



The scientific bases and the methods of intensification of the molding materials mixing processes in new generation of mixing units of whirling type are developed.

А. П. МЕЛЬНИКОВ, ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

УДК 621.74

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ В ВЫСОКОСКОРОСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Введение

Нестабильное качество формовочной смеси, получаемой в условиях литейного производства, предопределило интерес исследователей к проектированию новых видов смесителей с использованием математических моделей процесса смесеприготовления. От качества приготовления смеси существенно зависит качество получаемой формы и, как следствие, качество получаемых отливок. Поэтому задача о смешивании формовочных материалов представляет большой прикладной и теоретический интерес.

Таким образом, цель работы заключается в разработке научных основ и методов интенсифика-

ции процессов смешивания формовочных материалов в новом поколении смесительных агрегатов вихревого типа, обеспечивающих повышение производительности, снижение удельных энергозатрат и повышение качества формовочной смеси за счет организации направленного движения материальных потоков в рабочем объеме смесеприготовительного аппарата.

На проведение процесса смешивания большое влияние оказывает характер смешиваемых компонентов. Если частицы отличаются только по минералогическому составу, то процесс смешивания носит чисто стохастический характер. Движущая сила процесса отсутствует, так как вероятность

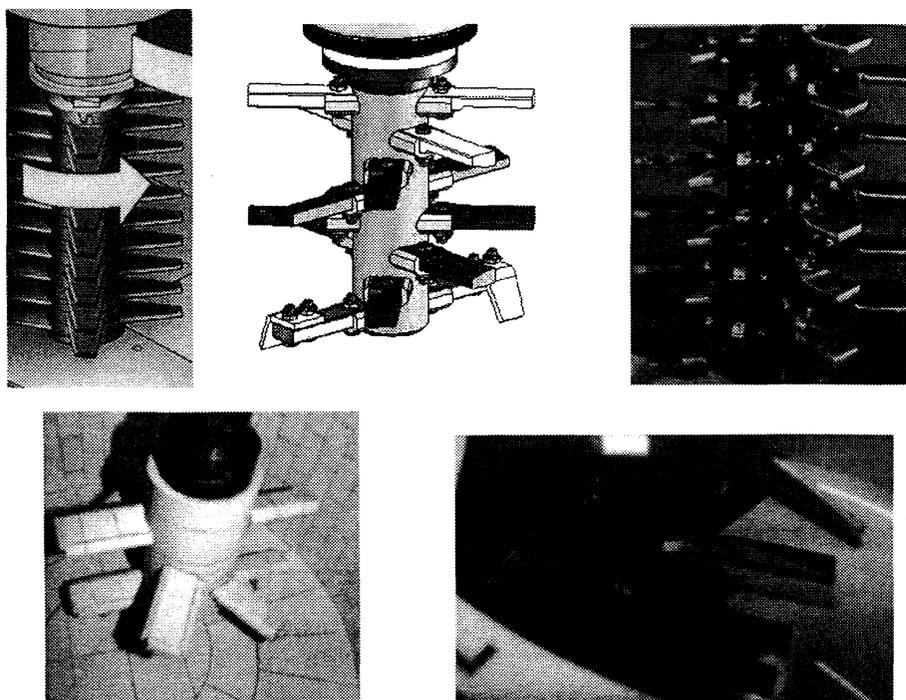


Рис. 1. Общие виды различных вихревых головок

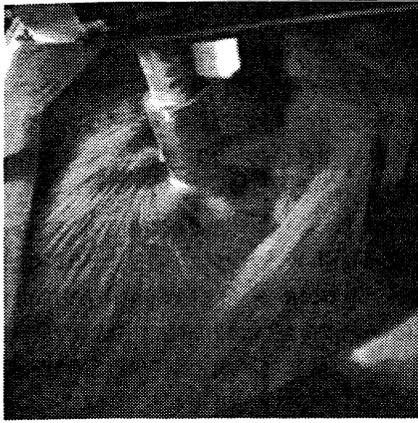


Рис. 2. Поток смеси в вихревом смесителе

перехода из одного подслоя в другой не зависит от концентрации компонентов в этих подслоях. Иначе обстоит дело, когда компоненты отличаются друг от друга, например, размерами частиц. В этом случае, чем меньше концентрация мелкой фракции в слоях, находящихся ближе к центру циркуляции, тем больше вероятность перехода мелких частиц в эти слои из слоев, прилежащих к стенке смесителя [1].

При смешивании механизм смесителя (рис. 1, вихревая головка) создает в объеме смеси организованный поток составляющих (рис. 2). Внутри этого потока отдельные частицы, соударяясь, движутся беспорядочно. Процесс их движения, траектории подчиняются законам теории вероятности [2].

Процесс смешения в вихревом смесителе сыпучих материалов состоит из следующих элементарных процессов: 1) перемещение группы смежных частиц из одного места смеси в другое внедрением, скольжением слоев (процесс конвективного смешивания); 2) постепенное перераспределение частиц различных компонентов через свежобразованную границу их раздела (процесс диффузионного смешивания); 3) сосредоточение частиц, имеющих одинаковую массу в соответствующих местах смесителя под действием гравитационных или инерционных сил (процесс сегрегации). При перемешивании сыпучих материалов в смесителе одновременно протекают все три элементарных процесса [3].

Процесс смешивания в скоростных смесителях периодического действия достаточно хорошо описывают вероятностные модели на базе марковских цепей. Они достаточно хорошо разработаны для случая приготовления двухкомпонентных смесей, а результаты расчетов по ним хорошо согласуются с экспериментальными данными. Этим фактом обусловлен выбор подхода, который будет использован для описания процесса получения многокомпонентных смесей [4].

Анализ процесса сегрегации многокомпонентной смеси

Наиболее важным достоинством моделей, использующих аппарат цепей Маркова, является то, что они позволяют учитывать процесс сегрегации частиц, разных по размерам или плотностям. Адаптация данных моделей к описанию процесса приготовления многокомпонентных смесей является весьма актуальной задачей.

Ряд смесителей, используемых в смесеприготовительных отделениях литейных цехов, имеют детерминированный характер движения рабочих органов. Это катковые смесители, лопастные, шнековые, вибрационные, вихревые. Качественный анализ показывает, что движение сыпучего материала в данных смесителях также имеет детерминированный характер. Более того, при смешивании двух компонентов, отличающихся размерами или плотностью частиц, наблюдается целенаправленное движение частиц с одинаковыми свойствами в определенные зоны смесителя, которые обычно называют центрами сегрегации [5]. Таким образом, при приготовлении смесей из компонентов, отличающихся свойствами (размером, формой, плотностью и т. д.) частиц, движущей силой процесса является целенаправленное движение отдельных компонентов в определенные зоны смесителя, т. е. движущей силой процесса является склонность компонентов к сегрегации. Учитывая сказанное выше, при моделировании процесса приготовления многокомпонентной смеси целесообразно анализировать механизм процесса сегрегации, а смешивание рассматривать как результат сегрегации компонентов [6].

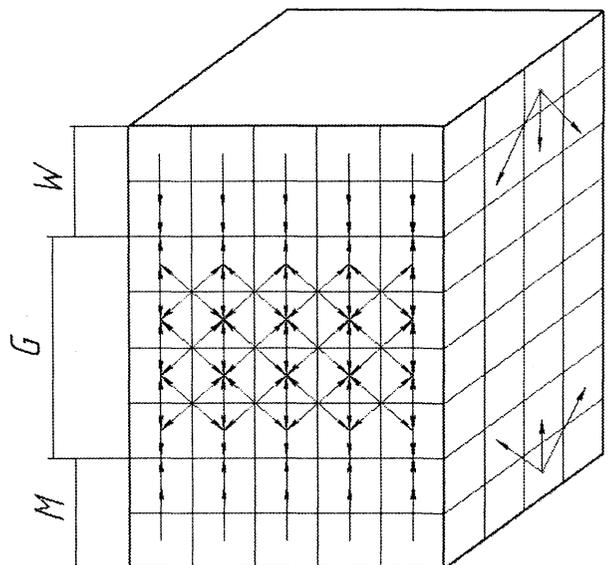


Рис. 3. Схема движения элементов в объеме смесителя

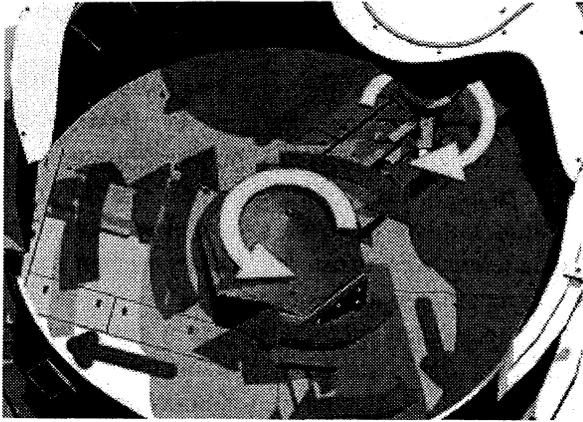


Рис. 4. Направление векторов потоков формовочной смеси в вихревом смесителе (темные стрелки – движение смеси, светлые – направление движения смешивающих механизмов)

Рассмотрим механизм сегрегации в продольном сечении смесителя на примере трехкомпонентной смеси, состоящей из частиц A , B , C . При циркуляционном движении материала в продольном сечении смесителя можно выделить поднимающийся, активный и скатывающийся слой (рис. 3). В поднимающемся слое частицы смеси подбрасываются скребками вверх и переходят в активный слой. При движении в активном слое (вследствие рыхлой структуры последнего) частицы могут перемещаться по направлению к центру циркуляции или, наоборот, смещаться в периферийные слои. В результате этого осуществляются процессы смешивания и сегрегации частиц. Из активного слоя частицы смеси попадают в слой скатывания, в котором они движутся вниз под действием собственной массы и вновь переходят в активный слой. Таким образом, весь материал движется по замкнутому циркуляционному контуру (рис. 4).

При использовании ячейочной модели весь материал разделяют на слои и подслои, а каждый подслой на элементарные ячейки. Делается допущение, что состояние системы, т. е. концентрация ключевого компонента в элементарных ячейках изменяется скачкообразно в результате последовательных переходов. За один переход принимают промежуток физического времени, за который частица смещается на высоту одного элемента разностной сетки [7].

Для количественной характеристики склонности двухкомпонентной смеси к сегрегации используют коэффициент P_0 , который определяют при идентификации параметров математической модели [8]. Численно он равен вероятности перехода частиц ключевого компонента в элементарный объем, находящийся ближе к центру циркуляции (при нулевой концентрации в нем этого компонента), при смешивании двух компонентов, склонных

к сегрегации. Вероятность P_0 – комплексная характеристика, которая определяется свойствами частиц компонентов смеси и учитывает их отличие. При разработке механизма сегрегации многокомпонентной смеси представляется целесообразным использование комплексной характеристики склонности тех или иных частиц к сегрегации. В качестве этой характеристики может быть использована величина P_0 . Вследствие отсутствия механизма определения коэффициента, характеризующего вероятность перехода первого компонента в ячейку, содержащую два других компонента, с последующим вытеснением одного из них или обоих в ячейку, содержащую первый компонент, воспользуемся коэффициентом, характеризующим взаимопроникновение двух компонентов. При моделировании процесса сегрегации многокомпонентную смесь рассматриваем как сочетание нескольких двухкомпонентных и учитываем значения P_0 для всех двухкомпонентных сочетаний. Например, для трехкомпонентной смеси необходимо рассмотреть следующие двухкомпонентные сочетания: $A+B$, $A+C$, $B+C$. С помощью данного подхода можно описать процесс приготовления смесей, состоящих из четырех и более компонентов, используя вероятности перехода двухкомпонентных составляющих.

Постановка задачи

Пусть $Oxyz$ – декартова система координат, p – радиус-вектор произвольной частицы в начальный момент времени $t = 0$. Радиус-вектор этой же частицы в момент времени t обозначим через $r(p, t)$. Пусть от момента $t = 0$ до момента $t = T$ со смесью производятся некоторые манипуляции. Результатом смешивания от $t = 0$ до $t = T$ является новое положение частиц. Например, частица p займет новое положение $r(p, T)$. Можно сказать также, что результатом смешивания за время от 0 до T является перемещение частицы p на вектор $L = r(p, T) - p$. Аналогичные перемещения реализуются за промежуток времени от T до $2T$ и т. д. Таким образом, весь процесс смешивания от момента $t = (N-1)T$ до $t = NT$ можно описать одной функцией:

$$L(p, NT) = r(p, NT) - r(p, (N-1)T). \quad (1)$$

Величина L играет ту же роль, что и свободный пробег молекулы газа в теории диффузии газов. Смещение L – величина случайная. Пусть $F d\Omega$ – вероятность того, что вектор смещения имеет длину в интервале от L до $L + \Delta L$ и лежит внутри конуса с углом при вершине $d\gamma$ и осью, направленной вдоль единичного вектора e ($d\Omega$ – соответствующий объем).

Известно, что многократная реализация случайных пробегов (1) в ограниченном объеме приводит к равномерному распределению компонент. Пробеги образуют случайное векторное поле. Это означает, что в поведении различных частиц есть определенная связь. Основная из них выражается в том, что реализация поля (1) переводит одну упаковку частиц в другую, т. е. в исходном состоянии нет перекрывания частиц и каждая из них имеет достаточное число контактов с соседями. Для описания случайного поля можно использовать многомерные плотности вероятности. Аналитическая формулировка необходимых условий для функции F никаких трудностей не представляет: в идеальном случае $F = \text{const}$ для значений L и e , которые не выводят частицу из объема V , и $F = 0$ в противном случае.

Пусть емкость смесителя представляет собой прямоугольный параллелепипед (рис. 5). В объеме смесителя выделим следующие слои: W – скатывающийся слой (расположен в подслое $j = w, w + 1, \dots, w_1$, где w_1 – количество ячеек в слое W в направлении оси z), G – активный слой (расположен в подслое $j = g, g + 1, \dots, g_1$, где g_1 – количество ячеек в слое G в направлении оси z), M – поднимающийся слой (расположен в подслое $j = 1, 2, \dots, m_1$, где m_1 – количество ячеек в слое M в направлении оси z). Объем материала, загруженного в смеситель, образует слой V . Частицы, находящиеся в данном слое, имеют индексы (i, j, k) : $i = 1, \dots, i_1$; $j = 1, \dots, J$; $k = 1, \dots, k_1$. Здесь i_1, k_1 – количество ячеек в направлениях x и y соответственно; J – количество ячеек в направлении z .

Ячеечная модель смешивания начинается с разделения слоев сыпучего материала на ряд элементарных участков. Разобьем весь объем парал-

лелепипеда, где могут оказаться частицы, на кубические элементы. В каждом узле определим числа $a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}$. Первое характеризует концентрацию материала A в элементе, второе – материала B , третье – материала C .

В процессе смешивания концентрации частиц меняются. Одному преобразованию ($\Delta t = 1$) соответствует промежуток физического времени, за который частица смещается на высоту одного элемента разностной сетки.

В начальный момент времени $t = 0$ в точках V задаются числа $a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk} = 1 - (a_{ijk} + b_{ijk})$, в остальных точках – нули.

Обозначим через h_{ik} глубину ячейки с координатами (i, k) . Элементы h_{ik} образуют матрицу $H = (h_{ik})$. Пусть $n = i_1 k_1$ – общее число ячеек в горизонтальном сечении. Перенумеруем их в порядке возрастания глубины. За единицу длины выберем глубину самой мелкой ячейки, тогда через h_1 обозначим глубину ячейки с номером i и $h_{\min} = 1 = h_1 < h_2 < \dots < h_n = h_{\max}$. Пусть S спектр глубин ячеек: $S = (h_1, h_2, \dots, h_n)$.

Необходимо выяснить, каким должен быть спектр глубин ячеек S , каково должно быть взаимное расположение ячеек, имеющих разную глубину, т. е. какова должна быть матрица H , чтобы процесс смешивания был наиболее эффективным. Необходимо отметить, что выбор глубины самой мелкой ячейки осуществляется следующим образом: $h_{mm} \geq h_0$, где h_0 – максимальный из диаметров смешиваемых компонентов.

Считаем, что состояние системы, т. е. концентрация компонентов в подслоях, изменяется скачкообразно. Таким образом, для того чтобы рассчитать состояние системы в момент времени T , необходимо последовательно рассмотреть изменения концентрации ключевых компонентов за N переходов, где $N = T/t$. Следует особо отметить, что на каждом переходе последовательно реализуются фазы обмена частицами ключевых компонентов между всеми ячейками, а количество этих фаз зависит от числа смешиваемых компонентов.

Построение ячейечной модели процесса смешивания с учетом сегрегации компонентов

Для характеристики содержания всех трех компонентов в одной ячейке необходимо использовать понятие концентрации каждого из компонентов в ячейке. Для трехкомпонентной смеси достаточно использовать величины концентраций двух из них a_{ijk} и b_{ijk} . Концентрацию третьего компонента в ячейке (i, j, k) можно найти по зависимости:

$$c_{ijk} = 1 - (a_{ijk} + b_{ijk}), \quad i = 1, 2, \dots, i_1; \quad k = 1, 2, \dots, k_1;$$

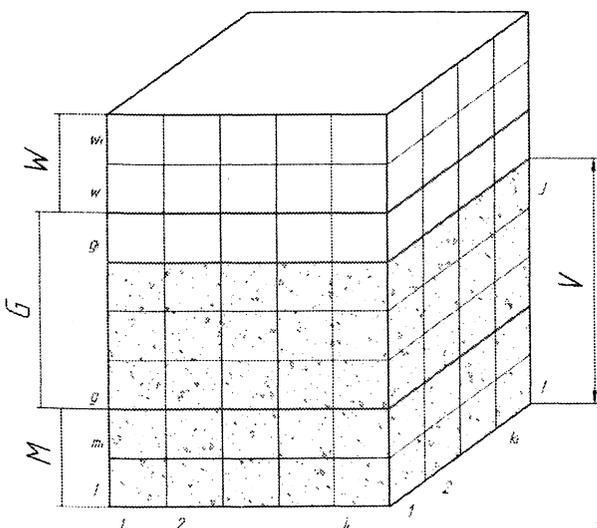


Рис. 5. Схема расположения слоев в объеме смесителя

$$j = 1, 2, \dots, J.$$

Поэтому, хотя эта концентрация и не будет представлена в формировании матриц, определяющих концентрации компонентов в каждой из ячеек, ее величину для каждой ячейки всегда будет несложно рассчитать.

Для успешного функционирования модели потребуются также коэффициенты P_{0AB} , P_{0AC} , P_{0BC} , определяющие вероятность перехода одного из компонентов в ячейку, лежащую ближе к центру циркуляции и содержащую другой компонент.

Первоначальное состояние системы, т. е. содержание исходных компонентов в каждой из ячеек, определяется характером и последовательностью их загрузки в смеситель.

В процессе обмена частицами между различными соприкасающимися ячейками возможны три варианта: 1) частица компонента, участвующего в обмене на данной фазе перехода, перешла в соседний объем вышележащего подслоя; 2) частица перешла в соседний объем нижележащего подслоя; 3) частица осталась в данной ячейке.

Исключение составляет лишь первый подслей, частицы которого могут обмениваться с ячейками вышележащего подслоя или оставаться в той же элементарной ячейке, а также последний подслей. Для ячеек этого подслоя возможны два варианта: 1) остаться в данной ячейке данного подслоя; 2) перейти в соседнюю ячейку нижележащего подслоя.

Для случая приготовления многокомпонентных смесей эти варианты обмена должны рассчитываться на каждой фазе перехода, причем обмен будет осуществляться лишь с той частью объема элементарной ячейки, которая заполнена компонентом, участвующим в обмене на данной фазе перехода.

Пусть коэффициенты вероятности перехода компонентов смеси располагаются в порядке убывания в соответствии с неравенством: $P_{0AC} > P_{0BC} > P_{0AB}$.

Рассмотрим все фазы перехода частиц из первого подслоя во второй. В данном переходе участвуют элементарные объемы j и $j + 1$.

В этом случае объем j находится на дне смесителя, а объем $j + 1$ располагается непосредственно над ним во втором подслое.

Концентрацию первого компонента в ячейках j и $j + 1$ обозначим через c_{ijk} и c_{ij+1k} , второго компонента – через b_{ijk} и b_{ij+1k} , концентрация третьего компонента в этих ячейках может быть найдена по зависимостям:

$$\begin{aligned} c_{ijk} &= 1 - (a_{ijk} + b_{ijk}), \\ c_{ij+1k} &= 1 - (a_{ij+1k} + b_{ij+1k}). \end{aligned}$$

Однако эти концентрации непосредственно в расчетах представлены не будут.

Первой фазой перехода будем считать переход первого компонента из элементарного объема j в элементарный объем $j + 1$ с последующим вытеснением из последнего третьего компонента C . Вероятность перехода $P_{AC}(t + 1)$ компонента A из ячейки j в ячейку $j + 1$ на данной фазе перехода в момент времени $t = t + 1$ равна:

$$P_{AC}(t + 1) = P_{0AC}(1 - (a_{ij+1k}(t) + b_{ij+1k}(t))),$$

где P_{0AC} – вероятность перехода компонента A в ячейку, содержащую компонент C ; $a_{ij+1k}(t)$, $b_{ij+1k}(t)$ – концентрация компонентов A , B соответственно в ячейке $j + 1$ в момент времени t .

Как видно из этой формулы, вероятность обмена непосредственно зависит от двух параметров: коэффициента вероятности перехода первого компонента в ячейку, содержащую третий компонент P_{0AB} , и от объема, занятого третьим компонентом в ячейке $j + 1$, причем с увеличением этого объема увеличивается и вероятность $P_{AC}(t + 1)$.

Тогда количество компонента A , содержащегося в ячейке $j + 1$ после этой фазы перехода, будет равно:

$$a_{ij+1k}(t + 1) = P_{AC}(t + 1) a_{ijk}(t) + a_{ij+1k}(t).$$

Левая часть суммы представляет собой объем первого компонента, перешедшего из ячейки j в ячейку $j + 1$. Она равна произведению вероятности обмена $P_{AC}(t + 1)$ на концентрацию. Вторая часть суммы представляет собой содержание компонента A в ячейке $j + 1$ перед данной фазой обмена.

Как видно из приведенной зависимости, на данной фазе перехода содержание первого компонента, более склонного к сегрегации, чем третий компонент, в ячейке, лежащей ближе к центру циркуляции, увеличивается. Это отражает влияние механизма сегрегации на процесс обмена компонентами.

Так как величина объема каждой из элементарных ячеек после любой фазы перехода должна оставаться неизменной, количество третьего компонента, перешедшего из ячейки $j + 1$ в ячейку j , должно строго соответствовать количеству первого компонента, перешедшего из ячейки j в ячейку $j + 1$, т. е. объемы вытесняемого и вытесняющего компонентов равны на любой фазе перехода:

$$c_{ijk}(t + 1) = P_{AC}(t + 1) a_{ijk}(t) + c_{ijk}(t),$$

где $P_{AC}(t + 1) a_{ijk}(t)$ – объем третьего компонента, вытесненного из элементарной ячейки $j + 1$ первым компонентом.

Рассмотрим вторую фазу перехода. Результатом этой фазы должно быть вытеснение вторым

компонентом из ячейки j третьего компонента, содержащегося в ячейке $j + 1$.

Зная величину вероятности перехода P_{0BC} , можно определить вероятность обмена $P_{BC}(t + 1)$:

$$P_{BC}(t + 1) = P_{0BC}(1 - (a_{ij+1k}(t) + b_{ij+1k}(t))),$$

где $a_{ij+1k}(t)$ – содержание первого компонента в ячейке $j + 1$ после первой фазы перехода.

Содержание второго компонента в ячейке $j + 1$ после второй фазы перехода можно рассчитать по зависимости:

$$b_{ij+1k}(t + 1) = P_{BC}(t + 1) b_{ijk}(t) + b_{ij+1k}(t).$$

Объем вытесненного третьего компонента равен $P_{BC}(t + 1)b_{ijk}(t)$ и его содержание в ячейке j еще увеличится:

$$c_{ijk}(t + 1) = P_{BC}(t + 1) b_{ijk}(t) + c_{ijk}(t).$$

На третьей фазе перехода произойдет вытеснение второго компонента из ячейки $j + 1$ первым компонентом из ячейки j .

Вероятность этой фазы обмена определяется зависимостью:

$$P_{AB}(t + 1) = P_{0AB} b_{ij+1k}(t).$$

Содержание первого и второго компонентов после этой фазы перехода определяется по зависимостям:

$$a_{ij+1k}(t + 1) = P_{AB}(t + 1) a_{ijk}(t) + a_{ij+1k}(t),$$

$$b_{ijk}(t + 1) = P_{AB}(t + 1) a_{ijk}(t) + b_{ijk}(t).$$

Чтобы полностью охарактеризовать состояние системы после последней фазы перехода, необходимо определить концентрации $a_{ijk}(t + 1)$ и $b_{ij+1k}(t + 1)$:

$$a_{ijk}(t + 1) = a_{ijk}(t) - P_{AB}(t + 1) a_{ijk}(t),$$

$$b_{ij+1k}(t + 1) = b_{ij+1k}(t) - P_{AB}(t + 1) a_{ijk}(t).$$

В реальных расчетах концентрация $c_{ijk}(t + 1)$ на первых двух фазах перехода не определяется, вместо нее рассчитывается содержание первого компонента, оставшегося в ячейке j после первой фазы перехода:

$$a_{ijk}(t + 1) = a_{ijk}(t) - P_{AC}(t + 1) a_{ijk}(t),$$

а также содержание второго компонента, оставшегося в ячейке j после второй фазы перехода:

$$b_{ijk}(t + 1) = b_{ijk}(t) - P_{BC}(t + 1) b_{ijk}(t).$$

На практике процесс смешивания не носит ярко выраженного фазового характера, но, очевидно,

но, что в механизме сегрегации в первую очередь будут участвовать компоненты, наиболее склонные к ней и лишь затем компоненты, менее склонные к сегрегации.

Рассмотрим численную реализацию процесса движения материала в части W . В данном слое происходит смещение материала вниз под действием собственной массы:

$$a_{ijk}(t + 1) = a_{ijk}(t) + Va_{ij+1k}(t) - Va_{ijk}(t),$$

$$j = w, w + 1, \dots, w + w_1 - 1,$$

$$a_{ijk}(t + 1) = (1 - V)a_{ijk}(t), j = w + w_1.$$

Активные слои устройства горизонтального смешивания G работают следующим образом: если на него приходят компоненты (a_{ijk} , b_{ijk} , c_{ijk}), то часть их поступает в элемент, расположенный непосредственно под узлом и над узлом, часть разбрасывается на соседние узлы:

$$a_{ijk}(t + 1) = a_{ij+1k}(t), j = g,$$

$$a_{ijk}(t + 1) = a_{ij-1k}(t), j = g + g_1,$$

$$a_{ijk}(t + 1) = a_{ijk}(t) + P_{AB}(t) a_{ij+1k}(t - 1) +$$

$$P_{AB}(t) a_{ij-1k}(t - 1) + P_{AC}(t + 1) a_{ij+1k}(t) + P_{AC}(t + 1) a_{ij-1k}(t),$$

$$j = g + 1, \dots, g + g_1 - 1.$$

Движение материала в слое M характеризуется следующими уравнениями:

$$a_{ijk}(t + 1) = (1 - V)a_{ijk}(t), j = 1,$$

$$a_{ijk}(t + 1) = a_{ijk}(t) + Va_{ij-1k}(t) - Va_{ijk}(t), j = 2, \dots, m_1.$$

Вторая и третья компоненты преобразуются по таким же законам.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим вопрос о способах оценки качества смеси. Соотношение компонентов в произвольных точках смеси – величина случайная. Чтобы оценивать качество смешивания, выделяем один компонент, называемый ключевым. По степени распределения ключевого компонента в материале можно судить о качестве смеси. Здесь материал A выбран в качестве ключевого компонента. Вычислялись две оценки качества смеси после окончания каждого цикла:

$$K_c = \max_{i,j,k} |a_{j,k} - a^0|,$$

$$K_L = \frac{1}{\sqrt{M_V}} \sqrt{\frac{b_0}{a_0} \left[\sum_{(i,j,k) \in V} (a_{j,k} - a^0)^2 \right]}.$$

Здесь M_V – число узлов, принадлежащих объему V . Первая оценка самая жесткая – по наиболее

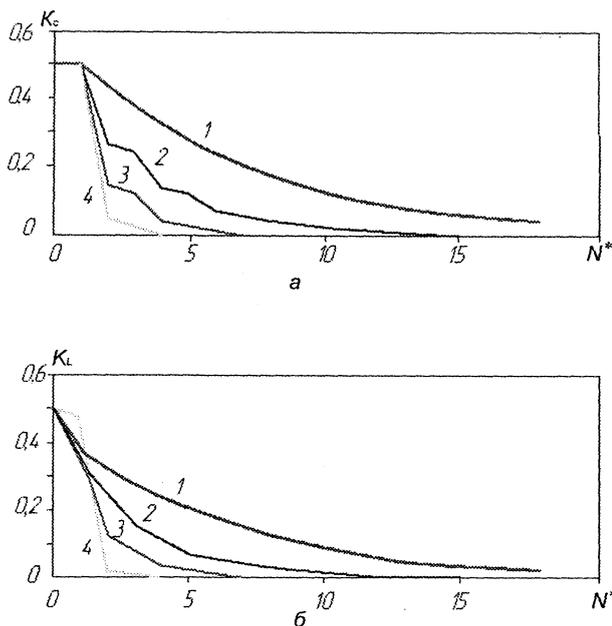


Рис. 6. Изменение качества смеси в зависимости от количества циклов: 1 – $j_0 = 2$; 2 – 3; 3 – 4; 4 – $j_0 = 5$

неоднородному элементу, вторая оценка – в среднем по объему. Однородному состоянию $a_{ijk} = a^0$, $b_{ijk} = b^0$, $c_{ijk} = c^0 = 1 - b^0 - a^0$ соответствуют значения $K_C = K_L = 0$. Значения a^0 , b^0 , c^0 легко определяются по заданному начальному распределению компонентов.

Выясним, как влияет на процесс смешивания степень разрежения смеси в пространстве – величина $h_{max} = j_0$, которая равна отношению наибольшей и наименьшей глубин ячеек.

На рис. 6 приведены зависимости оценок качества смеси K_C , K_L от количества циклов для различных значений h_{max} ($g = 6$). Из рисунка видно, что смесь стремится к однородному состоянию, но время смешивания различное. С увеличением h_{max} количество циклов N^* , необходимых для перехода смеси к однородному состоянию, уменьшается до $N^* = 5$, которое достигается начиная с $h_{max} = 5$.

На рис. 7 показана зависимость времени смешивания от числа активных слоев.

Как видно из рисунка, уменьшение количества активных слоев устройства G приводит к увеличению времени смешивания циклов.

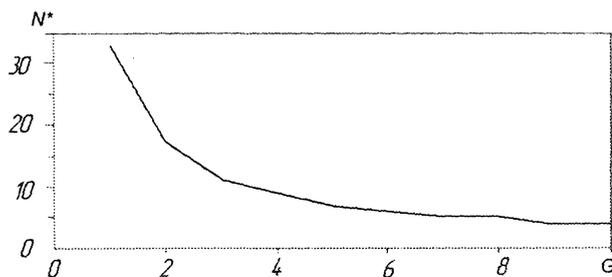


Рис. 7. Зависимость полного времени смешивания от числа активных слоев

Введем следующую оценку, характеризующую суммарную величину ступенек между ячейками, контактирующими по грани:

$$E = \sum_{k=1}^{k_1} \sum_{i=1}^{i_1-1} |h_{i+1,k} - h_{ik}| + \sum_{i=1}^{i_1} \sum_{k=1}^{k_1-1} |h_{i,k+1} - h_{ik}|.$$

Естественно предположить, что размещение ячеек должно быть таким, чтобы суммарная величина ступенек между ячейками была наибольшей. Для проверки проводили численные расчеты для следующего спектра глубин ячеек: $S = 1, \dots, 25$.

Увеличение h_{max} от 5 до 25 (размещение ячеек спектра 17 представлено на рис. 8, а) по сравнению с данными, приведенными на рис. 6, привело к уменьшению времени полного смешивания до 4 (рис. 8, б).

Влияние расположения ячеек и соответственно параметра E на величину N^* показано на рис. 8 ($g = 1$). Данный пример показывает, что для одного и того же спектра 17 с ростом E количество циклов N^* убывает.

На основании полученных результатов и в соответствии с построенной ячейечной моделью процесса смешивания установлено, что при диаметре

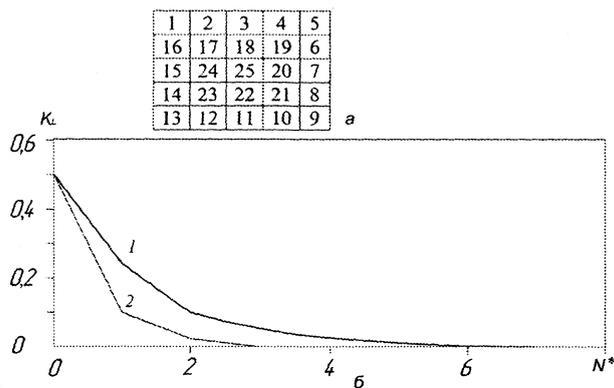


Рис. 8. Схема расположения разноглубинных ячеек (а); качество смеси в зависимости от количества циклов (б): 1 – $g = 1$; 2 – $g = 6$

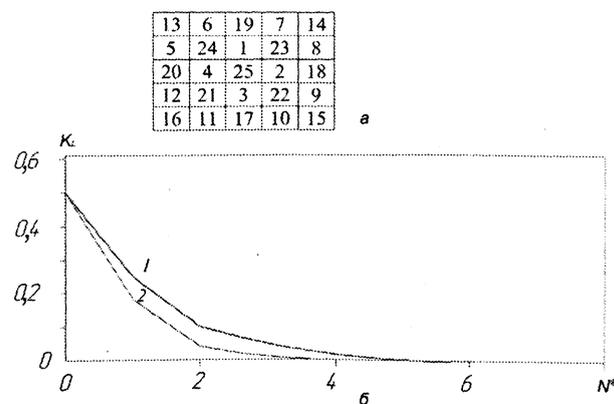


Рис. 9. Схема расположения разноглубинных ячеек (а); изменение качества смеси в зависимости от количества циклов (б): 1 – $E = 196$; 2 – $E = 554$

чаши около 2 м, диаметре ротора 0,8 м и диаметре скребков около 2 м, оптимальными окружными скоростями должны быть: для ротора – от 20 до 70 м/с, для скребков – 5–15 м/с. Высота материала, загруженного в смеситель, должна находиться в пределах 0,25–0,45 м, а время перемешивания, через которое все компоненты, помещенные в вихревой смеситель, равномерно распределятся по объему замеса, составит 60–90 с.

Таким образом, в ОАО «БЕЛНИИЛИТ» создан ряд вихревых смесителей производительностью от 20 до 50 т/ч сырой песчано-глинистой формовочной смеси, на которых была проведена проверка адекватности представленных расчетов. Общий вид смесителя показан на рис. 10.

В итоге производственной эксплуатации смесителей на литейных предприятиях установлены следующие технико-экономические показатели.

1. Вихревой смеситель по сравнению с катковым обладает более высокой (в 1,5–2,0 раза) производительностью и обеспечивает повышение качественных характеристик формовочной песчано-глинистой смеси:

- газопроницаемость – в 1,2–1,5 раза;
- прочность – на 10–15 %;
- уплотняемость – на 15–20 %.

2. Удельное энергопотребление вихревого смесителя в 1,5–2,0 раза ниже, чем каткового, а время замеса составляет 1–1,5 мин с загрузкой и выгрузкой смеси. Экономия энергозатрат по сравнению с катковыми смесителями с массой замеса 1 т за 1 год составляет до 100 тыс. кВт/ч в год при двухсменном режиме.

3. Непрерывная аэрация смеси во время перемешивания улучшает ее формуемость и уплотняемость, позволяет готовить высокопрочные смеси до 2 МПа практически при сохранении производительности смесителя.

Литература

1. Селиванов Ю. Т., Першин В. Ф. Расчет и проектирование циркуляционных смесителей сыпучих материалов без внутренних перемешивающих устройств. М.: «Изд-во Машиностроение-1», 2004.
2. Мельников А. П., Сайков М. А., Голуб Д. М. Механизм формирования свойств смеси в период перемешивания ее компонентов // Литье и металлургия. 2005. № 2. С. 22–25.
3. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973.
4. Баранцева Е. А., Мизонов В. Е., Хохлова Ю. В. Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет // Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина». 2008.
5. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Л.: Химия, 1975.
6. Селиванов Ю. Т., Першин В. Ф. Моделирование процесса смешивания дисперсных материалов, отличающихся размерами частиц // Теоретические основы химической технологии. 2001. Т. 35. № 1. С. 90–93.
7. Матвейкин В. Г., Фролов С. В. Математическое моделирование процесса движения сыпучего материала в гладких вращающихся барабанах // Теоретические основы химической технологии. 1997. Т. 31. № 3. С. 318–323.
8. Ревуженко А. Ф. Механика сыпучей среды. Новосибирск: ЗАО ИПП «Офсет», 2003.

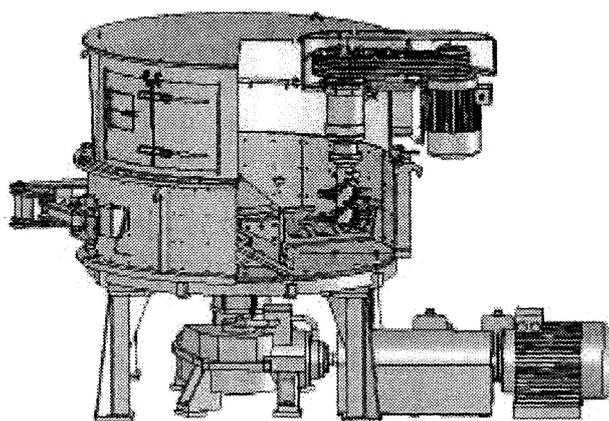


Рис. 10. Смеситель вихревой мод. 4842

Разработка вызвала интерес на предприятиях Республики Беларусь. Смесители внедрены в производство на РУП «МАЗ» (Беларусь), ЧП «АСТОН» (Украина), ОАО «Ливгидромаш» (Молдова), УПП «Универсал-Лит» (Беларусь). Данная разработка поможет литейным цехам модернизировать смесеприготовительные системы песчано-глинистых формовочных смесей и выйти на новый уровень качества создаваемой продукции.

Выводы

1. Установлены механизм смесеобразования формовочных материалов, структура движения и взаимодействия материальных потоков в рабочем объеме смесителя.
2. Обоснована возможность прогнозирования эффективности процесса смесеприготовления в исследуемых смесителях с использованием критерия качества.
3. Установлены общие закономерности движения и взаимодействия материальных потоков в рабочем объеме смесителя, создающие основу интенсификации процесса смешивания формовочных материалов.