

Выводы.

1. Проведены натурные исследования энергетической эффективности применения различных видов покрытий для утепления фасадов зданий. Получены новые данные о температурах и тепловых потоках в ограждающих конструкциях при использовании в качестве энергосберегающего покрытия «мокрого» фасада и энергосберегающей краски. Найдены аппроксимационные зависимости температур и тепловых потоков от температуры наружного воздуха, которые могут быть использованы в расчетах тепловых потерь зданий.

2. Экспериментально установлено, что тепловые потери при теплоизоляции фасада здания по технологии «мокрого» фасада из минераловатных плит толщиной 100 мм снижаются на 62 %, при нанесении энергосберегающей краски слоями в 1 и 3 мм – тепловые потери снижаются на 8,3 и 11,8 % соответственно.

3. Применение энергосберегающих красок для утепления фасадов зданий эффективно только при их совместном использовании с другими видами классической тепловой изоляции.

Литература

1. Антонова, А. М. К выбору материалов для нетрадиционной тепловой изоляции оборудования ТЭС и АЭС: Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность» / А. М. Антонова, А. В. Воробьев, Б. А. Ляликов. – Томск, 2008. – С. 59–62.
2. Бухмиров, В. В. Исследование энергосберегающих покрытий: Сборник научных трудов Международной на-

учно-практической конференции «Состояния и перспективы развития электротехнологий» (XVI Бенардосовские чтения) / В. В. Бухмиров, А. К. Гаськов, Е. А. Орищенко. – Иваново, 2011. – Т. 2. – С. 164–165.

3. Бухмиров, В. В. Сравнение способов утепления фасадов зданий. Теплоэнергетика / В. В. Бухмиров, А. К. Гаськов, А. Н. Чугунова // VIII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2013»: Материалы конференции: в 7 т. – Иваново, 2013. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 86–88.

4. Губинский, М. В. Исследование теплофизических свойств керамического жидкого теплоизоляционного покрытия / М. В. Губинский, Г. М. Затопляев, Р. Ю. Радченко // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика : збірник наукових праць. – Вип. 3. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 94–101.

5. Данилов, О. Л. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / О. Л. Данилов. – М., 2006.

6. Завадский, В. Ф. Технология изоляционных строительных материалов и изделий: в 2 ч. Ч. 1: Стеновые материалы и изделия / В. Ф. Завадский. – М., 2012.

7. Игнатова, О. А. Технология изоляционных строительных материалов и изделий: в 2 ч. Ч. 2: Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия / О. А. Игнатова. – М., 2012.

8. Кисляк, С. М. Исследование теплозащитных свойств теплоизоляционного покрытия Re-Therm / С. М. Кисляк, П. К. Сеначин // Ползуновский вестник. – 2014. – №1. – С. 64–67.

9. Образцов, Д. В. Исследование прочностных и теплофизических свойств наномодифицированных строительных и теплозащитных материалов / Д. В. Образцов, В. М. Фокин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т.18. – № 4. – С. 1051–1061.

УДК 542.63:621.929

С. О. Кожеевников, Е. Н. Калинин

Ивановский государственный политехнический университет

К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОЙ СРЕДЫ В ТРУБКЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

В статье представлены результаты моделирования движения жидкой среды в трубке переменного сечения вращающейся в центробежном поле перемешивающего устройства. Для исследуемого процесса выполнен расчет однородного винтового потока в трубке переменного сечения.

Компьютерное моделирование, перемешивающее устройство, трубка переменного сечения.

The article presents the results of the simulation of the movement of the fluid rotating in a centrifugal field mixing device in the variable cross section tube. Calculation of a pure helical flow in a variable cross section tube for this practice is accomplished.

Computer modeling, a mixing device, a variable cross section tube.

Введение.

Существующие конструкции перемешивающих устройств для получения материалов высокой дисперсности характеризуются небольшим разнообразием рабочих органов. Анализ конструкций аппаратов, предназначенных для получения материалов высокой дисперсности, показал, что требуется даль-

нейшее совершенствование их рабочих органов [3], [4]. Кроме этого, применяемые для этой цели конструкции имеют высокие показатели потребляемой мощности и металлоемкости [3].

Исследования [3], проведенные нами в лабораторных условиях, показали, что для получения высокодисперсных суспензий можно использовать прин-

ципально новую конструкцию мешалки, оснащенной рабочим органом, состоящим из ротора с трубками переменного сечения. При прохождении жидкости через трубки переменного сечения, которые в свою очередь совершают вращательное движение, скорость среды на выходе многократно возрастает. Моделирование процесса движения жидкой среды в рабочей камере устройства позволит определить оптимальный скоростной режим движения жидкости в рабочем органе и решить задачи его геометрического и динамического синтеза.

Основная часть.

Одним из перспективных направлений развития химико-технологических процессов является получение материалов высокой дисперсности. Существующие конструкции перемешивающих устройств для получения материалов высокой дисперсности характеризуются небольшим разнообразием рабочих органов. Анализ способов и конструкций аппаратов для получения материалов высокой дисперсности показал, что существующие перемешивающие устройства имеют высокую потребляемую мощность и требуют дальнейшего совершенствования рабочих органов смесителей [3], [4].

Наши исследования [4] и исследования других авторов [5] показали, что для получения высокодисперсных материалов наилучшим является применение вращающихся мешалок с дополнительным прохождением жидкости через трубки переменного сечения. Моделирование процесса движения жидкой среды в рабочей камере устройства позволит определить оптимальный скоростной режим движения жидкости в рабочем органе и решить задачи его геометрического и динамического синтеза.

Представим движение жидкости в трубке переменного сечения в цилиндрической системе координат в виде двухпараметрического винтового потока, симметричного относительно оси z (рис. 1) [2] с граничными условиями: $\psi(0, r) = \psi((r_2 - r_1), r) = 0$; $\psi(z, r_1) = \psi(z, r_2) = 0$,

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + k^2 \psi = -D, \quad (1)$$

где ψ – функция тока жидкости, м; r – текущий радиус, м; z – координата по высоте конфузора, м; k – постоянная, равная удвоенному отношению модуля угловой скорости вращения частицы к модулю скорости ее перемещения.

Решение уравнения (1), удовлетворяющее указанным граничным условиям, можно представить в виде ряда Фурье. Для потока, линеаризованного в первом приближении, получим

$$\psi = \frac{4D}{\pi} \cdot \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n\omega_n^2} \Omega_n(r) \sin \frac{n\pi z}{r_2 - r_1};$$

$$v_r = D \left\{ \frac{1}{r} \left(\frac{r_2 - r_1}{2} - z \right) - \frac{4(r_2 - r_1)}{\pi^2 r_1} \times \right. \\ \left. \times \sum_{n=1,3,\dots} \frac{1}{n^2} \frac{r_1}{r} [1 - \Omega_n(r)] \cos \omega_n z \right\};$$

$$v_\varphi = \left\{ C \left[1 + \frac{4k^2}{\pi} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{1}{\pi\omega_n^2} \Omega_n(r) \sin \frac{n\pi z}{r_2 - r_1} \right] \right\} / r;$$

$$v_z = \frac{4D(r_2 - r_1)}{\pi^2 r_1} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{1}{n^2} \Omega_n^*(r) \sin \omega_n z;$$

где v_r , v_φ – радиальная и окружная составляющие абсолютной скорости, соответственно, м/с; v_z – осевая составляющая скорости м/с; D – постоянная; n – нечетное число, $n = 1, 3, 5, \dots$; ω_n – пристенная продольная скорость, м/с; Ω_n , Ω_n^* – постоянные.

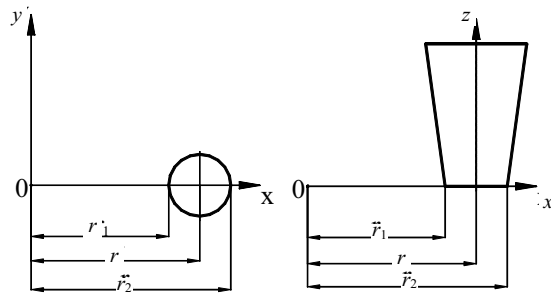


Рис. 1. Расчетная схема движения жидкой среды через трубку переменного сечения

Значение постоянной D определяется по формуле

$$D = k \cdot C,$$

где k – коэффициент, м⁻¹; C – коэффициент, зависящий от скорости движения жидкости на входе в трубку переменного сечения, м²/с.

Значение коэффициента k определяется из формулы

$$k = -\frac{\pi}{2(r_2 - r_1)}.$$

Коэффициент, зависящий от скорости движения жидкости на входе в трубку переменного сечения, определяется из уравнения

$$C = v_\varphi^{\text{вход}} \cdot r_2,$$

где $v_\varphi^{\text{вход}}$ – окружная скорость на входе в трубку переменного сечения, м/с.

Пристенная продольная скорость

$$\omega_n = \frac{n \cdot \pi}{r_2 - r_1}.$$

Постоянные Ω_n , Ω_n^* определяются из уравнений

$$\Omega_n = 1 - \frac{r}{r_1} \frac{B_n I_1(\omega_n r) - C_n K_1(\omega_n r)}{A_n};$$

$$\Omega_n^* = \frac{B_n I_0(\omega_n r) + C_n K_0(\omega_n r)}{A_n},$$

где A_n , B_n , C_n – постоянные.

Значения постоянных A_n , B_n и C_n определяются как

$$A_n = I_1(\omega_n r_1) K_1(\omega_n r_2) - I_1(\omega_n r_2) K_1(\omega_n r_1);$$

$$B_n = K_1(\omega_n r_2) - \frac{r_1}{r_2} K_1(\omega_n r_1);$$

$$C_n = I_1(\omega_n r_2) - \frac{r_1}{r_2} I_1(\omega_n r_1),$$

где $I_1(x)$; $K_1(x)$; $I_0(x)$; $K_0(x)$ – функции Бесселя.

При практических расчетах значения аргумента бesselевых функций $x = \omega_n r$ оказываются обычно во втором и последующих членах ряда столь большими, что можно воспользоваться асимптотическими представлениями этой функции при $x \rightarrow \infty$ [1]

$$I_n(x) \approx \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}}; \quad K_n(x) \approx \sqrt{\frac{\pi}{2x}} \cdot e^{-x}.$$

Расчет параметров однородного винтового потока в трубке переменного сечения перемешивающего устройства без учета физических свойств движущейся среды реализован в среде MATLAB в соответствии с приведенными уравнениями при следующих входных параметрах: $r_1 = 0,01$ м, $r_2 = 0,02$ м. Распределение скоростей в трубке переменного сечения приведено на рис. 2 при $v_{\phi}^{\text{вход}} = 0,1$ м/с.

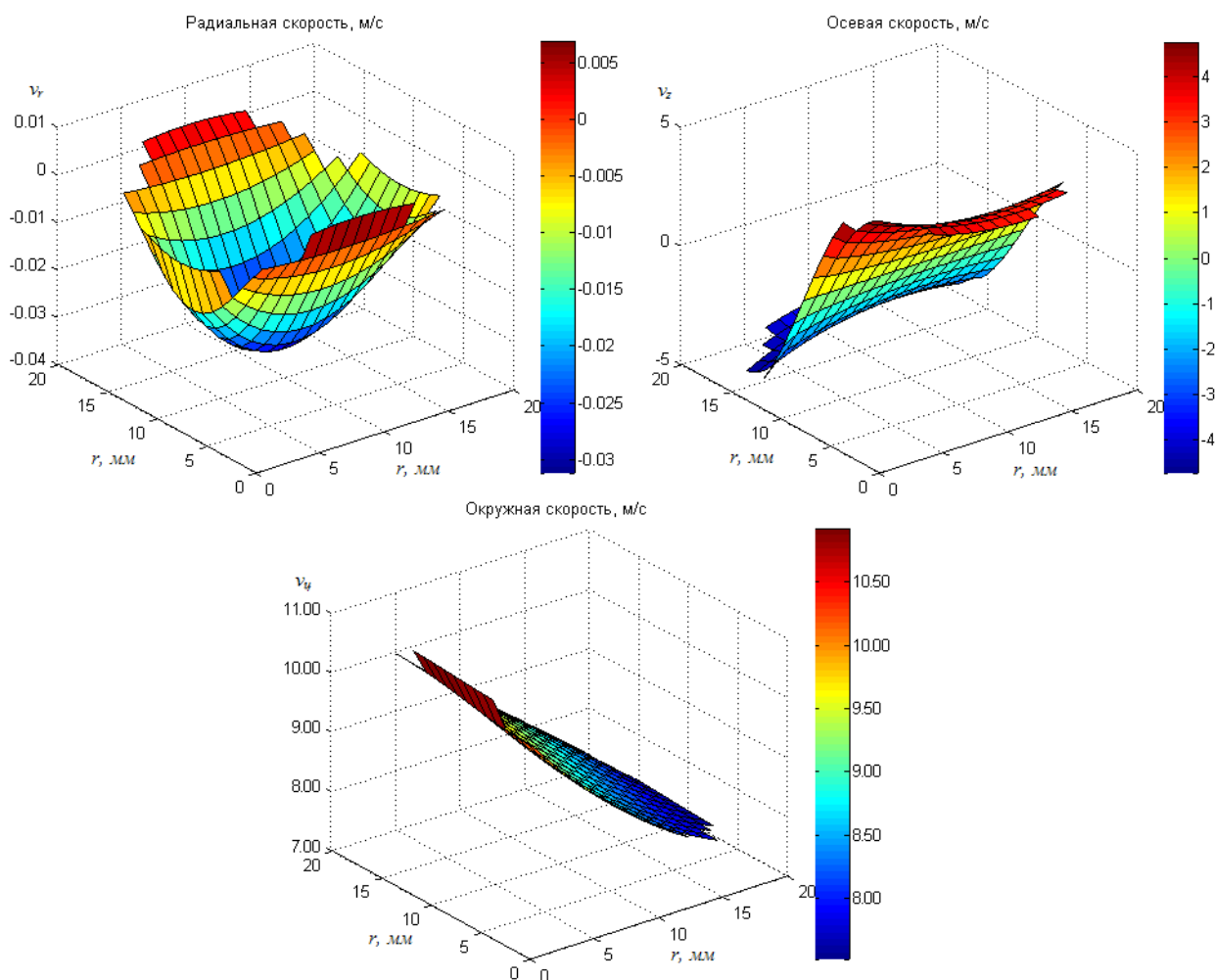


Рис. 2. Профили скоростей потока жидкости в трубке переменного сечения по радиусу r вращения

Выводы.

1. Разработанная математическая модель движения идеальной жидкости в рабочем органе перемешивающего устройства – трубке переменного сечения, равномерно вращающейся относительно вертикальной оси рабочей камеры, реализована средствами вычислительного комплекса MATLAB в форме численной модели.

2. В результате модельного эксперимента получены зависимости составляющих скоростей движения жидкости в рабочем органе при входном значении скорости вращения $v_{\phi}^{\text{вход}} = 0,1$ м/с по текущему радиусу r вращения в диапазоне изменения от $r_1 = 0,01$ м до $r_2 = 0,02$ м.

3. Полученные функциональные зависимости радиальной, окружной и осевой составляющей абсолютной скорости жидкости по радиусу вращения в рабочей камере перемешивающего устройства дают возможность определить оптимальный скоростной режим движения жидкости в трубке переменного

сечения перемешивающего устройства и, как следствие, решать задачи по его геометрическому и динамическому синтезу.

Литература

1. Васильев, О. Ф. Основы механики винтовых и циркуляционных потоков / О. Ф. Васильев. – М. : Л., 1958.
2. Гуюмджян, П. П. Движение жидкости в канале переменного сечения / П. П. Гуюмджян, С. О. Кожевников, В. А. Дельцова // Информационная среда вуза: Материалы X Междунар. науч.-техн. конф. Иван. гос. архит.-строит. акад. – Иваново, 2003. – С. 203–205.
3. Кожевников, С. О. Методы диспергирования жидких сред / С. О. Кожевников, П. П. Гуюмджян // Информационная среда вуза: Материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. – Иваново, 2008. – С. 865–868.
4. Кожевников, С. О. Обзор основных типов перемешивающих устройств для получения технологических жидкостей / С. О. Кожевников // Вестник научно-промышленного общества. Вып. 6. – М., – 2003. – С. 67–69.
5. Шерман, Ф. Эмульсии / Ф. Шерман. – Л., 1972.

УДК 662.6/9

А. Н. Попов, В. К. Любов, О. Д. Мюллер, Е. И. Попова
Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ НА ГРАНУЛЯТОРЕ С ПЛОСКОЙ МАТРИЦЕЙ

Цель данной работы заключалась в проведении экспериментальных работ по определению силы прессования мелкодисперсного древесного сырья в каналах плоских матриц грануляторов. В статье дано описание и рассмотрен принцип действия исследовательской установки с тензометрической системой измерений. Проведен сбор и анализ фиксируемых параметров. Сравнение результатов расчетного и экспериментального определения давления прессования позволило сделать вывод о применимости разработанной математической модели.

Пресс-гранулятор, плоская матрица, прессования, древесное сырье, давление прессования, тензометрическая система, датчик силы, математическая модель.

The purpose of this work is an experimental testing of wood raw material in the channels of the flat die pellet mills to determine the pressing force. The article describes the principle of operation of the research facility equipped strain gauge measurement system. The analysis of recorded parameters are completed. The comparison of experimental and estimated data of the extrusion pressure has confirmed the applicability of the developed mathematical model.

Pellet mill, flat die, pressing, wood raw material, extrusion pressure, strain gauge system, force sensor, mathematical model.

Введение.

Одним из широко распространенных активно используемых возобновляемых видов энергоресурсов являются древесные топливные гранулы (пеллеты). Согласно ежегодному отчету об использовании биотоплива в ЕС 2013 [3], потребление древесных гранул в 2012 г. составило 14 млн т. Прогнозируется дальнейший рост потребления гранул, и по данным аналитического прогноза POYRY, ежегодное использование пеллет в Европе к 2050 г. достигнет 23,8 млн т.

Падение цен на первичные энергоресурсы, снижение курса национальной валюты РФ, увеличение потребления биотоплива и вовлечение в энергосистемы новых видов биотоплива (биодизель, биогаз), колоссальные объемы неосвоенных природных ре-

сурсов РФ открывают для компаний, производящих биотоплива, и для биоэнергетики в целом, возможности для успешного развития, как внутри страны, так и за рубежом.

Основная часть.

Наиболее распространенным методом формования при изготовлении древесных гранул является прессование продавливанием сырья через каналы матрицы цилиндрическими роликами. Эффективность гранулирования зависит от физико-механических свойств исходного древесного сырья, технологических режимов и условий протекания процесса. При этом нет достаточно обоснованной информации и технической литературы по компонентам, рекомендуемому оборудованию и техноло-