

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЯ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МАТЕРИАЛ

Юдин К.А., Дегтярь А.Н.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород

Ключевые слова: смеситель, вращение вокруг двух осей, кинетическая энергия, смесительная камера, газосиликатная смесь.

Аннотация. Рассматривается инновационный смеситель, реализующий двунаправленное вращательное воздействие на материал. Вращение сферической смесительной камеры осуществляется посредством цилиндрической, цепной и конической передач. Перемешивание материала происходит относительно двух взаимно перпендикулярных осей. Загрузка-выгрузка материала осуществляется через люк. Продолжено рассмотрение математического аппарата. Решается пространственная задача. Представлены определенные математические зависимости, описывающие взаимодействия частиц перемешиваемого материала и смесительной камеры. Определяются кинетические энергии при соударении частиц материала со смесительной камерой. Показана реализация численного эксперимента в среде EDEM. Предложено размещение смесителя на подвижном портале. Описан вариант практического применения смесителя на производстве. Сделаны выводы.

ENERGY COMPONENTS OF THE OPERATION OF A MIXER WITH BI-DIRECTIONAL ROTATIONAL IMPACT ON THE MATERIAL

Yudin K.A., Degtyar A.N.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

Keywords: mixer, rotation around two the axes, kinetic energy, mixing chamber, gas silicate mixture.

Abstract. An innovative mixer is considered that implements a bi-directional rotational effect on the material. The rotation of the spherical mixing chamber is carried out through cylindrical, chain and bevel gears. Mixing of the material occurs relative to two mutually perpendicular axes. Loading and unloading of material is carried out through the hatch. The consideration of the mathematical apparatus is continued. A spatial problem is being solved. Certain mathematical relationships are presented that describe the interaction of particles of the mixed material and the mixing chamber. The kinetic energies of the collision of material particles with the mixing chamber are determined. The implementation of a numerical experiment in the EDEM environment is shown. It is proposed to place the mixer on a moving portal. A variant of the practical application of the mixer in production is described. Conclusions have been drawn.

Введение

Актуальным является активное применение на производствах различных инновационных предложений. Для процессов смешивания материалов одним из инновационных проектов можно считать смеситель периодического действия, реализующий двунаправленное вращательное воздействие на материал в сферической смесительной камере [1-3].

Реализация двунаправленного вращательного воздействия на материал в предлагаемом смесителе со сферической смесительной камерой осуществляется при вращении водила с камерой относительно горизонтальной оси и собственно камеры относительно второй оси, перпендикулярной первой (рис. 1).

Создание патентно-чистого инновационного устройства для перемешивания материалов предполагает использование методов физического и математического моделирования.

Ранее рассматривались вопросы взаимодействия частиц перемешиваемого материала между собой и смесительной камерой сферического вида [4, 5]. Теперь представляем математический аппарат, описывающий кинетические энергии взаимодействия частиц материала и смесительной камеры.

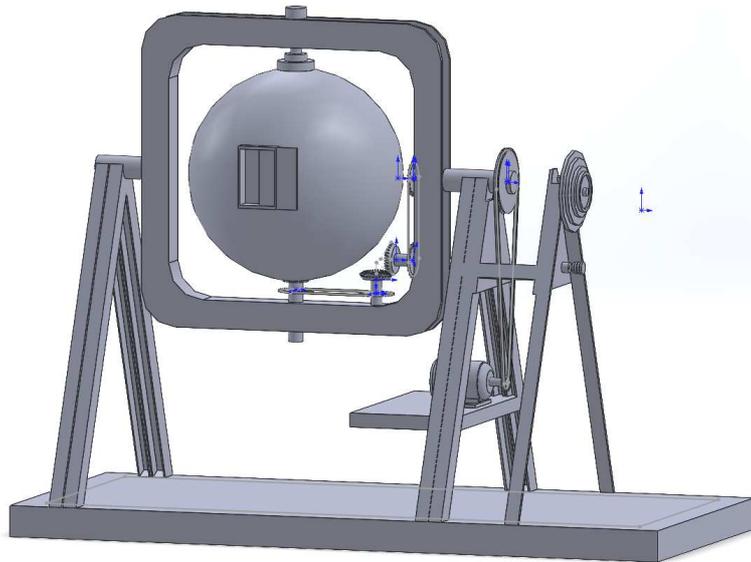


Рис. 1. Смеситель с двунаправленным вращательным воздействием на материал

Методы

Изменение кинетической энергии частиц материала и камеры смесителя при соударении определяется по формуле

$$\Delta T_i = T_i - T_{oi}, \quad (1)$$

где T_{oi} и T_i – кинетические энергии системы в начальный момент времени и в некоторый произвольный момент между началом и окончанием соударения;

$$T_{oi} = T_{oi}^s + T_{oi}^b, \quad (2)$$

где T_{oi}^b – кинетическая энергия камеры смесителя; T_{oi}^s – кинетическая энергия частицы материала в момент начала соударения;

$$T_i = T_i^s + T_i^b, \quad (3)$$

где T_i^s и T_i^b – кинетическая энергия частицы и камеры смесителя в произвольный момент времени.

В момент начала соударения кинетические энергии частицы и камеры зависят от скорости в момент падения:

$$T_{oi}^s = \left(\frac{m_i V_{oin}^2}{2} \right) + \left(\frac{m_i V_{oir}^2}{2} + \frac{J_i \omega_{oib}^2}{2} \right), \quad (4)$$

$$T_{oi}^b = \left(\frac{J_b \omega_{oib}^2}{2} \right), \quad (5)$$

где m_i – масса частицы; V_{oin} , V_{oir} – проекции вектора линейной скорости центра масс частицы и ω_{oib} – угловая скорость камеры в момент начала соударения; J_i – момент инерции частицы:

$$J_i = \frac{2}{5} m_i r_{si}^2, \quad (6)$$

где r_{si} – радиус-вектор центра масс частицы.

Смесительная камера представляет собой сферу, ее момент инерции вычисляется как

$$J_b = \frac{2}{3} M R_b^2. \quad (7)$$

В произвольный момент времени кинетические энергии частиц материала и смесительной камеры определяются по формулам:

$$T_i^s = \left(\frac{m_i V_{in}^2}{2} \right) + \left(\frac{m_i V_{ir}^2}{2} + \frac{J_i \omega_{ib}^2}{2} \right), \quad (8)$$

$$T_i^b = \left(\frac{MU_n^2}{2} \right) + \left(\frac{MU_r^2}{2} + \frac{J_b \omega_b^2}{2} \right). \quad (9)$$

где M , R_b – масса и радиус камеры; U_n , U_r – проекции вектора линейной скорости центра масс камеры; ω_b – угловая скорость камеры.

Изменение кинетической энергии частицы материала за счет взаимодействия с камерой определяется по формуле

$$\Delta T_i^s = T_i^s - T_{oi}^s = \left(\frac{m_i V_{in}^2}{2} - \frac{m_i V_{oin}^2}{2} \right) + \left(\frac{m_i V_{ir}^2}{2} + \frac{J_i \omega_{ib}^2}{2} - \frac{m_i V_{oir}^2}{2} - \frac{J_i \omega_{oib}^2}{2} \right). \quad (10)$$

Подставляя в последнюю формулу значения скоростей V_{in} , V_{ir} , ω_{ib} , получаем

$$\Delta T_i^s = \frac{m_i}{2} \left[\left(V_{oin} - \frac{S_n'}{m_i} \right)^2 - V_{oin}^2 \right] + \left[\frac{m_i}{2} \left(\left(V_{oir} - \frac{S_f'}{m_i} \right)^2 - V_{oir}^2 \right) + \frac{J_i}{2} \left(\left(\omega_{oib} - \frac{5 S_f'}{2 r_{si} m_i} \right)^2 - \omega_{oib}^2 \right) \right], \quad (11)$$

где S_n' – импульс силы нормального давления, S_f' – импульс силы трения.

Изменение кинетической энергии камеры за счет соударения с частицей материала определяется как:

$$\Delta T_i^b = T_i^b - T_{oi}^b = \left(\frac{MU_n^2}{2} \right) + \left(\frac{MU_r^2}{2} + \frac{J_b \omega_b^2}{2} - \frac{J_b \omega_{oib}^2}{2} \right), \quad (12)$$

$$\Delta T_i^b = \left[\frac{M}{2} \left(-\frac{S_n'}{M} \right)^2 \right] + \left[\frac{M}{2} \left(\frac{S_f'}{M} \right)^2 + \frac{J_b}{2} \left(\omega_{ob} + \frac{S_f'}{MR_b} \right)^2 - \frac{J_b}{2} \omega_{ob}^2 \right].$$

Таким образом, полное изменение кинетической энергии механической системы ΔT_i равно:

$$\Delta T_i = \Delta T_i^s + \Delta T_i^b, \quad (13)$$

$$\Delta T_i = \left[\frac{m_i}{2} \left(\left(\frac{S_n'}{m_i} \right)^2 - 2V_{oin} \frac{S_n'}{m_i} \right) \right] + \left[\frac{m_i}{2} \left(\left(\frac{S_f'}{m_i} \right)^2 - 2V_{oir} \frac{S_f'}{m_i} \right) + \frac{m_i r_{si}^2}{5} \left(\frac{25}{4} \left(\frac{S_f'}{r_{si} m_i} \right)^2 - 2\omega_{oib} \frac{5 S_f'}{2 r_{si} m_i} \right) \right] + \left(0,5 \frac{S_n'^2}{M} \right) + \left[0,5 \frac{S_f'^2}{M} + \frac{MR_b^2}{3} \left(\frac{S_f'^2}{M^2 R_b^2} + 2\omega_{ob} \frac{S_f'}{MR_b} \right) \right]. \quad (14)$$

Преобразуем

$$\Delta T_i = \left[\frac{S_n'^2}{2m_i} - V_{oin} S_n' \right] + \left[\frac{S_f'^2}{2m_i} - V_{oir} S_f' + \frac{5S_f'^2}{4m_i} - \frac{m_i \cdot r_{si}^2 \cdot 2\omega_{oib} \cdot 5S_f'}{5 \cdot 2 \cdot r_{si} m_i} \right] + \left[\frac{1}{2} \frac{S_n'^2}{M} \right] + \left[\frac{S_f'^2}{2M} + \frac{S_f'^2}{3M} + \frac{2}{3} \frac{\omega_{ob} S_f'}{R_b} \right]. \quad (15)$$

Таким образом,

$$\Delta T_i = \left[\frac{S_n'^2}{2m_i} - V_{oin} S_n' + \frac{S_n'^2}{2M} \right] + \left[\frac{7S_f'^2}{4m_i} - S_f' (V_{oir} + \omega_{oib} \cdot r_{si}) + \frac{5S_f'^2}{6M} + \frac{2}{3} \frac{\omega_{ob} S_f'}{R_b} \right]. \quad (16)$$

Величины получаемых кинетических энергий зависят и от геометрических параметров смесительной камеры, размеров частиц материала, скорости вращения камеры и т.д. Все они могут быть использованы для регрессионного анализа.

Определение изменения кинетической энергии важно для оптимизации энергетических параметров.

Эмпирические исследования предполагают проведение разного рода машинных экспериментов с получением математических моделей [6-10].

Для иллюстрации решаемой задачи применим пакет EDEM. Функциональные возможности пакета **EDEM** позволяют варьировать механические, вещественные и другие физические свойства в процессе моделирования молекулярной системы твердых тел. Программный комплекс управляет и отслеживает информацию о каждой частице в

отдельности (масса, температура, скорость и т.д.), а также о силах, действующих на нее. Например, на начальной фазе при загрузке материала в смесительную камеру сферической формы будут доминировать силы тяжести. В этом случае при определенных начальных параметрах диаграмма скорости падения частиц представлена сверху на рисунке 2.

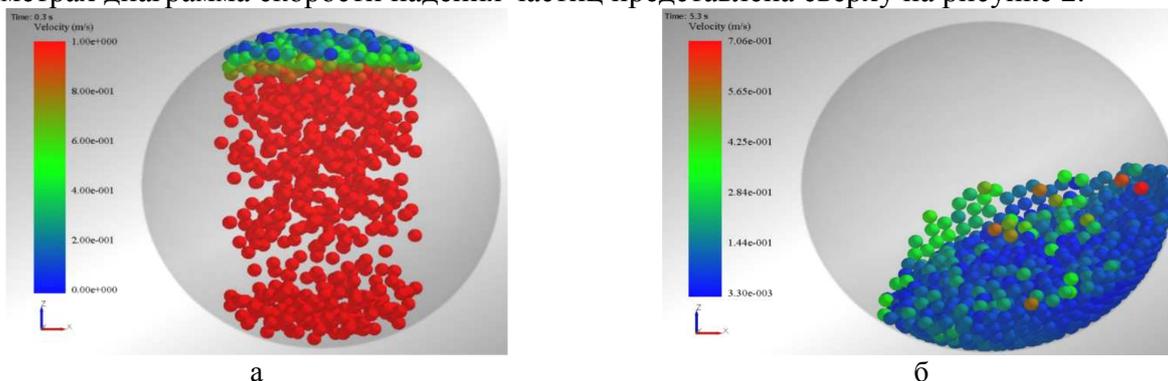


Рис. 2. Диаграмма скорости падения частиц в смесительной камере в моменты времени:
а – $t = 0,3$ с; б – $t = 5,3$ с

Пояснение: синим цветом показаны частицы материала с минимальной скоростью, красным – с максимальной. Можно заметить, что уже через 5,3 секунды режима симуляции образуется малоподвижное ядро загрузки.

Предлагаемый смеситель следует адаптировать под конкретные производства.

Показанное на рисунке 1 устройство ранее четко позиционировали. Однако в производственных условиях часто возникает потребность в перемещении смесителя. Предлагается применение двунаправленного вращательного воздействия на материал в газобетонмешалке (рис. 3) при производстве газосиликатных изделий [11].

Для заливки готовой ячеистобетонной смеси в формы предлагаемое устройство для перемешивания располагают на подвижном портале, который перемещается 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.

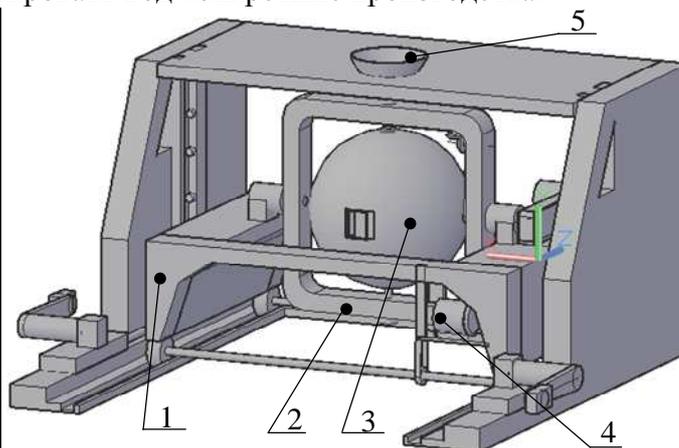


Рис. 3. Трехмерная визуализация газобетонмешалки линии по производству газосиликатных блоков:
1 – портал подвижный; 2 – водило; 3 – камера смесительная; 4 – привод, 5 – течка

Вначале подвижный портал 1 со смесительной камерой 3 фиксируется под точкой 5 заготовительного отделения. После заполнения смесительная камера приводится во вращение приводом 4 посредством водила 2. Закончив цикл перемешивания, перемещают подвижный портал, фиксируя его над формами для выгрузки материала.

В случае перемещения смесителя на подвижном портале необходима корректировка математических зависимостей.

Выводы

Разрушение частиц материала происходит при их взаимодействии или при контакте со смесительной камерой. Эффективность перемешивания зависит от количества соударений, относительных скоростей соударяющихся частиц и энергетических характеристик этих соударений. Определение кинетической энергии, которая могла бы быть затрачена на разрушение частиц материала, является одной из характеристик, определяющих

энергозатратность процесса. Определение изменения кинетической энергии позволит повысить энергосбережение.

Анализируя представленный математический аппарат с дополнением информации от натуральных экспериментальных исследований, можно добиться оптимальных значений качества перемешивания смеси при работе смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал без перерасхода энергетических параметров.

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. Патент №174442 РФ. Устройство для перемешивания материалов / К.А. Юдин, И.А. Семикопенко, Ю.М. Фадин. – Заявка №2017112567 от 12.04.2017; опубл. 13.10.17, Бюл. №29.
2. Yudin K.A., Degtyar A.N. Calculation Time Traffic Loading Particles Prior to Reacting with Bi-Directional Rotational Impact // Lecture Notes in Civil Engineering book series. 2021, pp. 149-156.
3. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. – М.: КноРУС, 2011. – 603 с.
4. Юдин К.А., Дегтярь А.Н., Харин Н.П. Моделирование двунаправленного вращательного воздействия на материал в сферической смесительной камере // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №5. – С. 126-132.
5. Юдин К.А., Дегтярь А.Н., Хахалев П.А. Динамика движения загрузки материала в смесительной камере при двунаправленном вращательном воздействии // Строительные и дорожные машины. – 2018. – №7. – С. 20-24.
6. Трусов П. В. Введение в математическое моделирование: Учебное пособие. – М.: Логос, 2005. – 439 с.
7. Patent No. 4326428 US. Two degree of freedom rate gyroscope / Bostwick Lewis S., Filosa Albert V., Latorre Richard R. – Appl. No. 06/081504; publ. 04/27/1982.
8. John J. Uicker, Gordon R. Pennock, Joseph E. Shigley. Theory of Machines and Mechanisms. – Oxford: University Press, 2009. – 590 p.
9. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Методика и практика технических экспериментов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 288 с.
10. Шелюфаст В.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач. – М.: Изд-во АПМ, 2006. – 240 с.
11. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. – М: Высшая школа, 1989. – 384 с.

References

1. Patent No. №174442 RU. Device for mixing materials / K.A. Yudin, I.A. Semikopenko, Yu.M. Fadin. – Appl. No.2017112567 from 12.04.2017; publ. 13.10.2017, Bul. No. 29.
2. Yudin K.A., Degtyar A.N. Calculation Time Traffic Loading Particles Prior to Reacting with Bi-Directional Rotational Impact // Lecture Notes in Civil Engineering book series. 2021, pp. 149-156.
3. Yablonskiy A.A., Nikiforova V.M. Theoretical mechanics course. – М.: KnoRUS, 2011. – 603 p.
4. Yudin K.A., Degtyar A.N., Kharin N.P. Modelling of bi-directional rotary impact on the material in a spherical mixing chamber // Bulletin of BSTU n.a. V.G. Shukhov. 2017, no 5, pp. 126-132.
5. Yudin K.A., Degtyar A.N., Khakhalev P.A. Dynamics of movement of the material in the mixing chamber at bi-directional rotational impact // Construction and road machines. 2018, no. 7, pp. 20-24.
6. Trusov P.V. Introduction to mathematical modeling: Tutorial. – М.: Logos, 2005. – 439 p.
7. Patent No. 4326428 US. Two degree of freedom rate gyroscope / Bostwick Lewis S., Filosa Albert V., Latorre Richard R. – Appl. No. 06/081504; publ. 04/27/1982.
8. John J. Uicker, Gordon R. Pennock, Joseph E. Shigley. Theory of Machines and Mechanisms. – Oxford: University Press, 2009. – 590 p.
9. Rogov V.A., Pozniak G.G. Methodology and practice of technical experiments: A textbook for students of higher educational institutions. –М.: Publ. house «Academy», 2005. – 288 p.
10. Shelofast V.V., Chugunova T.B. Fundamentals of machine design. Examples of problem solving. – М.: Publ. house APM, 2006. – 240 p.
11. Gorlov Yu.P. Technology of heat-insulating and acoustic materials and products. – М.: Higher School, 1989. – 384 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Юдин Константин Анатольевич – кандидат технических наук, доцент	Yudin Konstantin Anatolievich – candidate of technical sciences, associate professor
Дегтярь Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент	Degtyar Andrey Nikolaevich – candidate of technical sciences, associate professor
kyudin@mail.ru	

Получена 21.11.2023