

Р. Р. Сафин, Р. Р. Хасаншин, Р. В. Данилова,
Д. Р. Хазиева

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В БАРАБАННОЙ КАМЕРЕ

Ключевые слова: композиционный материал, термомодифицированная древесина.

В статье представлено математическое моделирование в среде Visual Basic for Application, результатом чего является процесс термомодифицирования измельченной древесины в барабанной камере и установление влияющих конструктивных параметров оборудования на характеристики обработанного древесного наполнителя.

Keywords: wood-polymer composites, termowood filler.

The paper presents a mathematical modeling environment Visual Basic for Application, resulting in a process termomodifitsirovaniya chopped wood drum chamber and to establish the influence of design parameters on the performance of equipment treated wood filler.

Введение

В последние годы активно ведутся исследования в области глубокой переработки древесины с целью получения качественных композиционных материалов. При этом одним из перспективных методов обработки древесного наполнителя рассматривается термообработка при повышенных температурах без доступа кислорода воздуха.

В процессе термического модифицирования древесины происходит разложение гемицеллюлозы на реактивные молекулы меньшего размера, что позволяет существенно снизить гигроскопичность, повысить биостойкость, долговечность, устойчивость к воздействию высокой температуры, добиться отсутствия усушки и снизить величины коробления в условиях переменной влажности.

Известно, что процессы тепло- и массообмена в камерах барабанного типа протекают достаточно интенсивно и экономично благодаря хорошему контакту между обрабатываемым сыпучим материалом и газообразным агентом, а также благодаря возможности использования высоких температур газов при параллельном движении их с материалом. Поэтому актуальными представляются исследования процессов термического модифицирования древесного наполнителя в барабанных аппаратах и разработка технологии производства композиционных материалов на основе термомодифицированного древесного наполнителя, позволяющей повысить размерную стабильность, добиться отсутствия микропор, увеличить прочностные характеристики ДПК.

Основная часть

Физическую картину термомодифицирования древесного наполнителя в барабанных аппаратах можно представить следующим образом. Процесс является непрерывным; измельченную древесину загружают в камеру барабанного типа. Циркуляция теплоносителя осуществляется в попутном направлении. Попадая в аппарат, измельченная древесина нагревается, подвергается термическому разложению легкоразлагаемого компонента древесины

– гемицеллюлозы, с выделением в среду продуктов разложения. Температура, до которой осуществляется нагрев древесного наполнителя, зависит от требуемой степени термомодифицирования.

При этом измельченная древесина в аппарате находится как в полете, так и в завале. Основным способом теплопередачи к измельченной древесине в полете является конвекция, подвод тепла к материалу в завале характеризуется контактным методом. При достижении необходимой степени термомодифицирования производят выгрузку древесного наполнителя в шнек б, где происходит стадия охлаждения обработанного сырья путем теплопередачи хладагенту, циркулирующему в рубашке шнека.

Температура среды на входе в аппарат

$$\left. \frac{\partial T}{\partial \tau} \right|_{l_{бар}=0} = \frac{T \cdot c_{cp} \cdot \rho_{cp} (G_{вен} - G_{с.с}) + T_{мз} \cdot c_{мз} \cdot G_{мон} \cdot \rho_{мз}}{c_{cp} \cdot \rho_{cp} \cdot V_{св}} \quad (1)$$

В начале процесса, когда наблюдается неустановившееся температурное поле по длине аппарата, расчет переноса энергии применительно к одномерной картине и, пренебрегая теплопроводностью среды вследствие достаточно высокой скорости ее движения, может быть осуществлен по уравнению

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + c_{cp} \rho_{cp} W_{cpl} \frac{\partial T_{cp}}{\partial l} = -\alpha [T_{cp} - T_{повм}] F^* + k \cdot \rho_m \cdot q \quad (2)$$

где источник член характеризует подвод тепла к поверхности материала за счет теплоотдачи и отвод тепла в среду с продуктами разложения.

Тепловой баланс для частиц, находящихся в полете

$$c_m \cdot \rho_m \cdot W_{ml} \frac{\partial T_{ml}}{\partial l_{бар}} = \alpha (T_{cp} - T_m) F^* - k \cdot \rho_m \cdot q \quad (3)$$

Тепловой баланс для частиц в завале

$$c_{нас.м} \cdot \rho_{нас.м} \cdot W_{ml} \frac{\partial T_{мз}}{\partial l_{бар}} = K \cdot \Delta t_{бар} \cdot \frac{F_{конт.бар}}{V_m} - k \cdot \rho_m \cdot q \quad (4)$$

Таким образом, изменение средней температуры и плотности частиц по длине барабана можно представить в следующем виде

$$\frac{\partial \bar{T}_m}{\partial l_{бар}} = \frac{m_{м.л.}}{m_m} \left(\frac{\partial T_{м.л.}}{\partial l_{бар}} \right) + \frac{m_{м.з.}}{m_m} \left(\frac{\partial T_{м.з.}}{\partial l_{бар}} \right) \quad (5)$$

$$W_m \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial l_{бар}} = k \cdot \bar{\rho}_m \quad (6)$$

Время нахождения частиц в ковше и в завале (рис. 2)

$$\tau_{зав} = \frac{2\alpha'}{\omega} \quad (7)$$

Для нахождения количества частиц, находящихся в полете, была определена средняя высота их падения, которую находят как площадь сегмента барабана, деленную на его основание

$$\bar{h} = \frac{S_{\alpha'}}{b} = \frac{R}{2} \left[\frac{\pi \cdot \arcsin(-\text{Cos}\alpha')}{2(1-\text{Cos}\alpha')} - \frac{\text{Cos}\alpha'}{\sqrt{1-\text{Cos}\alpha'}} \right] \quad (8)$$

Тогда время падения частиц

$$\tau_{пад} = \sqrt{\frac{2\bar{h}}{g}} \quad (9)$$

отсюда соотношение частиц, находящихся в полете и в завале, определяется как отношение времени их падения к времени нахождения в завале

$$\frac{m_{м.л.}}{m_m} = \frac{\tau_{пад}}{\tau_{пад} + \tau_{зав}}, \quad (10)$$

$$\frac{m_{м.з.}}{m_m} = \frac{\tau_{зав}}{\tau_{пад} + \tau_{зав}} \quad (11)$$

Средняя скорость частиц по направлению основного движения может быть определена из уравнения

$$\bar{W} = \frac{\tau_{пад}^2}{\tau_{пад} + \tau_{зав}} \cdot \frac{a_1}{2}, \quad (12)$$

где ускорение частиц по направлению основного движения имеет вид

$$a_1 = a_{рез} \cdot \text{Cos}\gamma = \left[\frac{\mu \cdot \rho_{сп} \cdot f' \cdot w_{сп}^2}{m_{ч}} + g \right] \times \left[\frac{\mu \cdot \rho_{сп} \cdot f' \cdot w_{сп}^2}{\mu \cdot \rho_{сп} \cdot f' \cdot w_{сп}^2 + m_{ч} \cdot g} \right] \quad (13)$$

Для описания стадии охлаждения термомодифицированных древесных частиц использовано уравнение переноса энергии с источником членом, характеризующим теплопередачу хладагенту, циркулирующему в рубашке экструдера

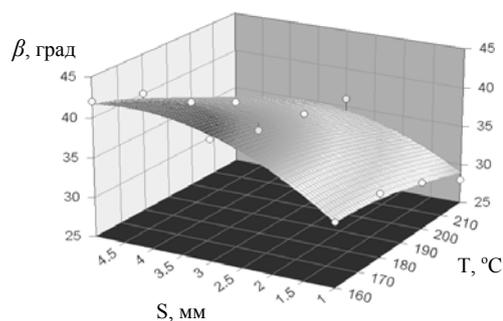
$$c_{нас.м} \cdot \rho_{нас.м} \cdot W \frac{\partial T}{\partial l_{ин}} = K \cdot \Delta t_{ин} \cdot \frac{F_{конт.ин}}{V_m} \quad (14)$$

где удельная теплоемкость насыпного слоя материала определяется по условию аддитивности.

Представленная система уравнений позволяет полностью описать процесс термомодифицирования древесного наполнителя в среде топочных газов в условиях барабанных аппаратов.

На основе разработанного математического описания процесса термомодифицирования древесного наполнителя в среде инертных газов составлен алгоритм расчета, который состоит из пяти основных частей: блок расчета параметров топочных газов; блок расчета неуставившегося режима; блок определения температурного поля среды и материала при установившемся режиме; блок корректировки режимных параметров термомодифицирования в зависимости от требуемой степени обработки материалов; блок расчета стадии термомодифицирования.

Для решения представленной математической модели были экспериментально получены недостающие данные. На рисунке 1 приведены результаты исследования по определению угла естественного откоса образцов при различных температурных режимах и фракциях исследуемых частиц, на основании которых можно сделать вывод, что с увеличением температуры обработки угол естественного откоса образцов уменьшается. Это объясняется тем, что после термообработки измельченная древесина становится менее шероховатой.



ию насыпной плотности древесных частиц при различных температурных режимах и фракциях исследуемых

Рис. 1 - Изменение угла естественного откоса древесных частиц при различных температурах обработки

мых частиц показаны на рисунке 2. Из графиков видно, что с увеличением температуры обработки насыпная плотность также уменьшается.

Для анализа процессов, протекающих в барабанных аппаратах при проведении термического модифицирования измельченной древесины, и установления влияния конструктивных параметров оборудования на характеристики обработанного древесного наполнителя было проведено математическое моделирование в среде Visual Basic for Application.

$\rho_{нас}$

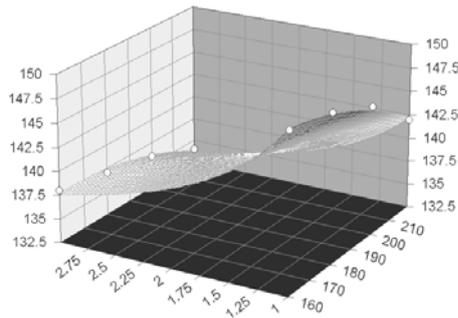


Рис. 2 - Изменение насыпной плотности древесных частиц при различных температурах обработки

В результате математического моделирования зависимости средней скорости древесных частиц от скорости теплоносителя установлена рациональная скорость движения теплоносителя 0,75-1,5 мм/с, обеспечивающая длину барабана не более 8-10 м (рис. 3, 4).

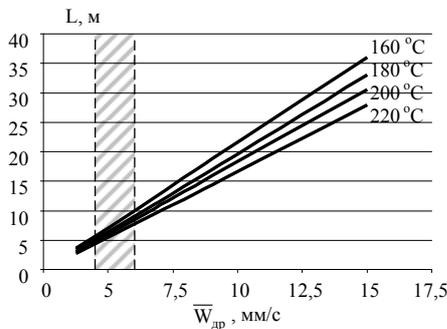


Рис. 3 - Требуемая длина барабана в зависимости от скорости движения древесных частиц

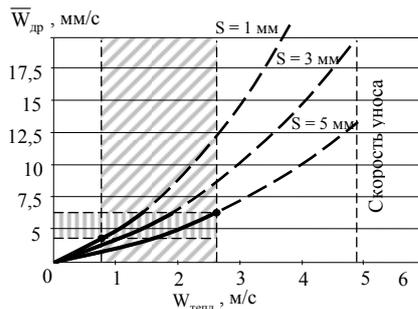


Рис. 4 - Зависимость средней скорости древесных частиц от скорости теплоносителя

Заключение

В результате анализ взаимосвязи между диаметром и длиной барабана установлено, что с увеличением диаметра барабана в 3 раза, длина аппарата уменьшается почти в 7 раз. Это объясняется тем, что с увеличением диаметра барабана, возрастает время нахождения частиц в полете, тем самым обеспечивается наилучшее взаимодействие частиц с движущимся газообразным теплоносителем.

Таким образом, представленная математическая модель позволяет выявить рациональные режимные параметры процесса и требуемые характеристики барабанной установки для термомодифицирования измельченной древесины.

Литература

1. Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Хасаншин, Д.Р. Хазиева, К.Р. Кузнецов. *Вестник Казанского технологического университета*, 19, 142-144, (2013).
2. Р.Р. Хасаншин, Р.В. Данилова. *Вестник Казанского технологического университета*, 15, 7, 62-63, (2012).
3. Ю.Н. Зиятдинова, Ф.Г. Валиев, Р.Р. Хасаншин, А.Н. Николаев. *Вестник Казанского технологического университета*, 22, 34, (2011).
4. Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Р.Р. Сафин. *Вестник Казанского технологического университета*, 9, (2010).
5. П.А. Кайнов, Р.Р. Хасаншин, С.В. Ахмадиева. *Вестник Казанского технологического университета*, 15, 15, 233-234, (2012).
6. Р.Р. Сафин, Е.У. Разумов, Н.А. Оладьшкина. *Вестник Казанского технологического университета*, 5, 543, (2001).
7. Р.Р.Сафин., Р.Р.Хасаншин., Р.Г.Сафин. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2006. № 4. С. 64-71.

© Р. Р. Сафин – д-р техн. наук, проф., зав. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины КНИТУ, cfaby@mail.ru; Р. Р. Хасаншин – канд. техн. наук, доц. той же кафедры, olambis@rambler.ru; Р. В. Данилова – ассистент той же кафедры; Д. Р. Хазиева – магистрант КНИТУ.