

Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.,
Дегтярь А.Н., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА В СМЕСИТЕЛЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ТИПА

kyudin@mail.ru

Рассматриваются смесители периодического действия. Представлена целесообразность разработки смесителей нового типа. Выполнен литературный обзор отечественных и зарубежных авторов по данной тематике. Представлены авторская кинематическая схема и вариант лабораторной установки смесителя (трехмерная модель), описывающие воздействие на перемешиваемый в смесительной камере материал относительно двух взаимно перпендикулярных горизонтальных осей. Вращение смесительной камеры осуществляется посредством конических и цилиндрических передач. Возникающее сложное пространственное движение частиц материала можно регулировать частотным преобразователем и подбором соответствующих зубчатых колес. Представлена часть методики по определению траектории частиц материала в смесительной камере. Решается пространственная задача. Проведены предварительные экспериментальные исследования. Выбран центральный композиционный ортогональный план дробного факторного эксперимента. В качестве входных факторов выбраны четыре параметра. Особенности движения материала в смесителе позволяют говорить о наличии элементов гироскопического эффекта. Сделаны выводы по экспериментам.

Ключевые слова: траектории движения материала внутри смесительной камеры, смеситель периодического действия, вращение камеры относительно двух взаимно горизонтальных осей, зубчатые передачи.

Введение. Отраслевое оборудование промышленности строительных материалов и смежных отраслей специфично и весьма энергозатратно, что приводит к необходимости эксплуатации оборудования с учетом инновационных подходов к способам переработки материалов. Эффективное перемешивание различных материалов – это проблемное направление при переработке материалов [1].

В сложных условиях импортозамещения возрастает роль отечественных разработок, применяемых в ПСМ. Эффективное перемешивание различных материалов – это востребованное направление при переработке материалов. Примером является модернизация смесителей для сухих строительных смесей. Кроме того, одним из важных направлений является перемешивание при производстве газосиликатных изделий.

Как известно, наиболее важным фактором, влияющим на ячеистую структуру ячеистобетонной смеси и готового ячеистого бетона, является равномерность распределения небольшого количества ($0,6...0,7$ кг/м³) газообразователя (алюминиевой пудры) во всем объеме смеси.

Используемые газобетонмешалки снабжены вертикальным лопастным валом, вращаемом приводом. Кроме того, для интенсификации перемешивания смесь подвергается вибрации при помощи навесных вибраторов [2].

Предлагаемое нами устройство для перемешивания кварцевого песка, цемента, извести и алюминиевой пудры реализует воздействие на перемешиваемый материал в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных направлениях [3, 4]. Таким образом, смесительная камера газобетонмешалки подвергается вращению относительно двух взаимно перпендикулярных горизонтальных осей, что предполагает в смесителях периодического действия использовать элементы гироскопического эффекта.

Техническим результатом создания устройства является повышение эффективности перемешивания материалов.

Технический результат достигается устройством для перемешивания материалов, содержащим смесительную камеру сферической формы, смонтированную на водиле, вращаемом вокруг горизонтальной оси и приводом вращения. Коническая передача для вращения непосредственно смесительной камеры вокруг второй горизонтальной оси дополнена цепной передачей [5].

Наличие цепной передачи позволяет снизить размеры конических шестерен передачи, вращающей непосредственно смесительную камеру, что сократит материалоемкость конструкции устройства для перемешивания материалов.

Представим кинематическую схему предлагаемого устройства (рис. 1).

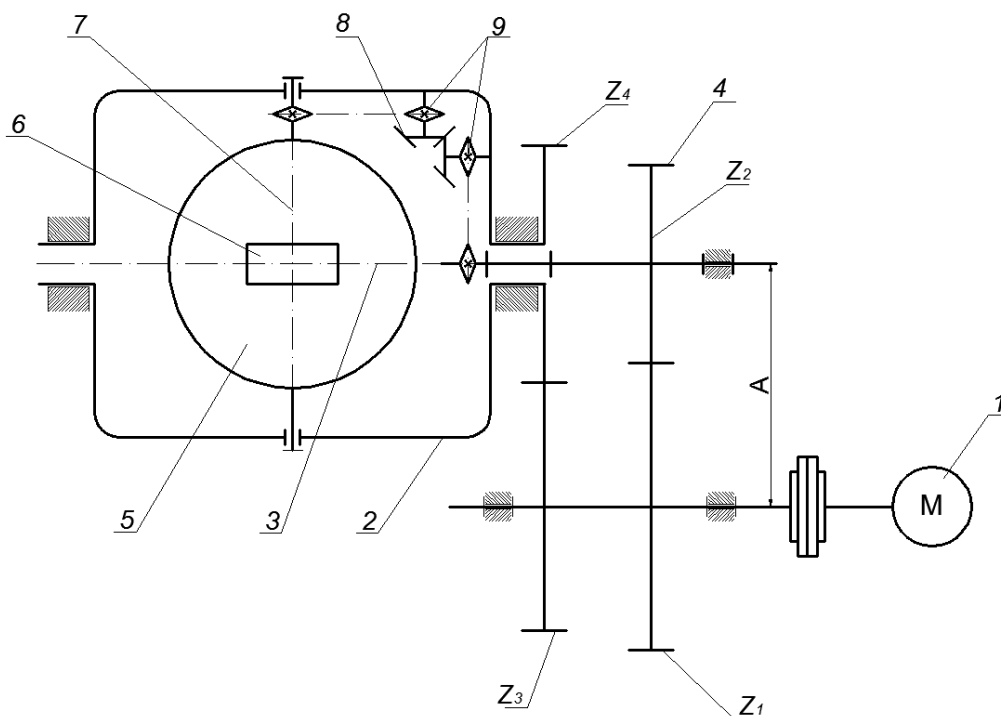


Рис. 1. Кинематическая схема устройства для перемешивания материалов с вращением камеры относительно двух взаимно перпендикулярных горизонтальных осей:

- 1 – привод; 2 – вращающееся водило; 3 – горизонтальная ось; 4 – цилиндрическая зубчатая передача; 5 – смесительная камера; 6 – загрузочный люк; 7 – вторая горизонтальная ось; 8 – коническая зубчатая передача; 9 – цепная передача

Покажем вариант реализации смесителя периодического действия с учетом двунаправленного воздействия на перемешиваемый мате-

риал внутри смесительной камеры относительно двух взаимно перпендикулярных горизонтальных осей.

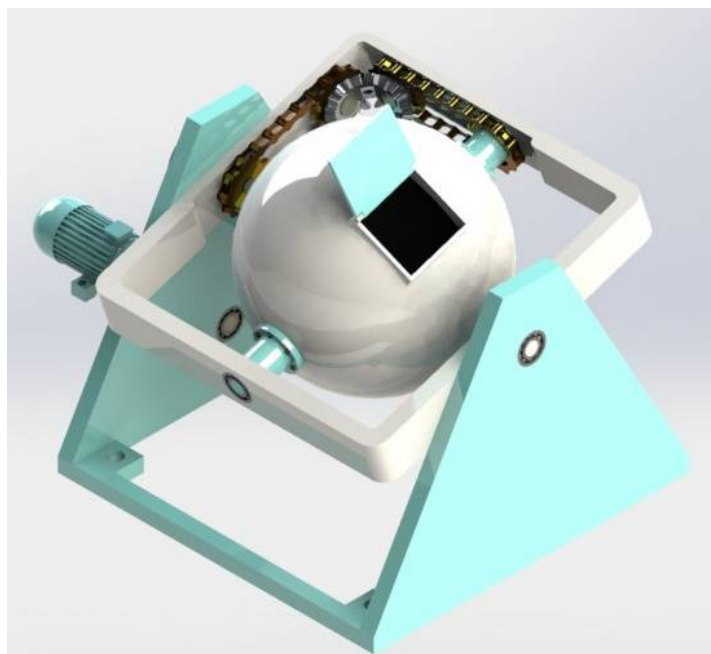


Рис. 2. Трехмерная модель устройства для перемешивания материалов

С одной стороны, центробежные силы обусловлены вращением водила с закрепленной на нём сферической смесительной камерой относительно горизонтальной оси. С другой стороны, центробежные силы обусловлены вращением собственно смесительной камеры относи-

тельно второй горизонтальной оси. Суперпозиция сил заставляет частицы материала перемещаться по сложной траектории.

Режим работы устройства для перемешивания материалов - периодический. Смесительная камера сферической формы должна иметь не-

большой диаметр во избежание возникновения чрезмерных нагрузок на подшипниковые узлы.

Сферическая форма смесительной камеры и варьирование частот вращения целесообразны для устранения застойных зон загрузки и повышения интенсивности перемешивания, так как при определенном соотношении частот возникает оптимальная для данного материала траектория движения загрузки. Все это способствует увеличению площади контактирующих поверхностей, количества взаимодействий и диффузии материалов. Рабочая фаза заканчивается остановкой привода вращения через определенный интервал времени и разгрузкой смесительной камеры через люк.

Эффективная выгрузка готовых смесей может производиться путем установки под смесительной камерой разгрузочного узла, совмещенного с порталом.

Покажем часть методики по определению траектории движения частиц материала, решая пространственную задачу. Специфика воздействия на смешиваемый материал

приводит к усложнению математического аппарата для такой задачи.

Будем считать, что частица материала движется внутри смесительной камеры только под действием силы тяжести [6].

$$m_i \ddot{\vec{r}}_i = \vec{G}_i, \quad (1)$$

где m_i – масса i -й частицы, \vec{G}_i – вес i -й частицы.

Учитывая, что $G_i = m_i g$ и интегрируя дважды уравнение (1), получим

$$\begin{cases} \ddot{r}_i = -g\bar{k}; \\ \dot{r}_i = -g\bar{k}t + \bar{V}_{i0}; \\ \vec{r}_i = -g\bar{k} \frac{t^2}{2} + \bar{V}_{i0}t + \vec{r}_{i0}. \end{cases} \quad (2)$$

В общем случае, при отсутствии контакта выбранной частицы шарообразной формы с другими частицами и футеровкой смесительной камеры движение центров масс каждой частицы описывается уравнением:

$$\vec{r}_i = \vec{r}_{i0} + \bar{V}_{i0}t + \frac{gt^2}{2}. \quad (3)$$

Уравнение (3) в проекциях примет вид:

$$\begin{cases} x_i = x_{i0} + V_{ix0}t; \\ y_i = y_{i0} + V_{iy0}t; \\ z_i = z_{i0} + V_{iz0}t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (4)$$

Для каждой i -ой частицы можно определить время t_{ib} ее движения по параболической траектории до соударения со смесительной камерой. Граничное условие имеет вид:

$$x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = (R_b - r_s)^2, \quad (5)$$

где R_b – радиус смесительной камеры, r_s – радиус частицы.

Уравнение (5) с учетом (4) принимает вид:

$$(x_{i0} + V_{ix0}t_{ib})^2 + (y_{i0} + V_{iy0}t_{ib})^2 + (z_{i0} + V_{iz0}t_{ib} - \frac{g}{2}t_{ib}^2)^2 = (R_b - r_s)^2 \quad (6)$$

Уравнение (6) является уравнением 4-го порядка.

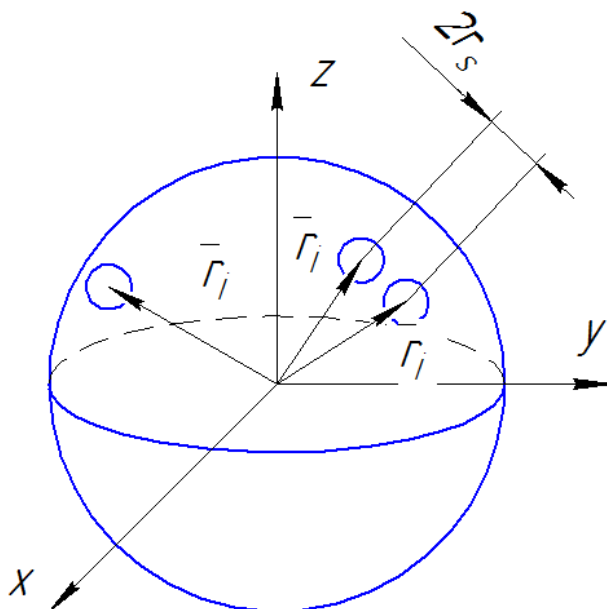


Рис. 3. Частицы материала внутри смесительной камеры

Уравнение 6 имеет четыре действительных корня. Поскольку изначально частица материала находится внутри смесительной камеры, то один корень будет всегда отрицательным, а необхо-

димый корень является минимальным положительным. Варианты движения частицы и возможное количество корней уравнения можно интерпретировать графически (рис. 4).

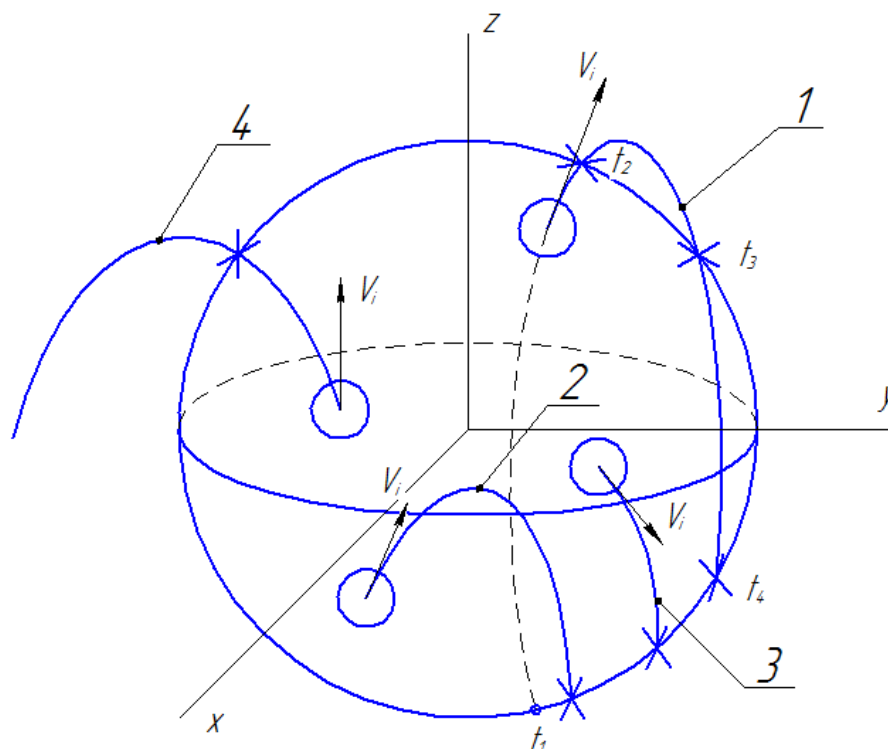


Рис. 4. Варианты движения частиц

Аналогично можно рассчитать время до соударения частиц $|\bar{r}_i - \bar{r}_j| = 2r_s$, которое в скалярном виде принимает вид:

$$\begin{aligned} & (x_{i0} + V_{ix0}t_{ijs} - x_{j0} - V_{jx0}t_{ijs})^2 + (y_{i0} + V_{iy0}t_{ijs} - y_{j0} - V_{jy0}t_{ijs})^2 + \\ & + \left(z_{i0} + V_{izo}t_{ijs} - \frac{g}{2}t_{ijs}^2 - z_{j0} - V_{jzo}t_{ijs} + \frac{g}{2}t_{ijs}^2 \right)^2 = (R_b - r_s)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Достижение технического результата подкреплено экспериментальными исследованиями [6]. Следуя теории планирования экспериментов, остановились на центральном композиционном ортогональном плане дробного факторного эксперимента. В качестве входных параметров выбраны: φ - коэффициент загрузки смесительной камеры; n - частота вращения смесительной камеры, c^{-1} ; ρ - крупность частиц загружаемого материала; m ; t - время перемешивания загружаемой смеси, с.

Полученные экспериментальные данные следует дополнить машинным экспериментом со специфичным программным обеспечением. Выводы о возможности использования таких смесителей, сходимость результатов экспериментальных исследований и результатов промышленных испытаний могут быть сделаны в результате сравнения рассчитанных с помощью разрабатываемой методики параметров процессов смешивания.

Задача оптимизации конструктивно - технологических параметров смесителей осуществляется, например, последовательным симплекс - методом с использованием математической модели многофазного цикла движения смеси.

Заключение.

Наличие сложного пространственного движения материала в смесительной камере предполагает его эффективное перемешивание.

Возможно варьирование цикла перемешивания частиц материала как для разных материалов, так и для получения заданного качества перемешивания смеси на основании заранее проведенных экспериментов. Это позволит варьировать экономическую целесообразность предлагаемого устройства для перемешивания материалов.

Применение предлагаемого устройства приемлемо лишь для малотоннажного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 680 с.
2. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий - М.: Высшая школа, 1989. 384 с.

3. Юдин К.А., Фадин Ю.М. Устройство для реализации взаимно перпендикулярного воздействия на измельчаемый материал при перемешивании и измельчении / Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвузовский сб. ст./под ред. В.С. Богданова. - Белгород, 2011. Выпуск X. С. 361-363.

4. UnitedStatesPatent 4326428, Twodegreeof-freedom rate gyroscope, dateviews 27.04.1982 <http://www.freepatentsonline.com/4326428.html>

5. Патент №144695 РФ МПК⁷B22C5/04 Устройство для перемешивания материалов Богданов В.С., Юдин К.А., Савкин И.Н., Негрун А.Н., заявитель и патентообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова (RU), №2014114674; заявл. 14.04.2014, опубл. 27.08.14. Бюл. №24. 4 с.

6. Каримов И. Теоретическая механика/ Электронный учебный курс <http://www.teoretmeh.ru/>

Yudin K. A., Degtyar A.N.

BI-DIRECTIONAL IMPACT ON THE MATERIAL IN AMALGAMATORS OF PERIODIC ACTION

Considered are the peculiarities of the development of mixers periodically type. There is represents the desirability of such mixers. Completed a review of Russian and foreign writers on the subject. Shows two copy-right kinematic scheme of mixers gyroscopic type, describe the impact on the mixing material in two mutually perpendicular directions and in two mutually perpendicular horizontal directions. There is shows an example of the laboratory setup. Rotation of the mixing chamber is carried out by means of toothed (conical and cylindrical) programmes. The resulting complex spatial motion of material particles can be adjusted to the selection of appropriate gear wheels. They were preliminary experimental studies. The central composite orthogonal plan of fractional factorial experiment was chosen. Entrance factors for carrying out pilot studies with laboratory installation – the mixer of gyroscopic type are presented. At an initial stage were limited to four input parameters. Conclusions on experiments are drawn.

Key words: trajectory of material motion inside the mixing chamber, mixer, rotation around two the horizontal axes, gears.