешивания частиц материала; t – время смешивания, с; r – радиус поперечного сечения потока, м.

Коэффициент поперечного перемешивания D_r зависит от вклада лопасти и установленных перед лопастью стержней в поперечное движение смешиваемых компонентов. Очевидно, что вклад в поперечное движение частиц материала в результате вращения лопасти и установленных перед ней стержней цилиндрической формы с частотой ω пропорционален значению этой частоты и площадей активной поверхности лопасти и стержней на материал. Поэтому коэффициент поперечного перемешивания можно описать выражением:

$$D_r = (S \cdot \cos \alpha + \pi \cdot R_{\text{ц}} \cdot h) \cdot \omega, \quad (2)$$

где S – площадь рабочей поверхности лопасти, м²; α – угол установки лопасти к плоскости, перпендикулярной продольной оси валов, рад; $R_{\text{ц}}$ – радиус цилиндрического стержня, установленного перед лопастью, м; h – высота цилиндрического стержня, м; ω – частота вращения лопастного вала, с⁻¹.

При подстановке формулы (2) в уравнение (1) получим:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{(S \cdot \cos \alpha + \pi \cdot R_{\text{ц}} \cdot h) \cdot \omega}{r} \cdot \left[r \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{\partial c}{\partial r} \right]. \quad (3)$$

Для упрощения записи математических выражений при получении решения уравнения (3) введем безразмерные переменные (φ, ξ):

$$\varphi = \omega \cdot t. \quad (4)$$

$$r = \beta \cdot \xi. \quad (5)$$

$$\beta = \sqrt{S \cdot \cos \alpha + \pi \cdot R_{\text{ц}} \cdot h}. \quad (6)$$

С учетом (4), (5), (6) уравнение (3) принимает вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \varphi} = \frac{\partial^2 c}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\partial c}{\partial \xi}. \quad (7)$$

Решение дифференциального выражения (7), ограниченное во всем объеме смесителя относительно переменных (t, r) и удовлетворяющее граничным условиям:

$$C(0, R_B) = C_0, \quad (8)$$

$$C(0, R_k) = 0, \quad (9)$$

здесь C_0 – начальное значение концентрации ключевого компонента смеси сыпучего материала; R_k – радиус цилиндрической части корпуса смесителя, м; R_B – радиус лопастного вала, м;

имеет вид:

$$c(t, r) = \frac{C_0}{J_0\left(\frac{R_B}{R_k} \cdot \psi_1\right)} \cdot \exp\left(-\frac{\beta^2 \cdot \psi_1^2}{R_k^2} \cdot \omega \cdot t\right) \cdot J_0\left(\frac{r}{R_k} \cdot \psi_1\right). \quad (10)$$

Здесь $J_0(\xi)$ – является функцией Бесселя нулевого порядка первого рода, а число ψ_1 является первым нулем функции $J_0(\xi)$.

Полученное уравнение (10) позволяет определить изменение концентрации выделенной компоненты частиц сыпучего материала в зависимости от конструктивных ($S, \alpha, R_{\text{ц}}, h, R_k$) и технологических (ω, t) параметров.

Согласно (10) второй сомножитель описывает временную зависимость изменения концентрации выделенной компоненты смеси, которая носит экспоненциальный характер. Следовательно, при достаточно длительном времени смешивания (в пределах $t \rightarrow \infty$) значение концентрации выделенной компоненты смеси должно принять предельное конечное значение « C_k ». Поэтому формулу (10) можно окончательно привести к следующему виду:

$$C(t, r) = C_k - (C_k - C_0) \cdot \exp\left(-\frac{S \cdot \cos \alpha + \pi \cdot R_{\text{ц}} \cdot h}{J_0\left(\frac{R_B}{R_k} \cdot \psi_1\right)} \cdot \psi_1^2 \cdot \omega \cdot t\right) \cdot J_0\left(\frac{r}{R_k} \cdot \psi_1\right) \quad (11)$$

Выражение (11) представляет собой математическое описание процесса сухого смешивания двух компонентов в горизонтальном лопастном смесителе. Оно позволяет, в зависимости от рассматриваемых конструктивных и технологических параметров смесителя с установленными стержнями цилиндрической формы перед рабочими поверхностями лопастей, рассчитать в определенном объеме двухкомпонентной сухой смеси значения концентрации ключевого компонента. Для возможности использования выражения (11) для математического описания процесса сухого смешивания двух компонентов в горизонтальном лопастном смесителе без стержней, высота стержней в этом выражении должна быть приравнена нулю ($h=0$).

Основная часть. С помощью программной среды *Maple* были выполнены исследования уравнения (11) и получены графические зависимости изменения концентрации ключевого компонента от конструктивных и технологических факторов (рис. 3).

Стоит отметить, что в рассматриваемом случае значение C_k было выбрано исходя из соотношения смешиваемых двух компонентов в пропорциях 1 к 5. Т.е. значение идеальной концентрации ключевого компонента $C_k=0,2$.

Увеличение α от минимальной величины приводит к повышению концентрации ключевого компонента (рис. 3, а). Так, при $t=30$ с, $\omega=1$ с⁻¹, минимальном значении расстояния от оси

вращения $r=0,1$ м и $\alpha_1=20^\circ$, $\alpha_2=35^\circ$, $\alpha_3=50^\circ$ концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{11}=0,43$, $C_{12}=0,51$, $C_{13}=0,55$. Значения функции изменяются на 0,12. При значении $r=0,2$ и рассматриваемых значениях α – $C_{14}=0,36$, $C_{15}=0,42$, $C_{16}=0,50$, соответственно. Значения функции изменяются на 0,14. При максимальном значении $r=0,35$ м и тех же α значения концентрации ключевого компонента соответственно составляют $C_{17}=0,30$, $C_{18}=0,32$, $C_{19}=0,34$. Изменение функции составляет 0,04. При рассмотренных значениях варьируемых параметров максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max1}=0,56$ достигается при значениях $r=0,1$ м, и $\alpha=55^\circ$, минимальное значение $C_{min1}=0,30$ достигается при значениях $r=0,35$ м, и $\alpha=20^\circ$.

Увеличение времени смешивания t приводит к снижению концентрации ключевого компонента (рис. 3, б). При $\alpha=30^\circ$, $\omega=1\text{с}^{-1}$, минимальном

значении $r=0,1$ м и $t_1=5$ с, $t_2=15$ с, $t_3=30$ с концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{21}=0,9$, $C_{22}=0,67$, $C_{23}=0,45$. Значения функции изменяются на 0,45. При значении $r=0,2$ м и тех же значениях t , концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{24}=0,72$, $C_{25}=0,53$, $C_{26}=0,34$. Изменение функции составляет 0,38. При максимальном значении $r=0,35$ м и выбранных значениях t концентрация ключевого компонента будет принимать следующие значения: $C_{27}=0,4$, $C_{28}=0,33$, $C_{29}=0,31$. Значения функции изменяются на 0,09. При рассмотренных значениях варьируемых параметров максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max2}=0,96$ достигается при значениях $r=0,1$ м, и $t=1$ с, минимальное значение $C_{min2}=0,31$ достигается при значениях $r=0,35$ м и $t=30$ с.

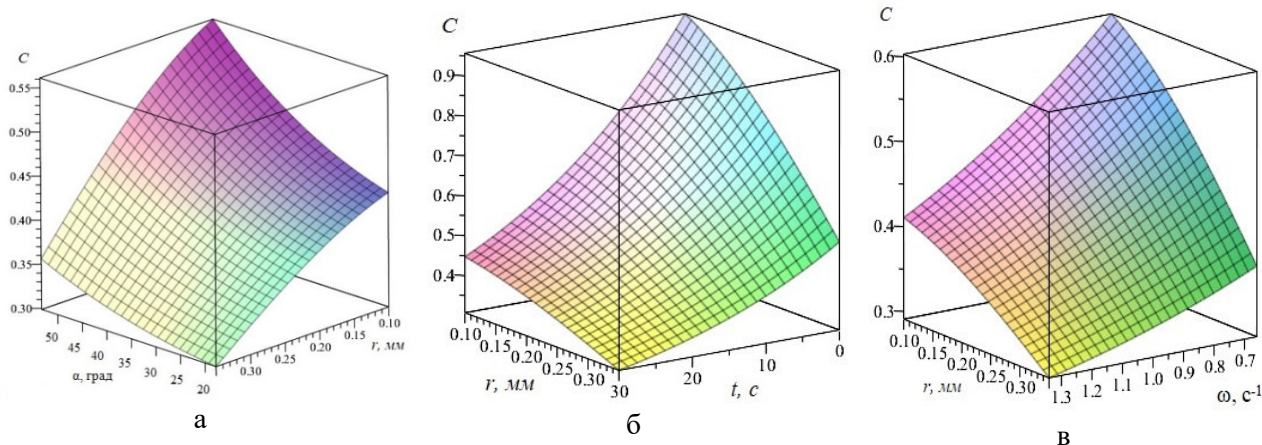


Рис. 3. Зависимость C для смесителя со стержнями от:

- а – расстояния r от оси вращения лопастного вала и угла установки лопастей α при $t=30$ с, $\omega=1\text{с}^{-1}$;
 б – расстояния r от оси вращения лопастного вала и времени смешивания t при $\alpha=30^\circ$ и $\omega=1\text{с}^{-1}$; в – расстояния r от оси вращения лопастного вала и частоты вращения лопастных валов ω при $t=30$ с и $\alpha=30^\circ$

Увеличение частоты вращения лопастных валов ω приводит к снижению концентрации ключевого компонента C (рис. 3, в). Так, при $t=30$ с, $\alpha=30^\circ$, минимальном значении расстояния от оси вращения $r=0,1$ м и $\omega_1=0,66\text{с}^{-1}$, $\omega_2=1,0\text{с}^{-1}$, $\omega_3=1,34\text{с}^{-1}$ концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{31}=0,60$, $C_{32}=0,51$, $C_{33}=0,41$. Значения функции изменяются на 0,19. При значении $r=0,2$ м и тех же значениях ω концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{34}=0,53$, $C_{35}=0,42$, $C_{36}=0,33$. Изменение функции составляет 0,2. При максимальном значении $r=0,35$ м и выбранных значениях ω концентрация ключевого компонента будет принимать следующие значения: $C_{37}=0,35$, $C_{38}=0,32$, $C_{39}=0,29$. Значения функции изменяются на 0,06. При рассмотренных значениях варьируемых параметров максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max3}=0,60$ достигается при значениях

$r=0,1$ м, и $\omega=0,66\text{с}^{-1}$, минимальное значение $C_{min3}=0,29$ достигается при значениях $r=0,35$ м, и $\omega=1,34\text{с}^{-1}$.

При рассмотрении областей значений варьируемых параметров $\alpha=20\dots50^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с, $\omega=0,66\text{с}^{-1}\dots1,34\text{с}^{-1}$ минимальное значение концентрации ключевого компонента в смесителе со стержнями $C_{min}^c=0,26$ достигается при рациональных величинах $\alpha_{рац}^c=20^\circ$, $r_{рац}^c=0,35$ м, $t_{рац}^c=30$ с, $\omega_{рац}^c=1,34\text{с}^{-1}$.

Для возможности сравнения изменений концентрации ключевого компонента в смесителе с установленными стержнями перед рабочей поверхностью лопасти и в смесителе без стержней, в выражении (33) полученного математического описания процесса смешивания компонентов высота стержней приравнивалась нулю ($h=0$). Все остальные варьируемые параметры изменялись в рассмотренных пределах. Это позволило исполь-

зовать указанное выражение для описания изменения концентрации ключевого компонента в смесителе без стержней и провести сравнительный анализ с полученными результатами для смесителя с установленными стержнями. Приведенные на рис. 4 графические зависимости для двухкомпонентной смеси характеризуют изменения концентрации ключевого компонента при отсутствии в смесителе стержней перед лопастями.

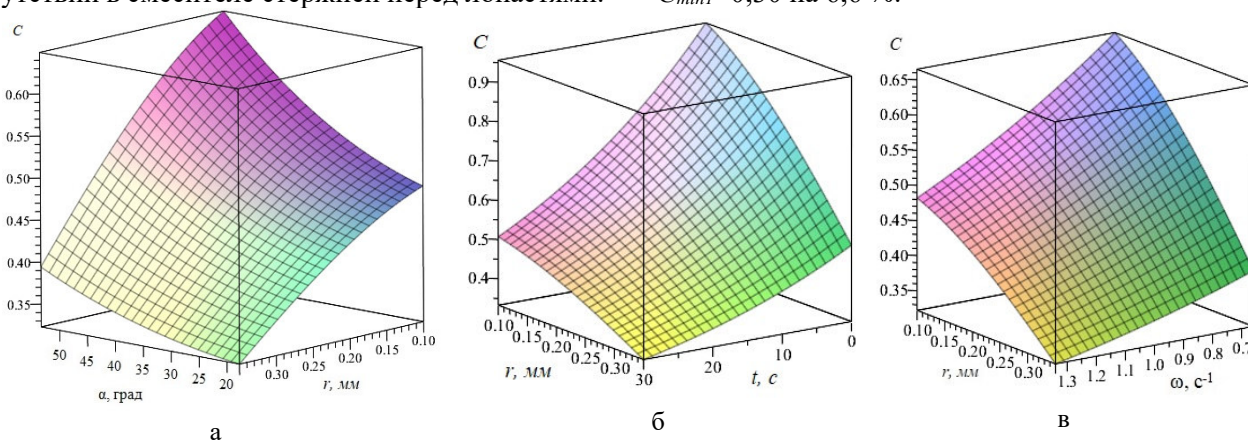


Рис. 4. Изменение C в смеси при отсутствии в смесителе стержней перед лопастями ($h=0$) в зависимости от: а – расстояния r от оси вращения лопастного вала и угла установки лопастей α при $t=30$ с, $\omega=1$ с $^{-1}$; б – расстояния r от оси вращения лопастного вала и времени смешивания t при $\alpha=30^\circ$ и $\omega=1$ с $^{-1}$; в – расстояния r от оси вращения лопастного вала и частоты вращения лопастных валов ω при $t=30$ с

При $\alpha=30^\circ$, $\omega=1$ с $^{-1}$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max5}=0,96$ достигается при значениях $r=0,1$ м и $t=1$ с, минимальное значение $C_{min5}=0,33$ достигается при значениях $r=0,35$ м и $t=30$ с (рис.4, б). Значение $C_{max5}=0,96$ равно значению $C_{max2}=0,96$, а значение $C_{min5}=0,33$ больше аналогичного значения $C_{min2}=0,31$ на 6%.

При $t=30$ с, $\alpha=30^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $\omega=0,66$ с $^{-1}\dots1,34$ с $^{-1}$ максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max6}=0,67$ достигается при значениях $r=0,1$ м, и $\omega=0,66$ с $^{-1}$, минимальное значение $C_{min6}=0,32$ достигается при значениях $r=0,35$ м, и $\omega=1,34$ с $^{-1}$ (рис.4, в). Значение $C_{max6}=0,67$ больше аналогичного значения $C_{max3}=0,60$ на 11,6%, а значение $C_{min6}=0,32$ больше аналогичного значения $C_{min3}=0,29$ на 9,3%.

При рассмотрении областей значений варьируемых параметров $\alpha=20\dots50^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с, $\omega=0,66$ с $^{-1}\dots1,34$ с $^{-1}$ минимальное значение концентрации ключевого компонента в смесителе без стержней $C_{min}^6=0,28$ достигается при рациональных величинах $\alpha_{рац}^6=20^\circ$, $r_{рац}^6=0,35$ м, $t_{рац}^6=30$ с, $\omega_{рац}^6=1,34$ с $^{-1}$.

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что смеситель с установленными стержнями позволяет получать смесь более высокого качества со значениями концентрации ключевого компонента более близкими к идеальному значению. При варьировании конструктивных и

Так, при $t=30$ с, $\omega=1$ с $^{-1}$, $r=0,1\dots0,35$ м, максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max4}=0,65$ достигается при значениях $r=0,1$ м и $\alpha=55^\circ$, минимальное значение $C_{min4}=0,32$ достигается при значениях $r=0,35$ м и $\alpha=20^\circ$ (рис.4, а). Значение $C_{max4}=0,65$ больше аналогичного значения $C_{max1}=0,56$ на 16 %, а значение $C_{min4}=0,32$ больше аналогичного значения $C_{min1}=0,30$ на 6,6 %.

технологических параметров смесителей со стержнями и без стержней в областях их значений $\alpha=20\dots50^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с, $\omega=0,66$ с $^{-1}\dots1,34$ с $^{-1}$ установлено, что минимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{min}^c=0,26$, достигаемое в смесителе с цилиндрическими стержнями, меньше этого показателя $C_{min}^6=0,28$ для смесителя без стержней на 7,7 %.

Выводы.

1. Показано распространение двухвалных лопастных смесителей на предприятиях строительных материалов при подготовке как сухих, так и пластичных смесей. Указана возможность интенсификации процесса смешивания компонентов смеси установкой перед рабочими поверхностями лопастей стержней цилиндрической формы.

2. Получено математическое описание процесса сухого смешивания двух компонентов в горизонтальном лопастном смесителе, позволяющее, в зависимости от его конструктивно-технологических параметров, рассчитать в определенном объеме смеси значения концентрации ключевого компонента как при установке стержней цилиндрической формы перед рабочими поверхностями лопастей, так и без стержней.

3. С использованием разработанного математического описания и программной среды Maple выполнены исследования изменения концентрации ключевого компонента для смесителя

с цилиндрическими стержнями в зависимости от его конструктивно-технологических параметров при изменяющихся значениях: $\alpha=20\dots50^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с, $\omega=0,66$ с⁻¹...1,34 с⁻¹. Для двухкомпонентной смеси при варьировании, в рассматриваемых областях значений, конструктивных и технологических параметров смесителя с расположенными перед рабочими поверхностями лопастей стержнями определены закономерности влияния этих параметров на изменение концентрации ключевого компонента и их рациональные значения. При сравнении значений этого показателя, полученных с использованием математического описания для смесей, приготовляемых в смесителях со стержнями и без стержней установлено, что смеситель со стержнями позволяет получать смесь более высокого качества со значениями концентрации ключевого компонента более близкими к идеальному значению. Минимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{\min}^c=0,26$ в смеси для смесителя с цилиндрическими стержнями, достигаемое при значениях $\alpha_{\text{рац}}^c=20^\circ$, $r_{\text{рац}}^c=0,35$ м, $t_{\text{рац}}^c=30$ с, $\omega_{\text{рац}}^c=1,34$ с⁻¹, меньше на 7,7 % минимального значения $C_{\min}^b=0,28$ этого показателя для смесителя без стержней, достигаемого при значениях $\alpha_{\text{рац}}^c=20^\circ$, $r_{\text{рац}}^c=0,35$ м, $t_{\text{рац}}^c=30$ с, $\omega_{\text{рац}}^c=1,34$ с⁻¹.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фадин Ю.М., Шеметова О.М. Сухие строительные смеси и смесительное оборудование для их производства // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. №12. С. 145–150. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-145-150
2. Yao Y., Feng Z., Chen S., Li B. Q., Zhao L., Zhao W. A Double-Blade Mixer for Concrete with Improved Mixing Quality // New Materials and Advanced Materials. 2016. No. 41. P. 4809–4816. DOI 10.1007/s13369-016-2151-1
3. Yao Y., Feng Z., Chen S. Strength of concrete reinforced using double-blade mixer // New Materials and Advanced Materials. 2013. No. 65. P. 787–792. DOI 10.1680/macr.12.00221
4. Баженов, Ю. М., Коровяков В. Ф., Денисов Г. А. Технология сухих строительных смесей. М: Издательство АСВ, 2003. 96 с.
5. Дёмин О. В., Першин В. Ф., Смолин Д. О. Интенсификация смешивания сыпучих материалов в лопастном смесителе // Химия и химическая технология. 2012. №8. С. 108–111. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17082579> (дата обращения 11.08.2021)
6. Маслов А.Г., Саленко Ю.С. Исследование взаимодействия лопатки вибрационного смесителя бетонной смесью. // Вестник ХНАДУ. 2014. № 65-66. С. 44 – 48. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23059666> (дата обращения 17.09.2021)
7. Алексеев А.В., Шищенко Е.В. Исследование рабочего процесса роторного разбрасывателя сыпучих грузов с криволинейным профилем лопастей // Вестник НГИЭИ. 2018. №7. С. 29–39. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35185288> (дата обращения 12.11.2021)
8. Пат.192657, Российская Федерация, МПК В28С 5/14, В01F 7/04 Смеситель материалов / С.И. Ханин, Н.О. Кикин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». №2019119931; заявл. 25.06.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 27. 6 с.
9. Rovero G., Piccinini N. Particle mixing and segregation // Spouted and Spout-Fluid Beds: Fundamentals and Applications. 2011. No. 11. Pp. 141–160. DOI 10.1017/CBO9780511777936.009
10. Valigi M.C., Logozzo S., Landi L., Braccesi C., Galletti L. Twin-Shaft Mixers' Mechanical Behavior Numerical Simulations of the Mix and Phases // Machines. 2019. No. 7. Pp. 39–52. DOI 10.3390/machines7020039
11. Valigi M.C., Gasperini I. Model-based method predicting useful life of concrete mixers // Plant Precast Technol. 2020. No. 71. Pp. 38–42. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887012955&partnerID=MN8TOARS> (дата обращения 14.09.2021)
12. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
13. Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа. М.: Машиностроение, 2009. 220 с.
14. Веригин А.Н., Незамаев Н.А., Данильчук В.С. Машины и аппараты переработки дисперсных материалов. Основы проектирования. ЭБС Лань, 2018. 536 с.
15. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. Москва: Издательство Юрайт, 2019. 403 с.

Информация об авторах

Ханин Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: dh@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронов Виталий Павлович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: v.p.voronov2018@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кикин Николай Олегович, аспирант кафедры механического оборудования. E-mail: nikolaykikin@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мордовская Ольга Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: unique.ox@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 11.10.2021 г.

© Ханин С.И., Воронов В.П., Кикин Н.О., Мордовская О.С., 2022

**Khanin S.I., Voronov V.P., Kikin N.O., Mordovskaya O.S.,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: dh@intbel.ru

CHANGE IN CONCENTRATION OF THE KEY COMPONENT OF THE MIXTURE DURING MIXING IN THE TRANSVERSE DIRECTION IN DUAL SHAFT MIXER WITH RODS INSTALLED IN FRONT OF THE BLADE

Abstract. *In the construction materials industry, twin-shaft paddle mixers are common in the preparation of both dry and plastic mixes. When the blade rotates in a mixed medium, a compacted zone of mixed components is formed immediately in front of its working surface. This compaction negatively affects the quality of the mixture preparation, characterized by the homogeneity of the resulting mixture. In order to influence the compacted area, to intensify the mixing process, cylindrical rods are installed in front of the working surface of the blade. A mathematical description of the process of dry mixing of two components in a horizontal paddle mixer is obtained. It allows, depending on the design and technological parameters that most affect this process, to calculate the concentration of the key component in a certain volume of the mixture, both when installing cylindrical rods in front of the working surface of the blade, and without rods. Studies of changes in the concentration of a key component for a mixer with rods have been carried out with varying values of its design and technological parameters. Regularities of the influence of design and technological parameters on the change in the concentration of the key component in a certain volume of the mixture and their rational values have been determined for a mixer with rods. When comparing the values of the concentrations of the key component obtained using the mathematical description for mixtures prepared in mixers with and without rods, it was found that the mixer with rods allows you to obtain a mixture of higher quality with the concentration values of the key component closer to the ideal value.*

Keywords: *mixing, paddle twin-shaft mixer, concentration of the key component, cylindrical rods.*

REFERENCES

1. Fadin Yu.M., Shemetova O.M. Dry construction mixtures and mixing equipment for their production [Suhie stroitelnie smesi i smesitelnoe oborudovaniya dlya ih proizvodstva]. Bulletin BGTU named after V.G. Shukhova. 2020. No. 12. Pp. 145-150. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-145-150 (rus)
2. Yao Y., Feng Z., Chen S., Li B.Q., Zhao L., Zhao W. A Double-Blade Mixer for Concrete with Improved Mixing Quality. *New Materials and Advanced Materials*. 2016. No. 41. P. 4809–4816. DOI 10.1007/s13369-016-2151-1
3. Yao Y., Feng Z., Chen S. Strength of concrete reinforced using double-blade mixer. *New Materials and Advanced Materials*. 2013. No. 65. P. 787–792. DOI 10.1680/macr.12.00221
4. Bazhenov Yu. M., Korovyakov V. F., Denisov G. A. Dry mortar technology. [Tehnologiya suhih stroitelnih smesei]. M: Publishing house ACB, 2003, 96 p. (rus)
5. Demin O.V., Pershin V.F., Smolin D.O. Intensification of mixing of bulk materials in a paddle mixer [Intensifikatsiya smeshivaniya sypuchikh materialov v lopastnom smesitele]. *Chemistry and Chemical Technology*. 2012. No. 8. Pp. 108–111.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17082579> (date of treatment 11.08.2021) (rus)

6. Maslov A.G., Salenko Yu.S. Investigation of the interaction of a vibration mixer blade with a concrete mixture [Issledovanie vzaimodeistviya lopatki vibracionnogo smesitelya betonnoi smesy]. Bulletin of KhNARU. 2014. No. 65-66. Pp. 44-48.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23059666> (date of treatment 17.09.2021) (rus)

7. Alekseev A.V., Shishchenko E.V. Research of the working process of a rotary spreader of bulk cargo with a curved blade profile [Issledovanie rabocheho protsessa rotornogo razbrasyvatelya sypuchikh gruzov s krivolineynym profilom lopastey]. Bulletin of NNSEaEU, 2018. 7. 10. Pp. 29-39.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35185288> (date of treatment 12.11.2021) (rus)

8. Khanin S.I., Kikin N.O. Material mixer. Patent RF, no. 192657, 2019.

9. Rovero G., Piccinini N. Particle mixing and segregation. Spouted and Spout-Fluid Beds: Fundamentals and Applications. 2011. No. 11. Pp. 141-160. DOI 10.1017/CBO9780511777936.009

10. Valigi M. C., Logozzo S., Landi L., Braccesi C., Galletti L. Twin-Shaft Mixers' Mechanical

Behavior Numerical Simulations of the Mix and Phases. Machines. 2019. No. 7. Pp. 39-52. DOI 10.3390/machines7020039

11. Valigi M.C., Gasperini I. Model-based method predicting useful life of concrete mixers. Plant Precast Technol. 2020. No. 71. Pp. 38-42.

URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887012955&partnerID=MN8TOARS> (date of treatment 14.09.2021)

12. Makarov Yu.I. Apparatus for mixing bulk materials [Apparati dlya smeshivaniya sipuchih materialov]. M.: Mechanical Engineering, 1973, 216 p. (rus)

13. Pershin V.F., Odnolko V.G., Pershina S.V. Processing of loose materials in drum-type machines [Pererabotka sypuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa]. M.: Mashinostroenie, 2009, 220 p. (rus)

14. Verigin A.N., Nezamaev N.A., Danilchuk V. S. Machines and devices for processing dispersed materials. Basics of design [Mashiny i apparaty pererabotki dispersnykh materialov. Osnovy proektirovaniya.]. Lan', 2018, 536 p. (rus)

15. Kafarov V.V., Glebov M.B. Mathematical modeling of the main processes of chemical production [Matematicheskoe modelirovanie osnovnykh protsessov khimicheskikh proizvodstv]. Publishing House Yurayt, 2019, 403 p. (rus)

Information about the authors

Khanin, Sergei I. DSc, Professor. E-mail: sergiykhani@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronov, Vitaly P. Ph.D., Professor. E-mail: v.p.voronov2018@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kikin, Nikolay O. Postgraduate student. E-mail: nikolaykikin@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mordovskaya, Olga S. PhD, Assistant professor. E-mail: unique.ox@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 11.10.2021

Для цитирования:

Ханин С.И., Воронов В.П., Кикин Н.О., Мордовская О.С. Исследование изменения концентрации ключевого компонента сухой смеси в горизонтальном лопастном смесителе с цилиндрическими стержнями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 94-101. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101

For citation:

Khanin S.I., Voronov V.P., Kikin N.O., Mordovskaya O.S. Change in concentration of the key component of the mixture during mixing in the transverse direction in dual shaft mixer with rods installed in front of the blade. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 94-101. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101