

DOI: 10.12737/article_590b2c4162c5a0.93318902

Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.,
Дегтярь А.Н., канд. техн. наук, доц.,
Харин Н.П., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУНАПРАВЛЕННОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛ В СФЕРИЧЕСКОЙ СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ

kyudin@mail.ru

Продолжено рассмотрение математического аппарата двунаправленного вращательного воздействия на материал в сферической смесительной камере смесителя периодического действия. Решается пространственная задача. Представлены математические зависимости при взаимодействии частиц перемешиваемого материала в условиях перемешивания материала относительно двух взаимно перпендикулярных осей. Вращение собственно смесительной камеры осуществляется посредством конических и цилиндрических передач. Возникающее сложное пространственное движение частиц материала можно регулировать частотным преобразователем и подбором соответствующих зубчатых колес. Представлен алгоритм создания цифровой модели смесителя нового типа, реализуемой в среде NX. Проведены предварительные экспериментальные исследования. Выбран центральный композиционный ортогональный план дробного факторного эксперимента. Представлен вариант практического применения смесителя, реализующего двунаправленное вращательное воздействие на материал. Особенности движения материала в смесителе позволяют говорить о наличии элементов гироскопического эффекта. Сделаны выводы.

Ключевые слова: траектории движения материала внутри смесительной камеры, смеситель периодического действия, вращение камеры относительно двух взаимно перпендикулярных осей, коническая и цепная передачи.

Введение. Экономическая ситуация вынуждает реализовывать инновационные подходы в вопросах переработки различных материалов. Эффективное перемешивание различных материалов является проблемным направлением, требующим значительных ресурсов.

Продолжением тематики использования смесителя периодического действия нового типа, описанного ранее [1, 2], является методика определения соударения двух частиц в смесительной камере сферического типа. Представим соответствующий расчет соударения.

Обозначим минимальное время движения частиц до соударения t_m . Переместив частицы шарообразной формы по их параболическим траекториям на этот промежуток времени, мы получим такие новые координаты, при которых две частицы будут касаться друг друга.

Обозначим номера этих частиц i и j , их радиус-векторы центра масс в момент t_m \vec{r}_{i0} и \vec{r}_{j0} , скорости \vec{v}_{i0} и \vec{v}_{j0} , угловые скорости вращения $\vec{\omega}_{i0}$ и $\vec{\omega}_{j0}$.

$$\vec{v}_0 = \vec{v}_{i0} - (\vec{v}_{i0}\vec{n})\vec{n} - r_s\vec{\omega}_{i0}\vec{n} - (\vec{v}_{j0} - (\vec{v}_{j0}\vec{n})\vec{n} + r_s\vec{\omega}_{j0}\vec{n}).$$

Для орта \vec{n} получим проекции:

$$n_x = \frac{X_{i0} - X_{j0}}{2r_s};$$

$$n_y = \frac{Y_{i0} - Y_{j0}}{2r_s};$$

Принимаем для характеристик смесительной камеры сферической формы обозначения и значения такие же, как и при описании соударения частиц перемешиваемого материала со смесительной камерой [1, 2].

Для составления уравнений, описывающих соударение двух частиц материала шарообразной формы, введем локальную систему координат $O_1\tau n b$, где $\vec{\tau}$, \vec{n} , \vec{b} – орты локальной системы координат.

Проекции ортов в системе координат O_{xyz} определяются следующим образом:

$$\tau_x = \frac{v_{0x}}{v_0}; \quad \tau_y = \frac{v_{0y}}{v_0}; \quad \tau_z = \frac{v_{0z}}{v_0};$$

где \vec{v}_0 — тангенциальная составляющая относительной скорости.

Она рассчитывается по следующей формуле:

$$n_z = \frac{Z_{i0} - Z_{j0}}{2r_s};$$

Для орта \vec{b} получим проекции:

$$b_x = \tau_y n_z - \tau_z n_y;$$

$$b_y = \tau_z n_x - \tau_x n_z;$$

$$b_z = \tau_x n_y - \tau_y n_x.$$

Составим уравнения описывающие соударение двух частиц материала.

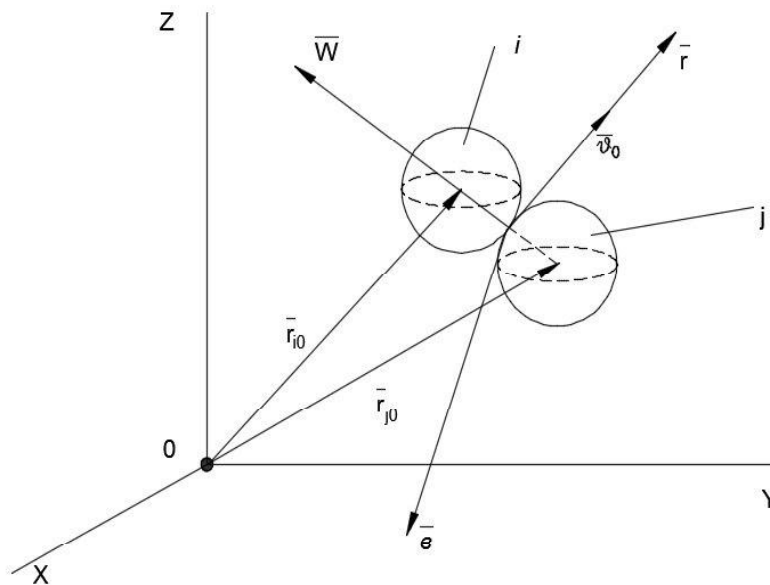


Рис. 1. Соударение двух частиц материала внутри смесительной камеры

Теоремы об изменении количества движения и момента количества движения для двух взаимодействующих частиц материала запишутся в виде:

$$\begin{cases} m_i \bar{v}_{i1} - m_i \bar{v}_{i0} = \bar{S}_{n1} + \bar{S}_f; \\ I_i \bar{\omega}_{i1} - I_i \bar{\omega}_{i0} = r_s (-\bar{n}) \bar{S}_f; \\ m_j \bar{v}_{j1} - m_j \bar{v}_{j0} = -\bar{S}_{n1} - \bar{S}_f; \\ I_j \bar{\omega}_{j1} - I_j \bar{\omega}_{j0} = r_s \bar{n} * (-\bar{S}_f). \end{cases} \quad (1)$$

Аналогичные уравнения, записанные для второго этапа соударения, на котором сила трения отсутствует, будут иметь вид:

$$\begin{cases} m_i \bar{v}_{i2} - m_i \bar{v}_{i1} = \bar{S}_{n2}; \\ I_i \bar{\omega}_{i2} - I_i \bar{\omega}_{i1} = 0; \\ m_j \bar{v}_{j2} - m_j \bar{v}_{j1} = -\bar{S}_{n2}; \\ I_j \bar{\omega}_{j2} - I_j \bar{\omega}_{j1} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, восьми векторным уравнениям соответствуют двадцать четыре скалярных, в которые входят двенадцать проекций векторов линейных

скоростей: $v_{i1x}, v_{i1y}, v_{i1z}, v_{i2x}, v_{i2y}, v_{i2z}, v_{j1x}, v_{j1y}, v_{j1z}, v_{j2x}, v_{j2y}, v_{j2z}$, двенадцать проекций векторов угловых скоростей $\omega_{i1}, \omega_{i2}, \omega_{j1}, \omega_{j2}$, два модуля векторов импульсов сил нормального давления S_{n1} и S_{n2} , и три проекции импульса силы трения S_f .

Система уравнений (1) и (2) относительно искомых величин является системой линейных уравнений, поэтому она имеет только одно решение. Так как число неизвестных превышает

число уравнений, то составим дополнительные уравнения граничных условий.

В соответствии с гипотезой Ньютона [3].

$$(\bar{v}_{i2} - \bar{v}_{j2})n = -k(\bar{v}_{i0} - \bar{v}_{j0})n. \quad (3)$$

Используя закон Кулона [4]

$$S_f = f S_{n1}. \quad (4)$$

Еще одно уравнение следует из условия равенства тангенциальных составляющих скоростей точек двух частиц материала, которыми они соприкасаются в момент обращения силы трения в нуль. Это уравнение запишется в следующем виде:

$$(\bar{v}_{i1} + \bar{\omega}_{i1}(r_s(-\bar{n})))_{\tau} = (\bar{v}_{j1} + \bar{\omega}_{j1}(r_s(-\bar{n})))_{\tau}. \quad (5)$$

Таким образом, система уравнений (1) – (5) описывает соударение частиц перемешиваемого материала, то есть позволяет по начальным значениям [1,2] рассчитать послеударные скорости частиц материала.

Предлагаемая в предыдущих работах методика, включающая движение частицы шарообразной формы внутри смесительной камеры и соударение частицы со смесительной камерой, дополнена математическим аппаратом, описывающим взаимодействие двух частиц материала.

Следующим шагом является создание цифровой модели предлагаемого устройства. Реализация такой модели позволит проанализировать конструктивные особенности устройства и минимизировать ошибки этапов моделирования.

Предлагается использовать NX – одну из лучших систем твердотельного трехмерного мо-

делирования, базирующуюся на ядре PARASOLID. Она используется на всех этапах создания цифрового макета изделия и технологической подготовки производства и включает в себя весь комплекс конструкторско-технологических модулей.

Основными преимуществами CAD/CAM/CAE системы NX перед другими системами автоматизированного проектирования (Solid Edge, Solid Works, CATIA и др.) являются:

-лучший в промышленности пакет твердотельного гибридного моделирования, который дает пользователю полный набор функций работы с твердым телом, поверхностью или каркасной моделью, основанный на полностью ассоциативном, параметрическом дереве построения;

-мощные средства визуализации, анимации и построения прототипов;

-модули инженерного анализа, базирующиеся на встроенных решателях таких известных пакетов как MSC.Nastran, MSC.Adams, а также исследование таких типов задач как линейная статистика, равновесная теплопередача, потеря устойчивости, анализ собственных частот, кинематический анализ и симуляция практически любого 3-х-мерного механизма.

Проектирование смесителя в системе NX осуществлялось снизу-вверх, то есть сначала были получены электронно-цифровые модели всех её составных деталей и узлов, а затем в модуле NX «Сборки» они сопрягались относительно друг друга.

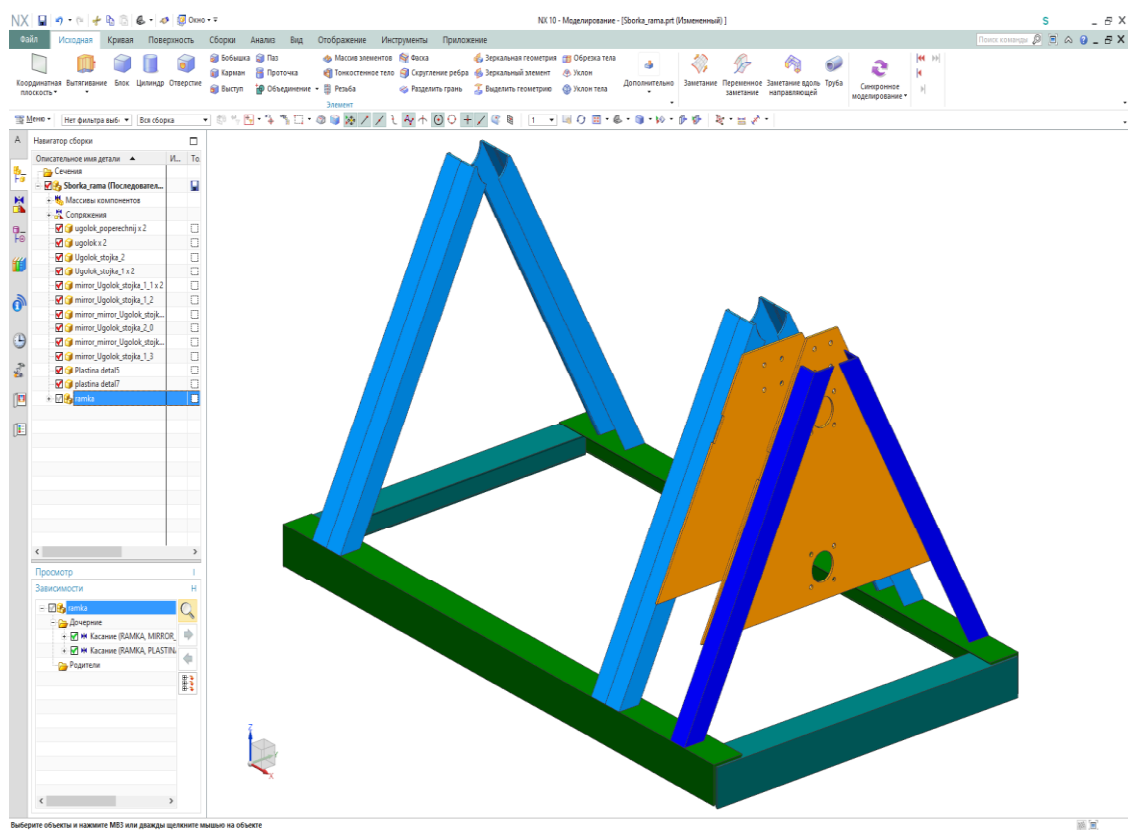


Рис. 2. Рама в сборе

Например, для сборки рамы, необходимо было создать электронно-цифровые модели всех уголков, а также двух пластин, а затем уже собрать из них единую сборную конструкцию.

В процессе разработки была создана точная трехмерная модель смесителя при помощи модулей NX «Моделирование» и «Сборки».

При проектировании данной модели в основном использовались заранее разработанные чертежи. Проектирование общей сборки машины и отдельных подборок выполнено в соответствии с исходной и измененной в ходе проектирования спецификациями на соответствующие сборочные единицы.

Большая часть деталей смоделированы с использованием минимального числа операций, но без применения эскизов для вытягивания или вращения, так как данная методика позволяет в будущем упростить использование построенных деталей в качестве материала для разработки технологических процессов их изготовления.

Исходя из требований к выполнению трехмерной модели, для всех деталей и сборочных единиц создаются ссылочные наборы SOLID (вид детали в соответствии с исходными чертежами, содержит все элементы данной детали) и SIMPLE (упрощенный вид детали, не содержит такие элементы как фаски, скругления и другие

вспомогательные элементы). Кроме того, каждая деталь должна иметь определенный цвет для более наглядного ее отображения в сборочных единицах.

Основными этапами процесса построения модели являются:

1) Построение по известным размерам основного тела (блок, цилиндр, сфера), либо эскиза основной фигуры создаваемой модели и придание ему объема с помощью команд «Эскиз» и «Вращение»;

2) Создание дополнительной геометрии (отверстия, карманы, проточки и т.п.);

3) Выполнение остальных конструктивных элементов (фаски, скругления и т.п.);

4) Создание ссылочных наборов SOLID и SIMPLE;

5) «Покраска» детали.

На рис. 3 изображена завершенная модель смесителя, полученная в ходе проектирования. Она построена с учётом всех указанных этапов процесса моделирования.

Для наглядности на рис. 4, представлен вид смесителя, полученный с помощью команды «Реалистичное изображение».

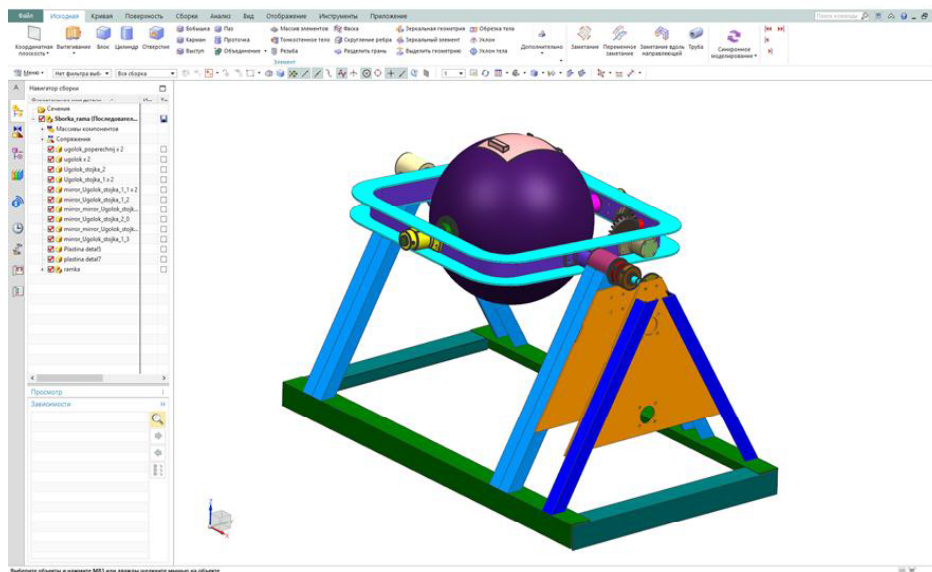


Рис. 3. Завершённая трёхмерная модель смесителя

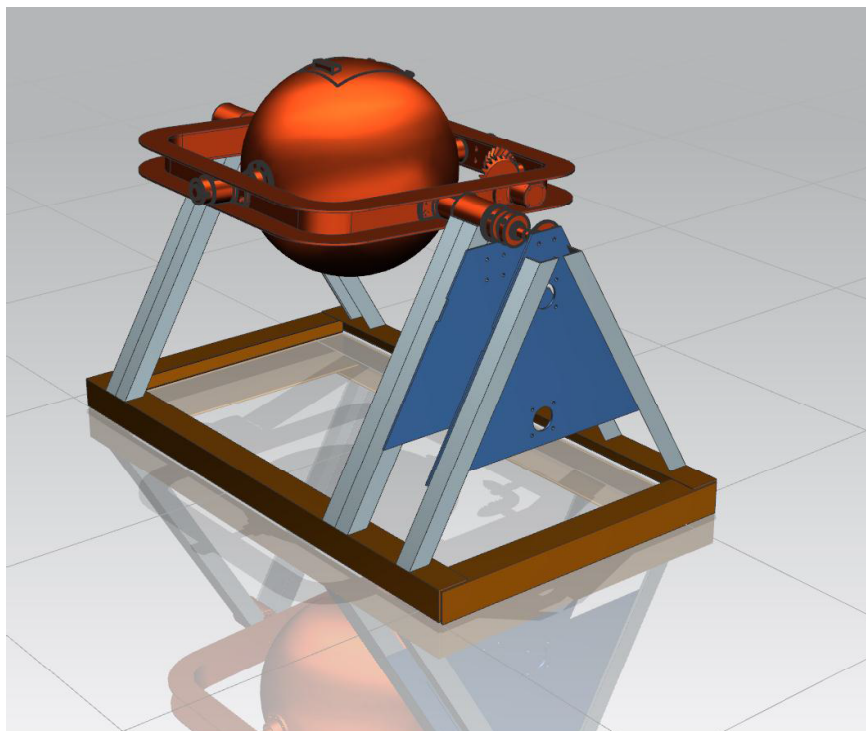


Рис. 4. Фотореалистичное изображение смесителя, полученное с помощью команды «Реалистичное изображение»

Вариантом практического применения двунаправленного вращательного воздействия на смешиваемый материал может выступать смеситель, используемый при производстве газосиликатных изделий [5].

Для заливки готовой ячеистобетонной смеси в формы предлагаемое производителем устройство для перемешивания располагается на подвижном портале, перемещающемся по рельсовому пути вдоль форм. Поэтапно в смесительной камере смешиваются необходимые компоненты – шлам с водой, цемент, известково-песчаное вяжущее, алюминиевая суспензия. Расчет состава ячеистобетонной смеси осуществляется по соответствующей методике. Примером смесителя для такой схемы выступает газобетонномешалка, представленная на рис.5.

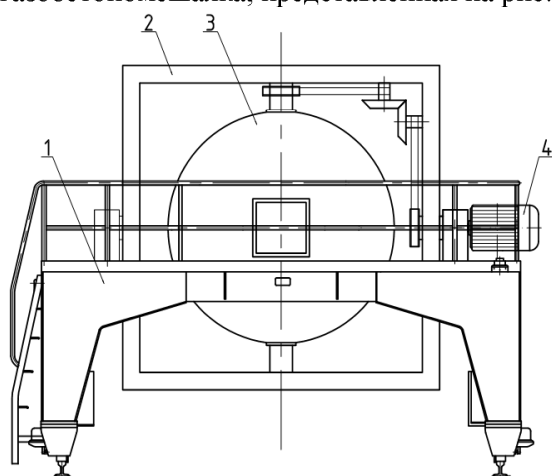


Рис. 5. Газобетонномешалка линии по производству газосиликатных блоков:
1 – портал подвижный; 2 – водило;
3 – емкость смесительная; 4 – привод

Заключение.

Создаваемое двунаправленное вращательное воздействие на материал в сферической смесительной камере смесителя периодического действия предполагает повышение эффективности перемешивания. Выбор ременной передачи привода вращения водила обеспечивает простое бесступенчатое варьирование частоты вращения водила с помощью частотного преобразователя, упрощает конструкцию и снижает материалоемкость.

Экономический эффект может быть рассчитан в зависимости от потребности конкретного предприятия. Это позволит варьировать экономическую целесообразность предлагаемого устройства для перемешивания материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдин К.А., Дегтярь А.Н. Особенности движения материала в смесителе гироскопического типа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 108–111.
2. Юдин, К.А., Дегтярь А.Н., Стовпенко А.С. Двунаправленное вращательное воздействие на материал в сферической смесительной камере // Известия Вузов. Строительство. 2016. №7. С. 99–106.
3. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Политехника, 1990, 272 с.
4. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. М: КНОРУС, 2011, 603 с.
5. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: Учебник для вузов по специальности: «Производство строительных изделий и конструкций»: М.: Высшая школа, 1989. 384.

Yudin K.A., Degtyar A.N., Charin N.P. MODELLING OF BI-DIRECTIONAL ROTARY IMPACT ON THE MATERIAL IN THE SPHERICAL MIXING CHAMBER

The consideration of the mathematical device of bi-directional rotary impact on the material in the spherical mixing chamber of periodic action mixer is going on. 3-dimensional task is being solved. The mathematical dependences under acting of the particles of the mixed material in the conditions of mixing material due to two mutually perpendicular axis are given in the article. The rotation of mixing chamber is done by conical and cylindrical transmissions.

The difficult movement of particles of material can be controlled by frequency transformer and the selection of corresponding cogwheels.

The algorithm of creating digital model of mixer of new type in computer programme NX.

Preliminary experimental researches are carried out. The central composite orthogonal plan of fractional factorial experiment was chosen.

The variant of practical application of mixer demonstrating bi-directional rotary impact on the material is given here. Conclusions on experiments are drawn.

Key words: trajectory of material motion inside the mixing chamber, mixer, rotation around two the mutually perpendicular axis, conical gears

Юдин Константин Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: kyudin@mail.ru

Дегтярь Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: andrey-dandr@mail.ru

Харин Никита Петрович, магистрант.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: andrey-dandr@mail.ru