

674
Т19

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

ТАРАШКЕВИЧ ВАЛЕНТИНА ИВАНОВНА

674.031.18:536.63

УДК.674.037.4:536.63+536.2

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ
МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД,
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ
СПОСОБОМ

05.21.05 Технология и оборудование
деревнообрабатывающих производств,
древесиноведение

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск. 1990

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте имени С.М.Кирова

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ШУТОВ Г.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
ХРУЛЕВ В.М.

кандидат технических наук, доцент
КАСПЕР В.И.

Ведущая организация - Институт тепло- и массообмена
им.А.В.Лыкова АН БССР

Защита состоится "11" декабря 1990 г. в "14⁰⁰" час.
на заседании специализированного совета К.056.01.01 в
Белорусском ордена Трудового Красного Знамени
технологическом институте имени С.М.Кирова
(220630, г.Минск, ул.Свердлова, 13-а, корпус 4,
зал заседаний)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Белорусского ордена Трудового Красного Знамени
технологического института имени С.М.Кирова

Автореферат разослан "11" ноября 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук,
доцент

С.П.ТРОБИМОВ

Белорусский ордена Трудового
Красного Знамени технологический
институт имени С.М.Кирова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Древесина находит широкое применение в народном хозяйстве и важными условиями экономически выгодного использования ее являются увеличение срока службы, защита от биологического разрушения, возгорания, воздействия химически агрессивных сред. Известен ряд методов улучшения природных свойств натуральной древесины, различных по технологии и целевому назначению, среди которых особое место принадлежит модифицированию древесины термохимическим способом. Проблема модифицирования древесины приобретает большое значение в связи с заметным сокращением лесных ресурсов, влекущим за собой необходимость включения в сферу производства малоценных мягких лиственных пород.

В технологической обработке древесины, как правило, подвергается тепловому воздействию, которое сопутствует всем основным операциям: распиловке, лущению, строганию, гнутью, прессованию, склеиванию и т.д. Как промежуточной, так и заключительной операцией производства изделий из натуральной и модифицированной древесины является сушка. Рациональное решение практических задач гидротермической обработки материалов и изделий из натуральной и модифицированной древесины невозможно без надежной информации о теплофизических свойствах материала.

Имеющиеся в литературе данные о влиянии плотности, влажности, температуры, структурных характеристик и направления теплового потока относительно волокон на теплофизические свойства древесины часто противоречивы, неполны, а для модифицированной древесины такие данные малочисленны и фрагментарны.

Основными методами получения данных о свойствах материалов являются их экспериментальное измерение и аналитическое описание с помощью эмпирических уравнений. Учитывая широкий спектр композиционных материалов на основе древесины, которые находят применение в народном хозяйстве, повышение требований к точности информации об их свойствах и то обстоятельство, что проведение экспериментальных исследований является дорогостоящим, особую актуальность приобретает разработка методов прогнозирования теплофизических свойств модифицированной древесины на основе минимальной экспериментальной информации.

Работа выполнялась в соответствии с координационным планом

АН СССР по важнейшим фундаментальным проблемам на период с 1978 по 1990 годы по теме "Научные основы переработки и использования древесины" и планом научно-исследовательских работ проблемной научно-исследовательской лаборатории модификации древесины БТИ им.С.М.Кирова "Разработка научных основ модифицирования древесины термохимическим способом. Исследование свойств модифицированной древесины, совершенствование процессов модифицирования древесины".

Цель и задачи работы. Основной целью исследований является получение новых экспериментальных данных о теплофизических свойствах (удельной теплоемкости, коэффициентах тепло- и температуропроводности) модифицированной древесины мягких лиственных пород (осины, ольхи и березы) в технически важном диапазоне температур, влажности и составов композиционных материалов; составление таблиц и диаграмм, рекомендуемых для использования в тепловых расчетах гидротермической обработки натуральной и модифицированной древесины.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи:

- разработать методики определения удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности сухой и влажной натуральной и модифицированной древесины в эксперименте, реализующем условия монотонного нагрева;
- предложить алгоритм учета тепловых эффектов сорбции - десорбции влаги пористой структурой древесины при расчете эффективных и истинных свойств влажной натуральной и модифицированной древесины;
- разработать программу расчета на ЭВМ теплофизических свойств влажных композиционных материалов на основе древесины с использованием в качестве базовых полученных экспериментальных данных;

Научная новизна. Разработана и реализована методика определения кажущейся (эффективной) и истинной удельной теплоемкости влажной натуральной и модифицированной древесины в режиме монотонного нагрева. Экстраполяцией на нулевую влажность получена температурная зависимость удельной теплоемкости абсолютно сухой натуральной древесины. Впервые получены экспериментальные данные об удельной теплоемкости влажной древесины березы, ольхи и

осины, модифицированной составами на основе мочевины и жидкого стекла. Разработана, экспериментально проверена и реализована в виде программы на ЭВМ методика определения удельной теплоемкости сухой и влажной модифицированной древесины в аддитивном приближении (по известным значениям теплоемкостей компонентов). Разработана и реализована методика экспериментального определения эффективных и истинных коэффициентов теплопроводности натуральной и модифицированной древесины для трех направлений теплового потока относительно волокон древесины. Получено уравнение для расчета истинных коэффициентов теплопроводности натуральной и модифицированной древесины на основе температурных зависимостей теплопроводностей компонентов.

Составлена программа расчета на ЭВМ комплекса теплофизических свойств (удельной теплоемкости, коэффициентов тепло- и температуропроводности) натуральной и модифицированной древесины в широком диапазоне параметров состояния и объемных долей модификаторов в композиционном материале.

Практическая значимость заключается в определении теплофизических свойств модифицированной древесины мягких лиственных пород, необходимых для оптимизации технологических режимов ее термообработки в производстве изделий. Разработанная для ЭВМ на основе экспериментальных данных программа расчета теплофизических свойств натуральной и модифицированной древесины используется при выполнении научно-исследовательских работ в проблемной лаборатории модификации древесины, в отраслевой лаборатории разработки и совершенствования технологических процессов целлюлозно-бумажного производства, а также в учебном процессе при выполнении лабораторных работ по курсу "Гидротермическая обработка и консервирование древесины" на кафедре технологии клееных материалов и плит БТИ им.С.М.Кирова.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены и обсуждены на Республиканской конференции "Химия и применение фенолалдегидных смол" (Таллинн, 1987); Всесоюзной конференции "Современные проблемы древесиноведения" (Красноярск, 1987), 5 Межреспубликанской конференции молодых ученых "Исследования в области лигнина древесины" (Рига, 1988), Белорусском республиканском научно-техническом совещании "Применение термического ана-

лиза для интенсификации технологических процессов и создания прогрессивных материалов" (Минск, 1988); II Всесоюзном совещании "Метастабильные фазовые состояния - теплофизические свойства и кинетика релаксации" (Свердловск, 1989); XIII научно-технической конференции "Научно-технический прогресс в лесной и деревообрабатывающей промышленности" (Киев, 1989); Всесоюзной научно-исследовательской конференции "Модифицирование и защитная обработка древесины" (Красноярск, 1989); 6 Международной конференции по термогравиметрии и теплотехнике (Будапешт, 1989); У1 Всесоюзной конференции "Термодинамика органических соединений" (Минск, 1990); Всесоюзной конференции "Модификация древесины" (Минск, 1990); ежегодных научно-технических конференциях сотрудников и профессорско-преподавательского состава БТИ им. С.М.Кирова (1986-1990 гг.).

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 14 работ, из них 3 статьи и II тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы (II2 наименований) и приложений. Основная часть работы содержит 149 страниц, 33 рисунка и 32 таблицы, объем приложений, содержащих таблицы опытных данных, тексты трех программ для ЭВМ и документы о внедрении результатов работы - 47 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель исследований, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, и практическая значимость работы.

В первой главе содержится аналитический обзор публикаций, содержащих экспериментальные данные и методы расчета теплофизических свойств древесины, изучено влияние на тепловые свойства древесины таких факторов как температура, влажность (для удельной теплоемкости), а также плотность и направление теплового потока относительно волокон древесины (для коэффициентов тепло- и температуропроводности).

Изучению теплофизических свойств древесины посвящены работы Чудинова Б.С., Кириллова Н.М., Кантера К.Р., Чудновского А.Ф., Миснара А.

Отмечено, что влажная древесина представляет собой трехкомпонентную систему, включающую твердую фазу - древесинное вещество, жидкую фазу, состоящую из свободной и связанной влаги, и газообразную фазу - воздух и водные пары. В теории теплопроводности древесина рассматривается как сложная дисперсная система с тонковолокнистым строением. Главной причиной различия коэффициентов тепло- и температуропроводности в различных анатомических направлениях древесины является ее анизотропия. Принято считать, что коэффициент теплопроводности для древесины - величина условная, поскольку передача тепловой энергии в материале производится тремя способами - теплопроводностью, излучением и конвекцией. Тепловой поток в древесине распадается на поток теплоты через клеточные оболочки (твердый каркас) и поток через поры, который в свою очередь формируется излучением, теплопроводностью и конвекцией.

Анализ литературных данных показал, что сведения об удельной теплоемкости натуральной и модифицированной древесины неполны (не указана либо температура измерений, либо влажность древесины), часто - противоречивы. Так, данные, рекомендованные для температурной зависимости удельной теплоемкости абсолютно сухой натуральной древесины, имеют расхождения до 50 %. Эти расхождения сохраняются пропорционально вкладу $\zeta(0, t)$ при расчете в аддитивном приближении удельной теплоемкости натуральной влажной и модифицированной древесины. Отмечено также, что некоторые имеющиеся в литературе экспериментальные данные о теплоемкости натуральной влажной древесины не удовлетворяют аддитивному приближению. Сопоставление имеющихся сведений о коэффициентах теплопроводности натуральной древесины свидетельствует о существенной зависимости их от плотности (пористости), влажности и температуры и, вместе с тем, - об их неполноте: значительная часть диапазона параметров не охвачена экспериментами.

Модифицированная древесина фактически сохраняет все принципиальные свойства натуральной с той лишь разницей, что в зависимости от способа модифицирования могут возникать определенные ограничения на основные параметры - плотность, влажность, температуру, в соответствии с которыми и должна рассматриваться применимость приведенных в литературе соотношений для натуральной древесины к расчету свойств модифицированной.

Во второй главе приводятся методы расчета теплофизических свойств натуральной и модифицированной древесины. Отмечается, что древесина относится к категории капиллярно-пористых коллоидных материалов. Полости клеток, связанные друг с другом, формируют вместе со свободными пространствами оболочек сложную капиллярно-пористую структуру, проницаемую для жидкостей и газов. Модифицированная древесина содержит также модификатор, заполняющий пустоты пространственной арматуры.

Тепловые свойства натуральной и модифицированной древесины существенно зависят от содержания влаги в системе древесинное вещество - модификатор - вода. Прогнозный расчет свойств таких многокомпонентных систем обычно производится в аддитивном приближении. Особенностью рассчитываемых таким образом свойств является то, что они характеризуют идеализированные условия: объемную (недиспергированную) фазу и смесь постоянного состава. Однако на практике подавляющее большинство задач нагрева и сушки пористых материалов связано с изменением состава системы, поскольку при нагревании вода ведет себя не как постоянная составляющая вещества, а как компонент, которому свойственны процессы испарения и конденсации.

Измерения основных теплофизических характеристик натуральной и модифицированной древесины: теплоемкости, коэффициентов тепло- и температуропроводности - отличаются рядом специфических особенностей, связанных, во-первых, с наличием развитой поверхности древесинного вещества как пористого гигроскопичного материала, во-вторых, с возможными фазовыми превращениями компонентов-наполнителей (конденсация и испарение воды, отверждение веществ-модификаторов) и, в силу этого - с изменением состава многокомпонентной системы в процессе нагрева или охлаждения. Попытки учета некоторых из этих условий при сохранении традиционного вида уравнений теплопереноса приводят к необходимости использования кажущихся (эффективных) теплофизических свойств.

Определение теплофизических свойств натуральной и модифицированной древесины в процессе нагрева сопровождается ее сушкой, поэтому результаты прямых измерений оказываются искаженными процессами испарения (десорбции) воды. Величина этих искажений определяется режимами калориметрических опытов, которые могут существенно различаться у разных авторов.

Имеющиеся в литературе численные величины экспериментальных данных о теплофизических свойствах древесины, в частности, об удельной теплоемкости, носят эффективный характер и являются характеристиками не только материала, но и конкретного тепло-массообменного процесса (условий эксперимента), в котором они получены. Для сопоставления свойств, измеренных различными методами (способ подвода теплоты, скорость нагрева или охлаждения, диапазон температур, масса и влажность образцов) необходима полная идентификация условий эксперимента и оценка истинных значений.

Для древесины с влажностью более 30 %, содержащей свободную влагу, истинная удельная теплоемкость в условиях монотонного нагрева находится из уравнения теплового баланса для образца с изменяющейся во времени массой (влажностью) и определяется как разность между эффективной (результат измерения) удельной теплоемкостью и поправкой к ней за счет теплового эффекта испарения свободной воды в объемной фазе

$$C[W(\tau), t] = \frac{C_0(t) \cdot m_0}{m(\tau_x)} \cdot \frac{\Delta \tau_x}{\Delta \tau_0} - \frac{\Delta H_{\text{исп}}}{\Delta \tau_x} \cdot \frac{\Delta m(\Delta \tau_x)}{m(\tau_x)}, \quad (I)$$

где $C[W(\tau), t]$ - истинная удельная теплоемкость влажной древесины, кДж/(кг·град); $C_0(t)$, m_0 - удельная теплоемкость и масса эталонного (медного) образца, $\Delta \tau_x$ - изменение температуры образца за время запаздывания $\Delta \tau_x$, которое определяется как разность времен достижения заданной температуры t ячейкой с образцом и пустой измерительной ячейкой; $m(\tau_x)$ - масса образца в каждой из опытных точек; $\Delta m(\Delta \tau_x)$ - изменение массы образца за время $\Delta \tau_x$; $\Delta H_{\text{исп}}$ - абсолютная величина теплового эффекта испарения воды.

На рис. I показана схема перехода от эффективной удельной теплоемкости к истинной (для влажной древесины) и от нее - к удельной теплоемкости абсолютно сухой древесины в аддитивном приближении экстраполяцией на нулевую влажность образцов.

Модифицированная древесина рассматривается как четырехкомпонентная система, состоящая из древесинного вещества, модификатора, воды и воздуха. В работе предложено аддитивное уравнение для расчета истинной удельной теплоемкости модифицированной древесины, позволяющее прогнозировать свойства влажной модифицированной древесины по свойствам компонентов - натуральной древесины и модификатора:

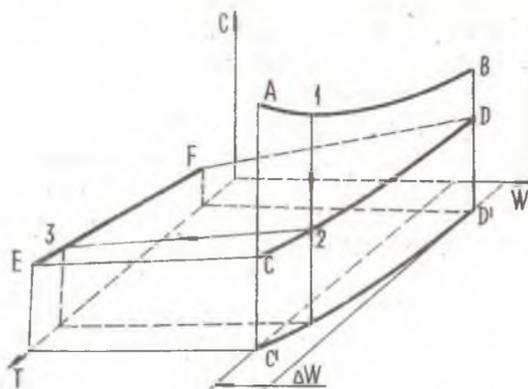


Рис.1. Температурные зависимости эффективной (AB), истинной (CD) удельной теплоемкости влажной древесины и переход к удельной теплоемкости абсолютно сухой древесины (EF).

$$C_{мд}(\rho, t, W) = \frac{1}{\rho_{мд}} \left[\rho_{мод} \cdot C_{мод}(t) \cdot \Phi + (\rho_{мд} - \Phi \cdot \rho_{мод}) \cdot C_{нвд}(t, W) \right] \quad (2)$$

В уравнении (2): $C_{мд}(\rho, t, W)$, $C_{нвд}(t, W)$, $C_{мод}(t)$ - удельные теплоемкости модифицированной, натуральной древесины и модификатора, соответственно; $\rho_{мд}$, $\rho_{нд}$, $\rho_{мод}$ - плотности модифицированной, натуральной древесины и модификатора; $0 \leq \Phi < 1$ - объемная доля модификатора в композиционном материале - модифицированной древесине, которая может быть определена из плотностей компонентов:

$$\rho_{мд} = \rho_{мод} \cdot \Phi + (1 - \Phi) \cdot \rho_{нвд} \quad (3)$$

Теплофизические свойства компонентов натуральной влажной древесины - воздуха, водяного пара и воды - известны с высокой точностью в широком интервале температур. В силу этого и в алгоритме расчета коэффициентов теплопроводности сухой и влажной натуральной древесины использованы константы и уравнения, описывающие теплопроводность воздуха и водяного пара.

Для расчета коэффициентов теплопроводности натуральной влажной древесины в зависимости от температуры, влажности, плотности и направления теплового потока относительно волокон древе-

сины в диссертации предложено уравнение

$$\lambda(\rho, t, W) = A_0 + A_1 t + (A_2 + A_3 t) \rho_0 + A_4 W, \quad (4)$$

позволяющее рассчитать значения λ по теплопроводности компонентов. В уравнении (4): $(A_0 + A_1 t)$ - это температурная зависимость коэффициента теплопроводности влажного воздуха, содержащегося в порах древесины; слагаемое $(A_2 + A_3 t) \rho_0$ представляет собой теплопроводность древесины, имеющей плотность ρ_0 , $A_4 W$ - это вклад в величину коэффициента теплопроводности за счет воды, содержащейся в древесине.

Значения постоянных A_0 и A_1 уравнения (4) получены аппроксимацией справочных данных Н.Б.Варгафтика по теплопроводности воздуха и водяного пара при нормальном атмосферном давлении. Значения остальных постоянных уравнения (4) для исследованных нами пород (березы, осины и ольхи) получены аппроксимацией результатов собственных данных.

Уравнение (4) асимптотически верно описывает теплопроводность натуральной древесины: в пределе нулевых влажности и плотности воспроизводит теплопроводность влажного воздуха, в пределе нулевой влажности и температуры 20° С - эмпирическое уравнение А.Миснара зависимости коэффициентов теплопроводности сухой натуральной древесины от плотности.

Для расчета коэффициентов теплопроводности модифицированной древесины использованы уравнения, полученные на основе модели "равноправных" компонентов К.Лихтенеккера для определения тепловой проводимости смесей. Рассматриваются два типа структуры - параллельное или последовательное по отношению к потоку теплоты расположение элементов. Теплопроводность системы таких элементов выражается следующим образом:

$$\lambda_n = \Phi_1 \cdot \lambda_1 + (1 - \Phi_1) \cdot \lambda_2 \quad (5)$$

и

$$\lambda_1 = \left(\frac{\Phi_1}{\lambda_1} + \frac{1 - \Phi_1}{\lambda_2} \right)^{-1}, \quad (6)$$

где λ_n и λ_1 - значения коэффициентов теплопроводности при параллельной или перпендикулярной ориентации элементов по отношению к тепловому потоку; λ_1 и λ_2 - изотропные или анизо-

тропные коэффициенты теплопроводности компонентов, Φ_i и $(1-\Phi_i)$ - их относительные объемные доли.

В качестве примера приведены уравнения для расчета коэффициентов теплопроводности бруса модифицированной древесины, имеющего прямоугольную форму, для двух случаев направления теплового потока относительно волокон - перпендикулярного и параллельного.

В третьей главе приведены методики определения удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности методом монотонного нагрева на измерителях теплоемкости ИТ-С-400 и теплопроводности ИТ- λ -400; методики получения модифицированной древесины и подготовки образцов для измерений.

Четвертая глава содержит результаты градуировки приборов ИТ-С-400 и ИТ- λ -400, результаты экспериментального определения удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности натуральной древесины, модификаторов и модифицированной древесины.

Истинная удельная теплоемкость натуральной влажной древесины $C(W, t)$ в условиях калориметрического опыта на ИТ-С-400 определяется из уравнения теплового баланса (1) для образца с изменяющейся во времени опыта массой (влажностью). На рис. 2 в координатах удельная теплоемкость - температура показана схема перехода по уравнению (1) от эффективной удельной теплоемкости к истинной для образца с начальной влажностью 46 % и переход к удельной теплоемкости абсолютно сухой древесины экстраполяцией на нулевую влажность.

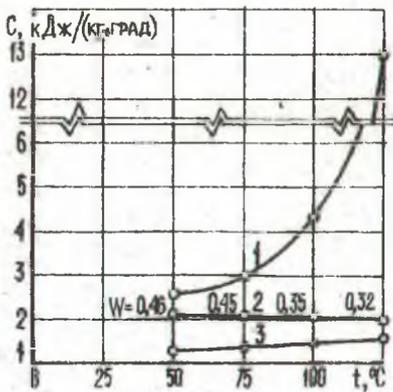


Рис.2. Результаты экспериментального определения эффективной I , рассчитанной истинной удельной теплоемкости влажной 2 и абсолютно сухой древесины 3 (на примере одного образца)

Из рис.2 видно, что величина теплового эффекта испарения воды при определении удельной теплоемкости влажной древесины соизмерима со значениями $C(W, t)$, а при высоких тем-

пературах превышает ее в несколько раз, внося существенную погрешность в результаты измерений.

В диссертации приведены подробные таблицы опытных данных о температурной зависимости удельной теплоемкости сухой натуральной древесины, эффективной и истинной удельной теплоемкости влажной древесины. Аппроксимацией экспериментальных данных получено уравнение зависимости удельной теплоемкости абсолютно сухой древесины $c(0, t)$ от температуры

$$c(0, t) = 1,01 + 4,12 \cdot 10^{-3} \cdot t, \quad (7)$$

на основании которого построена диаграмма зависимости истинной удельной теплоемкости от температуры и влажности, значения $c(W, t)$ в которой рассчитаны в аддитивном приближении.

В интервале температур от 50 до 150 °С получены температурные зависимости удельной теплоемкости мочевины, уротропина, жидкого стекла. Пикнометрическим методом определены плотности отвержденных смесей модификаторов: а) мочевины, уротропина, хлористого аммония; б) жидкого стекла и карбоксиметилцеллюлозы. Таблицы экспериментальных данных об удельной теплоемкости модифицированной древесины в зависимости от температуры и объемной доли модификатора в композиционном материале приведены в диссертации.

Сравнение экспериментальных данных об удельной теплоемкости модифицированной древесины с результатами расчета $c_{мд}(t, W)$ по уравнению (2) показало, что истинная удельная теплоемкость сухой и влажной модифицированной древесины с точностью эксперимента описывается аддитивным соотношением и определяется теплоемкостью и плотностью компонентов и объемной долей модификатора в композиционном материале.

В интервале температур от 50 до 150 °С получены температурные зависимости коэффициентов теплопроводности сухой натуральной древесины березы, осины и ольхи в трех направлениях теплового потока относительно волокон - вдоль волокон, радиального и тангенциального. Аппроксимацией экспериментальных данных вычислены значения постоянных уравнения (4) A_2 и A_3 , приведенные в табл. I.

Экспериментальным путем определены температурные зависимости коэффициентов теплопроводности натуральной влажной древесины, истинная величина которых в условиях монотонного нагрева на ИТ- λ -400 оценивалась использованием поправки, учитывающей

Таблица I.

Значения постоянных A_2 и A_3 для древесины осины, ольхи и березы

Порода древесины	Направление волокон: г -радиальное, τ -тангенциальное, -вдоль волокон	$A_2 \cdot 10^4$,	$A_3 \cdot 10^{-8}$,
		$\frac{\text{Вт.м}^2}{\text{кг.град}}$	$\frac{\text{Вт.м}^2}{\text{кг.град}^2}$
Береза	г	1,64	5,00
	τ	1,56	55,60
		4,22	35,20
Ольха	г	1,72	23,50
	τ	1,93	6,72
		5,12	28,30
Осина	г	2,58	7,08
	τ	1,95	3,68
		5,97	19,20

полную эффективную теплоемкость образца, определяемой из уравнения:

$$C_{\text{эфф}}^{\text{полн}} = C_{\text{исп}}(W, t) \cdot m(\tau) + \frac{\Delta H_{\text{исп}}}{b} \cdot \frac{dm_{\text{исп}}(t)}{dt}, \quad (8)$$

где $\Delta H_{\text{исп}}$ - абсолютная величина теплового эффекта испарения свободной воды, кДж/кг; b - скорость изменения температуры, град/с; $\frac{dm_{\text{исп}}(t)}{dt}$ - скорость сушки образца, кг/с.

По результатам определения коэффициентов теплопроводности сухой $\lambda(\theta, t, \rho)$ и влажной $\lambda(W, t, \rho)$ натуральной древесины построен график зависимости

$$\Delta \lambda(W) = \lambda_{\text{вт}}(\rho, t, W) - \lambda(\rho, t, \theta) \quad (9)$$

в функции влажности, приведенный на рис. 4.

Тангенс угла наклона прямых 1 и 2 к оси абсцисс соответствует величинам постоянной уравнения (4) A_4 . Для исследуемых пород значение A_4 в радиальном и тангенциальном направлениях составляет 0,175, вдоль волокон - 0,475 Вт/(м.град).

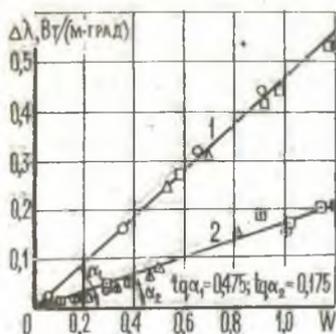


Рис.3. Зависимость $\Delta\lambda(W) = \lambda_{\text{ист}}(\rho, t, W) - \lambda(\rho, t, 0)$ для древесины березы, ольхи и осины
 1 - для коэффициентов теплопроводности в направлении вдоль волокон: береза - Δ , ольха - \square , осина - \circ ;
 2 - для коэффициентов теплопроводности в радиальном и тангенциальном направлениях: береза - Δ, \triangle ; ольха - \square, \boxplus ; осина - \circ, ϕ .

Значения постоянных уравнения (4) A_0, A_1, A_2, A_3 и A_4 введены в комплексную программу расчета теплофизических свойств и используются при расчете коэффициентов теплопроводности сухой и влажной натуральной и модифицированной древесины.

В интервале температур от 50 до 150 °С определены температурные зависимости коэффициентов теплопроводности модифицированной древесины исследованных пород как функции направления теплового потока относительно волокон, вида модификатора и его объемной доли в композиционном материале.

Погрешность определения эффективных и истинных свойств (удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности) оценена по алгоритму расчета этих величин. Погрешность эффективных значений C и λ определяется погрешностью градуировки приборов и составляет 2,3-2,5 %. Погрешность определения истинных величин удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности зависит от погрешности определения эффективных свойств и теплоты испарения воды, а также от их вклада в величину эффективной удельной теплоемкости и составляет от 6 до 9 % для образцов влажностью от 40 до 70 %.

При моделировании технологических процессов гидротермической обработки древесины приходится многократно обращаться к расчету ее теплофизических свойств. Использование экспериментальных данных, представляемых в виде таблиц и диаграмм не рационально в связи с загрузкой памяти ЭВМ большим объемом числовой информации, значительная часть которой используется лишь эпизодически. Поэтому информацию о свойствах натуральной древесины, модификаторов и модифицированной древесины желательно представлять в аналитической форме - в виде уравнений и различных вспомогательных соотношений.

В пятой главе приведено описание программ, используемых в диссертации для обработки экспериментальных данных: многовариантной программы МНК-аппроксимации функции одной переменной, программы МНК-аппроксимации функции двух переменных, комплексной программы расчета теплофизических свойств (удельной теплоемкости, коэффициентов тепло- и температуропроводности) натуральной и модифицированной древесины, построенной на основании эмпирических зависимостей, полученных в работе; она включает в себя несколько подпрограмм и позволяет пользователю выбирать варианты расчета как для натуральной, так и для модифицированной древесины.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны методики, позволяющие найти истинные величины удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности натуральной и модифицированной древесины, определяемые в режиме монотонного нагрева. Методики основаны на оценке вклада теплового эффекта испарения свободной воды в величину эффективной удельной теплоемкости.
2. Предложены уравнения для расчета истинных величин удельной теплоемкости и коэффициентов теплопроводности влажной древесины, полученные на основе уравнений теплового баланса для образца с изменяющейся во времени калориметрического опыта массой (влажностью) в условиях опытов на измерителях теплоемкости ИТ-С-400 и теплопроводности ИТ- λ -400; уравнения могут быть использованы для определения методом монотонного нагрева истинных теплофизических свойств древесины других пород.
3. Экстраполяцией на нулевую влажность получена температурная зависимость удельной теплоемкости абсолютно сухой натуральной древесины, построена диаграмма зависимости удельной теплоемкости от температуры и влажности.
4. Показано, что истинная удельная теплоемкость натуральной влажной древесины в пределах погрешности опыта описывается аддитивным соотношением, т.е. определяется как средневзвешенная сумма теплоемкостей компонентов - сухой натуральной древесины $C(0, t)$ и воды $C_{H_2O}(t)$.
5. В интервале температур от 50 до 150 °С определены тем-

пературные зависимости удельной теплоемкости сухой и влажной натуральной древесины, ряда модификаторов (мочевины, уротропина, хлористого аммония, жидкого стекла), а также древесины осины, березы и ольхи, модифицированной составами на основе мочевины и жидкого стекла, в зависимости от объемной доли модификатора в композиционном материале.

6. В этом же интервале температур экспериментальным путем определены температурные зависимости коэффициентов теплопроводности сухой и влажной натуральной древесины березы, осины и ольхи в трех направлениях теплового потока относительно волокон (вдоль волокон, радиальном и тангенциальном), а также древесины, модифицированной составами на основе мочевины и жидкого стекла, в зависимости от вида модификатора и его объемной доли в композиционном материале.

7. Показано, что истинная удельная теплоемкость модифицированной древесины в пределах погрешности эксперимента также описывается аддитивным соотношением и определяется теплоемкостью и плотностью компонентов - натуральной древесины и модификатора, а также объемной долей модификатора в композиционном материале.

8. Предложено асимптотическое уравнение, позволяющее рассчитать истинные коэффициенты теплопроводности сухой и влажной натуральной древесины, исходя из величин теплопроводностей компонентов - влажного воздуха, воды и древесины определенной плотности. Коэффициенты уравнения определены аппроксимацией литературных и полученных в работе экспериментальных данных.

9. На основе полученных экспериментальных данных и предложенных эмпирических уравнений разработана комплексная программа расчета истинных теплофизических свойств натуральной и модифицированной древесины, позволяющая рассчитать удельную теплоемкость, коэффициенты тепло- и температуропроводности в зависимости от влажности, температуры и плотности (для натуральной древесины), а также от вида модификатора и величины его объемной доли в композиционном материале (для модифицированной древесины).

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Шутов Г.М., Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И. Экспериментальное исследование удельной теплоемкости и динамики сушки натуральной влажной древесины // Современные проблемы лесоведения. - Красноярск, 1987. - С. 91-93.

2. Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И. Унифицированная программа расчета теплофизических свойств натуральной и модифицированной фенолальдегидными смолами древесины // Химия и применение фенолальдегидных смол. - Таллинн, 1987. - С.107-108.

3. Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И., Шутов Г.М. Экспериментальное исследование удельной теплоемкости компонентов композитных материалов на основе древесины // Применение термического анализа для интенсификации технологических процессов и создания новых материалов. - Мн., 1988. - С.146.

4. Тарашкевич В.И. Эффективные (кажущиеся) и истинные теплофизические свойства влажной древесины // Исследования в области химии древесины. - Рига, 1988. - С. 126.

5. Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И. Экспериментальное исследование удельной теплоемкости натуральной влажной древесины // Инженерно-физический журнал. Т. 55. № 1, 1988. - С. 140-141.

6. Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И. К определению удельной теплоемкости сухой натуральной древесины // Известия АН БССР, серия физико-энергетических наук, 1988. № 4. - С. 80-84.

7. Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И. Теплофизические свойства пористых материалов, содержащих перегретую или переохлажденную воду // Метастабильные фазовые состояния - теплофизические свойства и кинетика релаксации. - Свердловск, 1989. Т.1. - С.49-50.

8. Kuleshov G.G., Tarashkevich V.I. The thermophysical properties of natural and modified wood // Abstracts of the 6th Conference on Thermogravimetry and Thermal Engineering. - Budapest, Hungary, 1989. V. 2. - P. 535.

9. Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И. Изменение теплофизических свойств при сушке и модифицировании древесины // Научно-технический прогресс в лесной и деревообрабатывающей промышленности. - Киев, 1989, - С. 108.

10. Тарашкевич В.И., Кулешов Г.Г. Теплофизические свойства композитных материалов на основе древесины // Модифицирование и защитная обработка древесины. - Красноярск, 1989. - С.32-34.

11. Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И. Отклик теплофизических свойств веществ на разнородные равновесные и неравновесные возмущения // Теплофизические свойства веществ. - Новосибирск, 1989. - С. 251-257.

12. Кулешов Г.Г., Тарашкевич В.И. Теплофизические свойства пористых органических материалов // Термодинамика органических соединений. - Мн., 1990. - С. 251.

13. Тарашкевич В.И. Расчет коэффициентов теплопроводности натуральной влажной древесины на основе асимптотического представления // Модификация древесины. - Мн., 1990. - С.56.

14. Шутов Г.М., Тарашкевич В.И. Экспериментальное исследование коэффициентов теплопроводности натуральной и модифицированной древесины // Модификация древесины. - Мн., 1990. - С. 57:

В.И. Тарашкевич

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ
МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД,
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ
СПОСОБОМ

Тарашкевич Валентина Ивановна

Подписано в печать 5.II.90 г. Формат 60x84 1/8

Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,3. Усл. кр.-отт. 1,3.

Уч.-изд. л. 1,1.

Тираж 100 экз. Заказ 543. Бесплатно.

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт имени С.М.Кирова

220630, Минск, Свердлова, 13 а.

Отпечатано на ротационной машине Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им.С.М.Кирова
220630, Минск, Свердлова, 13.