

Легкий бетон 4 типа имеет существенно меньшую теплопроводность, чем керамзитобетон и силикатный кирпич, уступая лишь газобетону.

Учитывая тот факт, что ТМД как материал является не дешевым в изготовлении, его использование может быть целесообразно при использовании низкосортной древесины. Также с целью решения проблем рационального использования лесных ресурсов предлагается для производства наполнителя из ТМД применять древесину сухостойной ели. Следует отметить, что ель среди распространенных в России пород имеет одну из наименьших величин теплопроводности (0,11 Вт/(м·с)).

Несмотря на то, что сами исследования являются упрощенными и выполнены не по стандартным методикам, их результаты получились наглядными и позволяют предположить высокую конкурентоспособность разработанного строительного материала, благодаря сочетанию таких свойств как высокая прочность, низкая гигроскопичность и относительно малая теплопроводность.

Список литературы

1. ГОСТ 19222–2019. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. Введ. 01.01.2020. М. : Стандартинформ, 2019. 36 с.
2. Справочник по производству и применению арболита / П. И. Крутов, И. Х. Наназашвили, Н. И. Склизков, В. И. Савин ; под ред. И. Х. Наназашвили. М. : Стройиздат, 1987. 208 с.
3. Чернов В. Ю., Гайсин И. Г., Мальцева Е. М. Арболитовая смесь. Заявка № 2020142177 от 21.12.2020.

УДК 674.047.3

А. И. Шагеева,

старший преподаватель кафедры АрД, ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета», г. Казань, РФ,
sham.adilya@yandex.ru

Р. Р. Сафин,

д. т. н., зав. кафедрой АрД, ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета», г. Казань, РФ,
cfaby@mail.ru

П. А. Кайнов,

к. т. н., доцент кафедры АрД, ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета», г. Казань, РФ,
petr.k@plastline.org

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СВЧ-ПОЛЕ

Данная работа выполнялась при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-2246.2020.8)

В данной статье представлена разработанная математическая модель теплопереноса в условиях внутренней задачи в процессе сушки и термической обработки древесины в вакуумной СВЧ-установке. В ходе реализации разработанной модели опытными испытаниями по термомодифицированию пиломатериалов была проведена проверка математической модели на адекватность.

Ключевые слова: *сушка, термомодифицирование, математическое моделирование, теплоперенос, древесина.*

A. I. Shageeva,

assistant of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
sham.adilya@yandex.ru

R. R. Safin,

Doctor of Science in Engineering, Chairs the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
cfaby@mail.ru

P. A. Kaynov,

PhD of Science in Engineering, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
petr.k@plastline.org

MATHEMATICAL MODEL FOR THE PROCESS OF HEAT TREATMENT OF WOOD MATERIALS IN A MICROWAVE ENVIRONMENT

This article presents the developed mathematical model of heat and mass transfer under the conditions of an internal problem in the process of drying and heat treatment of wood in a vacuum microwave installation. During the implementation of the developed model by experimental tests for thermal modification of lumber was carried out verification of mathematical model.

Keywords: drying, thermal modification, mathematical modeling, heat and mass transfer, wood.

Проблеме модификации древесины и в развитие теории и практики вакуумно-высокочастотной сушки посвящено большое количество трудов отечественных и зарубежных ученых [1, 2]. При этом все более актуальным становится вопрос создания способа термической обработки древесины, который позволяет сократить продолжительность и энергозатраты на введение процесса.

Процесс термомодифицирования древесины можно представить, как совокупность стадий прогрева, сушки, непосредственного термического модифицирования и охлаждения [3, 4]. При этом, одним из основных стадий процесса термического модифицирования древесины, определяющих качество пиломатериала, является сушка. Важное преимущество использования СВЧ-излучения заключается в возможности применения избирательного, саморегулирующегося нагрева обрабатываемого материала. Однако, расположив СВЧ-генератор в каком-то одном определенном месте, сложно добиться равномерности нагрева по всему штабелю. В этой связи исследования посвящены именно тому, чтобы выровнять мощность теплового нагрева в разных точках штабеля.

Для повышения эффективности процесса сушки и термомодифицирования древесины разработана установка с использованием импульсного СВЧ-нагрева в вакуумной среде. По сравнению с другими известными способами, у представленного метода минимальная продолжительность процесса, связанная с высокой скоростью переноса тепла, вырабатываемого внутри высушиваемого материала и поглощения СВЧ-энергии по всему объему пиломатериалов (рис.).

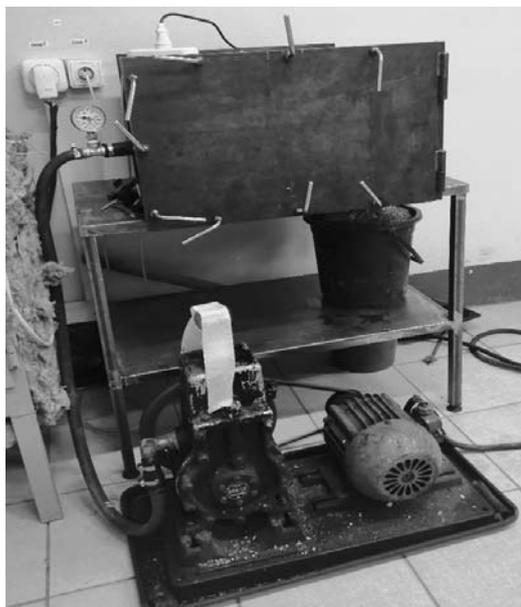


Рис. Экспериментальная установка вакуумной СВЧ-сушки и термомодифицирования пиломатериалов

Установка содержит СВЧ-камеру из листового металла, помещенную в герметичную камеру из нержавеющей стали, закрытую крышкой с эластичной мембраной, состоящий из линии вакуумирования, основного выключателя для регулирования и перекрытия вакуума, вакуумметра, индикатора времени и мощности нагрева. В ходе экспериментов в качестве образцов использовались сосновые пиломатериалы с разными размерами, с базисной плотностью 390 кг/м^3 и начальной влажностью 60 %. Подвод тепловой энергии к пиломатериалу осуществляется электромагнитным СВЧ-полем от микроволнового генератора, который имеет мощность 700 Вт и частоту 2450 МГц. Температура пиломатериала внутри камеры измеряется с помощью пирометра, а температура центра материала с помощью термометра.

Одномерная математическая модель для описания тепломассопереноса в условиях внутренней задачи в процессе сушки может быть представлена, как дифференциальные уравнения переноса энергии, изменения влажности, температуры и давления в материале, выраженные как:

$$c_m \rho_m \frac{\partial T_m}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda'_m \left(\frac{\partial T_m}{\partial x} \right) \right) + q_{\text{СВЧ}}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a' \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \delta' \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{kp}{\nu_0} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho_M}{\partial \tau} = \frac{RT_M}{C_0 \mu} \left[k_p \frac{\partial^2 \rho_M}{\partial x^2} + \bar{\varepsilon} \rho_0 \frac{\partial U}{\partial \tau} \right] + \frac{\rho_M}{T_M} \left(\frac{\partial T_M}{\partial \tau} \right), \quad (3)$$

Решение дифференциальных уравнений (1) и (2) процесса сушки пиломатериалов проводится при следующих начальных и граничных условиях:

$$T_M(0; x) = \text{const},$$

$$U_M(0; x) = \text{const},$$

$$P_M(0; x) = \text{const},$$

$$\alpha(T - T_{\text{пов.м}}) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} - rj,$$

$$j = \beta(U_M - U_{\text{равн.}}),$$

$$P_M(\tau; 0) = P_{\text{кам}}.$$

При решении задач по термомодифицированию древесины, математическое моделирование процесса можно осуществлять без учета фильтрационного переноса парогазовой смеси продуктов разложения внутри материала. Тогда для описания тепломассопереноса применяются уравнения переноса энергии (4) и изменения плотности в материале (5), которое в этом случае может быть представлено в следующем виде:

$$c_M \rho_M \frac{\partial T_M}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda'_M \left(\frac{\partial T_M}{\partial x} \right) \right) - qk\rho_M + q_{\text{свч}}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho_M}{\partial \tau} = -k \cdot \rho_M, \quad (5)$$

Начальным условием для стадии термомодифицирования при решении уравнения (4) является конечное распределение температуры и влагосодержания после стадии сушки, а граничное условие может быть представлено в следующем виде:

$$\alpha(T - T_{\text{пом.м}}) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} - jq.$$

Для решения уравнения (5) процесса термомодифицирования пиломатериалов введено следующее начальное условие:

$$\rho_M(0; x) = \text{const},$$

$$q_{\text{свч}} = \frac{P_{\text{уд}}}{\rho_M}.$$

Удельная мощность, определяющая количество тепла, выделенного при СВЧ-нагреве в единице объема материала рассчитывают согласно классическому закону Джоуля-Ленца по формуле:

$$P_{\text{уд}} = 0,556 \cdot 10^{-6} \varepsilon \text{tg} \sigma f E^2, \quad (6)$$

Диэлектрическая проницаемость древесины определяется как

$$\varepsilon = \frac{4\pi \delta C_0}{S_0}, \quad (7)$$

Для описания доли подведенной мощности, которая поглощается древесиной и превращается в теплоту применяют тангенс угла диэлектрических потерь

$$\text{tg} \sigma = \frac{\sigma f}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon}, \quad (8)$$

Напряженность электрического поля, которое создает точечный заряд, определяется законом Кулона:

$$E = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{q_3}{r^2}, \quad (9)$$

при этом заряд

$$q_3 = CU, \quad (10)$$

В ходе реализации математической модели была доказана удовлетворительная сходимость опытных и расчетных данных, что говорит об адекватности разработанной модели.

Список литературы

1. Разумов Е. Ю., Сафин Р. Р., Шамсутдинова А. И. Современные российские исследования и разработки в области термомодифицирования пиломатериалов. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2017. № 3. С. 5–12.
2. Кайнов П. А., Мухаметзянов Ш. Р., Шамсутдинова А. И., Мухтарова А. Р. Математическая модель процесса сушки пиломатериалов в вакуумной СВЧ установке. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2017. № 4. С. 17–21.
3. Шагеева А. И., Сафин Р. Р., Мухаметзянов Ш. Р., Порфирьева К. М. Математическое моделирование процессов сушки пиломатериалов в СВЧ-среде / Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. В. 57. С. 71–74.
4. Шамсутдинова А. И., Кайнов П. А., Моделирование процесса сушки пиломатериала в вакуумной СВЧ установке // Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции «БУДУЩЕЕ НАУКИ – 2018». 2018. Т. 4. С. 313–316.

УДК674.816.2

В. Д. Эскин,

магистрант 1 курса, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
vladislaweskin@gmail.com

А. И. Криворотова,

к. т. н., доцент кафедры ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
tkmkai@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ И СВОЙСТВ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ

Участие в конференции поддержано Красноярским краевым фондом науки <http://www.sf-kras.ru>.

Современные тенденции последних десятилетий показывают значительный рост интереса к экологически чистым композиционным материалам на основе древесного сырья. Кусковые отходы деревообработки, опилки, кора – вторичное древесное сырье, применение которого позволяет обеспечить комплексную переработку древесины без увеличения количества ее заготовки. Одним из способов переработки отходов является механоактивация. В работе определены способы и режимы изготовления экологически чистых плитных материалов на основе механоактивированных тонкодисперсионных частиц коры и древесной шишки, исследованы основные физико-механические свойства полученных материалов.

Ключевые слова: механоактивация, древесина, сырье, листовой материал, кавитация, режим, свойства.

V. D. Eskin,

1st yearmaster'sdegree student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation,
vladislaweskin@gmail.com

A. I. Krivorotova,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation,
tkmkai@mail.ru

INVESTIGATION OF THE MODES AND PROPERTIES OF SHEET MATERIALS MADE OF MECHANICALLY ACTIVATED WOOD PARTICLES

Modern trends in recent decades show a significant increase in interest in environmentally friendly composite materials based on wood raw materials. Lumpy wood processing waste, sawdust, bark – secondary wood raw materials, the use of which allows for