

НЫРКОВА Лариса Александровна

**МЕТОД И УСТРОЙСТВО КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО
ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ
ПО ПАРАМЕТРАМ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов 2004

Работа выполнена на кафедре «Электрооборудование и автоматизация» Тамбовского государственного технического университета.

Научный руководитель
тор технических наук, профессор

Заслуженный изобретатель РФ,
Глинкин Евгений Иванович

док-

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Дмитриев Дмитрий Александрович

кандидат технических наук
Серегин Михаил Юрьевич

Ведущая организация Акционерное общество закрытого типа «Тамбовмебель» (г. Тамбов)

Защита диссертации состоится 30 ноября 2004 г. в 15 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д.212.260.01 Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ТГТУ, Большой зал.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, Советская, 106, ТГТУ, ученому секретарю диссертационного совета.

fax: (0752) 72-18-13, тел.: (0752) 53-56-20,

e-mail: kafedra@asp.tstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тамбовского государственного технического университета.

Автореферат разослан 30 октября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.А. Чуриков

Подписано к печати 28.10.2004

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная

Печать офсетная. Объем: 0,93 усл. печ. л.; 0,9 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 727

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В деревообрабатывающей промышленности основным критерием качества древесины является процентное содержание влаги. Особенности объекта измерений позволяют из всех возможных методов кондуктометрии выбрать постоянно-токовые (статические) и импульсные методы контроля влажности. Недостатками определения влажности постоянно-токовыми методами являются низкие оперативность и точность в области с низким содержанием влаги, обусловленные измерениями при достижении статического режима электрофизических процессов в материале. Кроме того, постоянно-токовые методы не применимы при работе с малыми влажностями, так как измеряемые токи соизмеримы с токами утечки измерительной цепи. В отличие от косвенных прямые измерения тока требуют сложнейших и дорогостоящих электрических усилителей тока. Поэтому актуальным является создание метода определения влажности по параметрам электрической переходной характеристики и программно-управляемого кондуктометрического влагомера с расширением контролируемого диапазона в область с низким содержанием влаги и требуемой точностью.

Предмет исследования. Математическое моделирование электродинамических характеристик электрофизического контроля влажности древесины. Метрологическая оценка математических моделей и алгоритмов контроля влажности. Методика определения оптимальных режимов динамического процесса в аналитическом контроле влажности. Разработка аппаратных средств и программного обеспечения программно-управляемого кондуктометрического влагомера «ТЕМП-282».

Цель. Расширение диапазона (в область с низким содержанием влаги) метода и устройства кондуктометрического контроля влажности древесины по параметрам электрических переходных характеристик.

Задачи. Для достижения поставленной цели необходимы:

- 1 Проведение анализа известных методов для разработки кондуктометрического метода контроля влажности древесины по параметрам электрических переходных характеристик в диапазоне с низким содержанием влаги.
- 2 Разработка математических моделей и алгоритмов определения влажности древесины по параметрам переходных характеристик с коррекцией измерений.
- 3 Создание нового метода контроля влажности древесины по параметрам переходных характеристик.
- 4 Разработка аппаратных средств и программного обеспечения натурального образца кондуктометрического влагомера.
- 5 Проведение метрологического анализа погрешностей метода контроля влажности по параметрам переходных характеристик.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы информационного анализа, математического моделирования, технической кибернетики, системотехники и метрологии.

Научная новизна. Предложен метод определения влажности древесины по параметрам переходных характеристик, для которого разработаны:

- математическая модель кондуктометрического преобразователя, позволяющая определить параметры переходных характеристик;
- способы определения параметров электрической переходной характеристики по оптимальным режимам;
- способы определения суммарного тока по оптимальным режимам и параметрам электрической переходной характеристики из отношения установившегося значения потенциала E к постоянной времени T ;
- метод определения влажности через суммарный ток с коррекцией по образцам с известными значениями влажности для повышения оперативности и достоверности измерений в диапазоне влажности 2 – 20 %.

Практическая ценность. На основании предложенных методов и математических моделей разработан программно-управляемый кондуктометрический влагомер «ТЕМП-282» с расширением диапазо-

на в область с низким содержанием влаги, повышающий оперативность и точность экспресс-анализа влажности древесины.

Для прибора разработаны: алгоритмы функционирования, аппаратное и программное обеспечение, метрологические средства, позволившие повысить в 5 раз оперативность и не менее чем в 2 раза точность экспресс-анализа влажности древесины в диапазоне 2 – 20 %

Реализация работы. Основные результаты теоретических и экспериментальных работ автора нашли применение при создании и использовании программно-управляемого кондуктометрического влагомера «ТЕМП-282» в учебном процессе на основании тематического плана кафедры «Электрооборудование и автоматизация» ТГТУ, в ДОО «Жилищная инициатива» г. Тамбова, в ЗАО «Энергия» и АОЗТ «Тамбовмебель».

Соискатель по данной работе стал лауреатом конкурса ТГТУ, дипломантом Всероссийского конкурса им. А.С. Попова на лучшую научную работу, стипендиатом правительства РФ и обладателем областного гранта в 2003 году.

Апробация. Основные положения диссертации докладывались на V научной конференции ТГТУ (Тамбов, 2000), международном научно-практическом семинаре «Проблемы энерго- и ресурсосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах» (Пенза, 2001), международной научно-технической конференции «Современные системы управления предприятием» (Липецк, 2001), международной научно-технической конференции «Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация» (Гомель, 2001), четвертой международной теплофизической школе «Теплофизические измерения в начале XXI века» (Тамбов, 2001), IX Международной НТК студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, 2003), VIII научной конференции ТГТУ (Тамбов, 2003), международной школе-семинаре молодых ученых «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции» (Тамбов, 2003), IV международной научно-методической конференции «Новые информационные технологии в электротехническом образовании (НИТЭ-2003)» (Астрахань, 2003), Всероссийской научно-технической конференции «Электроэнергетика и энергосберегающие технологии» (Липецк, 2004), IX научной конференции ТГТУ (Тамбов, 2004).

Публикации. Теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 29 печатных работах, включающих 16 статей и девять тезисов, один патент, одно свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610410.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 120 наименований. Основная часть диссертации изложена на 130 страницах машинописного текста. Работа содержит 62 рисунка и семь таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы. Раскрыты научная новизна и практическая ценность, приведены результаты апробации и реализации выполненных исследований.

Первая глава посвящена анализу известных методов определения влажности и параметров динамических характеристик.

Рассмотрен весовой метод, рекомендуемый в работе как образцовый при определении влажности материала микропроцессорными средствами для более точного представления процесса контроля влаги в материале за счет прямых измерений.

Систематизированы кондуктометрические методы определения влажности через дифференциальное сопротивление по статистической зависимости, не связанной с физико-химическими процессами в пробе материала, что ограничивает автоматизацию, оперативность и достоверность измерений.

Проанализирован кондуктометрический метод определения влажности (в диапазоне 10 – 29 %) пробы материала по кратным напряжениям через диффузионную проводимость по вольт-амперной характеристике (ВАХ) на напряжении 5 – 10 В.

Основными недостатками данного метода являются: низкая оперативность и ограниченный диапазон влажности в области с низким содержанием влаги за счет измерений при достижении статического режима электрофизических процессов в материале. Исследована возможность применения параметров переходных характеристик для контроля влажности микропроцессорными средствами.

Рассмотрены методы физико-химического контроля, сущность которых заключается в определении параметров электрической переходной характеристики по математической зависимости, связывающей между собой управляющее воздействие и измеряемый сигнал. Наглядным примером нестационарных процессов служит электрический заряд конденсатора от источника постоянного тока и напряжения.

Методы физико-химического контроля и кондуктометрический метод по кратным напряжениям приняты за аналоги и прототип, что позволило сформулировать цели и задачи диссертационной работы.

Проведен анализ известных методов контроля влажности древесины, среди которых наиболее перспективными являются кондуктометрические методы контроля влажности древесины по ВАХ кондуктометрического преобразователя. Эти методы ограничены областью с содержанием влаги ниже 12 % из-за статических измерений. Показана необходимость создания метода контроля влажности древесины по параметрам переходных характеристик. Исследована возможность применения параметров переходных характеристик для контроля влажности микропроцессорными средствами.

Во второй главе предложены математические модели электрофизического контроля по параметрам переходных характеристик и методы экспресс-анализа влажности древесины через суммарный ток по параметрам и оптимальным режимам переходных характеристик с коррекцией измерений.

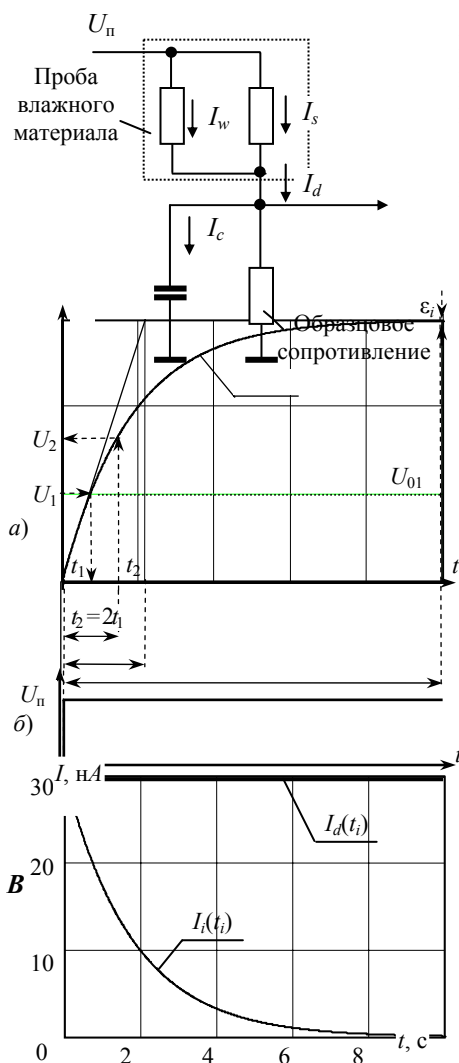
Влага, проникающая в пробу, обволакивает, проходя по капиллярам, структурные компоненты материала и вызывает увеличение его проводимости и суммарного тока I_d (полного или предельного), который является суммой токов свободной I_w и связанной влаги I_s .

Влажность образца суммарного тока I_d влаги I_s , корректируемой характеристиками по осуществляют контакт с электродами, расположенным на волокнах образца, на Прикладывают напряжение преобразователя, включенных влажного сопротивления (рис. 1) и напряжения на образцовом t_1 сравнения текущего U_{01} и измеряют второе t_2 (рис. 2, а). По двум времени t_1, t_2 находят которому определяют влаж-

Измерения проводятся предположении, что распределение влаги в Экспериментальную процесс описывает

$$U = E(1 - e^{-\frac{t}{T}}),$$

полученная из решения порядка,



определяют за счет измерения суммарного тока I_d в образце (рис. 2, в), по пности. при постоянной температуре в материал является изотропным, исследуемом образце равномерно. зависимость $U(t)$ динамического математическая модель

определяют за счет измерения суммарного тока I_d в образце (рис. 2, в), по пности. при постоянной температуре в материал является изотропным, исследуемом образце равномерно. зависимость $U(t)$ динамического математическая модель

(1)

дифференциального уравнения первого соответствующего схеме замещения

измерительного преобразователя
(рис. 1).

Зависимость (1) связывает между собой измеряемое значение напряжения U в момент времени t и значение установившегося потенциала E с постоянной времени T .

Параметры E и T однозначно определяют аппроксимирующие зависимости, реализованные по математической модели (1). Для определения параметров переходной характеристики разработаны метод и алгоритмы по двум измеренным значениям напряжения в два момента времени:

$$E = \frac{U_n^2}{2U_n - U_{n+1}}; \quad T = \frac{-t_n}{\ln\left(\frac{U_{n+1}}{U_n} - 1\right)}. \quad (2)$$

По методу и алгоритмам определения параметров переходной характеристики строится множество кривых с различными параметрами в нормированных координатах для упрощения работы с кривыми разных диапазонов. Нормировка проводится по следующим алгоритмам:

$$N_u = \frac{U_i}{U_{\max}}; \quad N_t = \frac{t_i}{t_{\max}}, \quad (3)$$

где U_i, t_i – текущие значения регистрируемых напряжения и времени; $i = \overline{1, n}$ – порядковый номер; U_{\max}, t_{\max} – максимальные значения напряжения и времени.

Сопоставляют моделируемые динамические кривые U_i с экспериментальной зависимостью U_3 по среднеквадратической погрешности:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (U_3 - U_j)^2}{m-1}}, \quad (4)$$

и полученное значение σ_i сравнивают с заданной погрешностью σ_0 : $\sigma_i \leq \sigma_0$, где $\sigma_0 = 0,02$. Сравниваются i -е значения среднеквадратического отклонения σ_i моделируемых U_i кривых при $i = \overline{1, n}$ на j -х интервалах аппроксимации U_j -х значений напряжения. Амплитуды U_i моделируют зависимостью (3) по параметрам E_i, T_i с требуемой точностью, регламентированной погрешностью ε_i .

Если среднеквадратическое отклонение i -й моделируемой кривой меньше заданной погрешности, то параметры E_i и T_i зависимости с минимальной погрешностью $\sigma_{i, \min}$ соотносят экспериментальной зависимости U_3 исследуемого диапазона.

В результате исследований найдены оптимальные режимы измерений U_1, t_1 данной кривой на участке до установившегося E^* . Оптимальными режимами являются пары напряжений U_1, U_2 и времен t_1, t_2 , для которых $U_1 = 0,577E^*$, т.е. $U_1 \approx E^*/\sqrt{3}$, при этом среднеквадратическая погрешность для каждого эксперимента не превышает 3 %.

Таким образом, предложена методика поиска оптимальных режимов переходных характеристик, которая позволяет по алгоритмам определения параметров аппроксимировать переходные характеристики с требуемой точностью.

Существенным недостатком данной методики является необходимость моделирования множества кривых и проведение для каждой из них оценки адекватности эксперименту. Выявление закономерностей режимов измерения позволяет повысить оперативность и точность контроля.

На основе методики поиска оптимальных режимов динамического процесса создана инженерная методика определения параметров электрических переходных характеристик (рис. 3), которая не содержит алгоритма сравнения относительно заданной погрешности за счет выявленной закономерности в явном виде. Созданная методика заключается в следующем (рис. 3, где 1, 2 – экспериментальные кривые):

– измеряют приближенное значение E^* (где E^* – значение установившегося потенциала с некоторой погрешностью $E^* = E \pm \Delta E$, для удобства расчетов $E^* = U_{\max}$). Находят соотношение $U_1/E^* \approx 1/\sqrt{3}$ (в

нормированных координатах), с помощью которого определяют для кривых 1 и 2 режимы U_1^* и \tilde{U}_1^* равные $E^*/\sqrt{3}$;

- по U_1^* и \tilde{U}_1^*
 - используя
- определяют t_2^* , \tilde{t}_2^* ,
- по найденным \tilde{U}_2^* определяют
- вых 1 и 2.

При этом данной методике не

Таким образом, определения параметров, которая позволяет за повысить

оптимальных режимов динамического процесса с требуемой точностью.

С помощью параметров E и T из определения емкостного тока ($I_c = C \frac{dU}{dt}$) находят предельное значение тока влажного материала:

$$I_d = C \frac{E}{T}, \quad (5)$$

так как из выражения (1) $dU/dt = E/T e^{-\frac{t}{T}}$, то $I_c = I_d$ при $t = 0$, $C = \text{const}$ – емкость измерительного преобразователя.

Связь влажности W_d с предельным током I_d (суммарным током) исследуемого образца и током связанной влаги I_s материала с известными характеристиками осуществляют по аналогии с методом высушивания моделью делителя токов (рис. 1):

$$W_d = W_0 \left(1 - \frac{I_s}{I_d} \right), \quad (6)$$

где нормируемые влажность W_0 (коэффициент пропорциональности) и ток I_s определяют по измерениям I_{01} и I_{02} на двух образцах с известной влажностью W_{01} и W_{02} по методу высушивания из решения системы уравнений:

$$\begin{cases} W_{01} = W_0 \left(1 - \frac{I_s}{I_{01}} \right); \\ W_{02} = W_0 \left(1 - \frac{I_s}{I_{02}} \right); \end{cases}$$

$$W_0 = \frac{I_{02}W_{02} - I_{01}W_{01}}{I_{02} - I_{01}}; \quad I_s = \frac{W_{02} - W_{01}}{\frac{W_{02}}{I_{01}} - \frac{W_{01}}{I_{02}}}. \quad (7)$$

Значения модели

$$W_{01} \leq W_{0i} \leq W_{02}.$$

Предельный ток что доказано в ходе поиска влажности древесины.

Зависимость

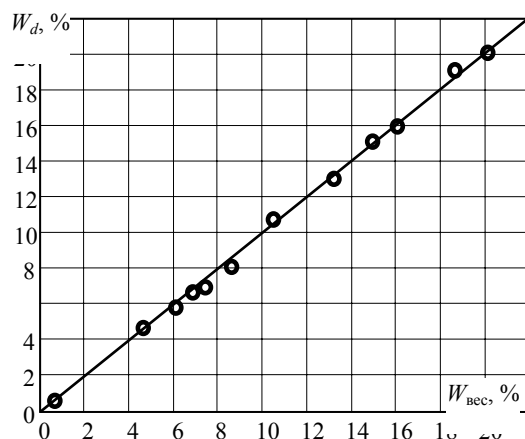
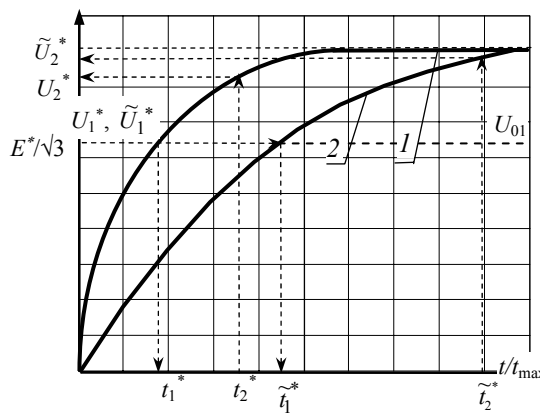


Рис. 4

влажности W_{0i} , рассчитываемые по $W_{0i} = W_0 \left(1 - \frac{I_s}{I_d} \right)$, находятся в пределах

логичнее называть суммарным током, экспериментального моделирования и математической модели определения

влажностей $W_d(W_{\text{вес}})$, полученных по



измеряют t_1^* и \tilde{t}_1^* (рис. 3, кривые 1 и 2); бинарную кратность времен, по которым регистрируют U_2^* , \tilde{U}_2^* ; режимам t_2^* , \tilde{t}_2^* , t_1^* , \tilde{t}_1^* и U_1^* , \tilde{U}_1^* , U_2^* , параметры E и T по формулам (2) кри-

среднеквадратическая погрешность по превышает 2 %.

предложена инженерная методика метров переходных характеристик, счет выявленной закономерности оперативность определения

методам экспресс-анализа влажности по параметрам переходных характеристик W_d и высушивания $W_{вес}$ (рис. 4), практически линейна, при этом среднеквадратическая погрешность σ не превышает 3 %.

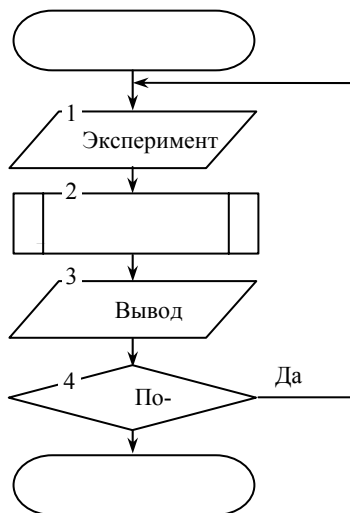


Рис. 6

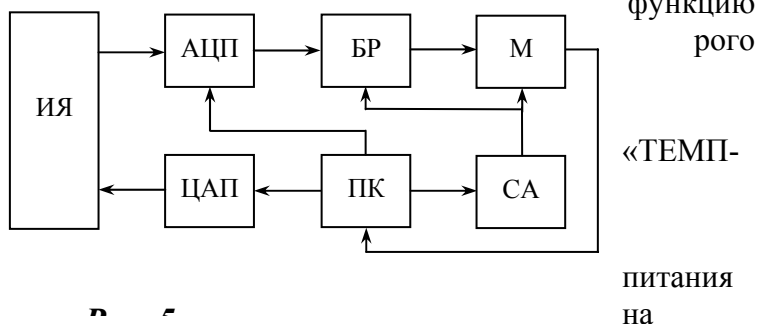
Таким образом, предложены математические модели (1), (5) электрофизического контроля по параметрам (2), (3) переходных характеристик и алгоритмы (6), (7) определения влажности по суммарному току (5) с коррекцией (7) измерений в области с низким содержанием влаги, а также разработаны новые методы исследования и экспресс-анализа влажности древесины через суммарный ток по параметрам и оптимальным режимам электрических переходных характеристик.

Применение динамических измерений стало возможно благодаря применению гибкой архитектуры кондуктометрического программно-управляемого влагомера «ТЕМП-282».

В третьей главе разработаны структурная схема аппаратных средств и блок-схема программного обеспечения кондуктометрического программно-управляемого влагомера «ТЕМП-282».

Структурная схема (рис. 5) программно-управляемого кондуктометрического влагомера для определения влажности древесины включает: цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), который формирует напряжение питания измерительной ячейки (ИЯ), пропорциональное коду, выставляемому с персонального компьютера (ПК). Аналого-цифровой преобразователь (АЦП), выполненный на базе промышленного измерительного прибора Щ300, преобразует падение напряжения на образцовом сопротивлении ИЯ в цифровую форму данных. ПК предназначен для управления работой блоков АЦП, селектором адреса (СА), ЦАП и мультиплексором (М), а также для обработки измеренного падения напряжения и вычисления I_d и влажности по формулам (2) – (7). Блоки СА, регистров (БР) и М служат для согласования АЦП с ПК. БР получает сигнал отчета, приходящий с АЦП, и хранит данные для считывания в ПК. Блок М выполняет функцию синхронизации, т.е. позволяет 8 бит данных внести с блока БР в ПК через стандартный LPT порт, где количество данных ограничено 4 битами. Управляемый с ПК блок СА выполняет адресации, т.е. выборку регистра из БР, из которых будут считаны данные в ПК через М.

Программное обеспечение программно-управляемого кондуктометрического влагомера «282» представляет блок-схема (рис. 6).



Блок 1 «Эксперимент» – через порт компьютера LPT1 формирует напряжение на входе и регистрирует падение напряжения на выходе измерительного преобразователя. В подпрограмме 2 «Расчет» – определяют параметры и влажность по электрофизическим характеристикам пробы влажного материала (рис. 7), а также вычисляют погрешность. Блок 3 «Вывод» – организует отображение на экране ПК экспериментальных значений напряжений и вычисленных параметров E и T , влажности и погрешности в форме графиков исследуемых и моделируемых зависимостей от времени. Блок 4 «Повтор?» – ожидает команды на запуск нового эксперимента или выхода из программы. При запуске программы проводится диагностика работоспособности программно-управляемого кондуктометрического влагомера и задаются нормы режимов и метода высушивания, выбираются образцы для проведения эксперимента (блок 1), а также измеряют значение падения напряжения U_1 на образцовом сопротивлении.

В блоках 2.1 и 2.2 снимают и нормируют $U(t)$, фиксируют время сравнения t_1 текущего напряжения U_1 с пороговым и измеряют второе напряжение U_2 в кратный момент времени t_2 ($t_2 = 2t_1$) от первоначального времени (блок 2.3). По двум напряжениям и моментам времени определяются параметры E и T (блок 2.4), используя которые находят суммарный ток I_d (блок 2.5) в образце и рассчитывают влажность W_d пробы материала (блоки 2.7 – 2.9). Если необходимо скорректировать влажность, следует выполнить операции в блоках 2.1 – 2.5 и по условию 2.6 определить поправки W_0 и I_s на материалах с известными значениями W_{0i} и I_{0i} . Скорректированные значения влажности используют за эталонную величину в блоке 2.7 для текущих измерений по блокам 2.1 – 2.7 и 2.10 без пересчета поправочных коэффициентов в блоках 2.8, 2.9. В блоке 2.10 строится экспериментальная зависимость, характеризующая процесс, происходящий в об-

ласте.

ласте.

разце в момент измерения влажности. После возврата из подпрограммы в блоке 4 (рис. 6) проверяется условие выхода из программы. Если необходим новый эксперимент, то осуществляется переход на блок 1.

На рис. 7 показана подпрограмма 2 метода экспресс-анализа влажности древесины по параметрам переходных характеристик, среднеквадратическое отклонение которой не превышает 3 %.

Созданная программа позволяет считывать с прибора экспериментальную информацию, провести необходимые расчеты, вывести на монитор и сохранить вычисленные данные, а также оперативно и гибко модернизировать структуру, изменив лишь подпрограммы измерения и расчета.

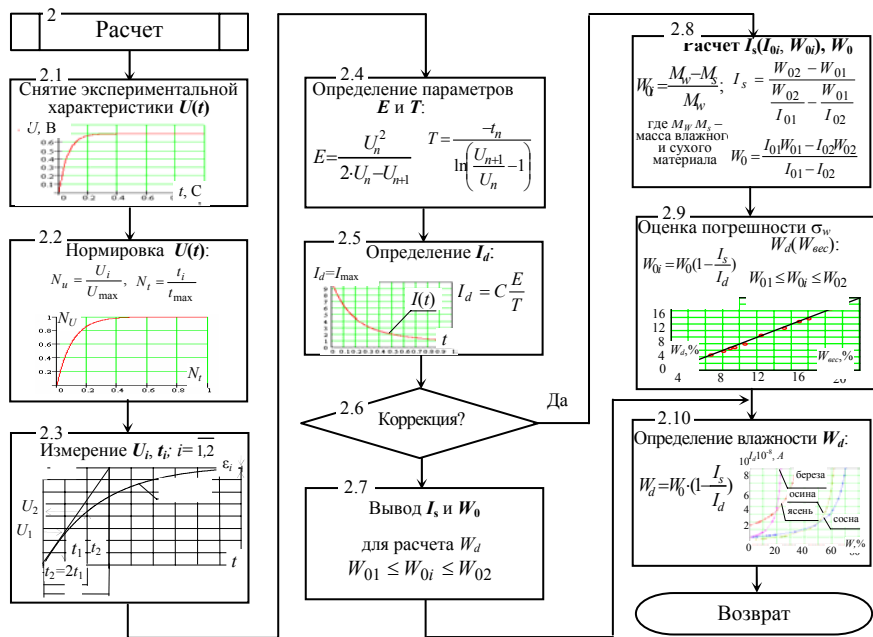


Рис. 7

Таким образом, спроектированы аппаратные средства и программное обеспечение в виде схем и программ различного иерархического уровня программно-управляемого кондуктометрического влагомера «ТЕМП-282» на базе математических моделей и методов определения влажности древесины по переходным характеристикам с целью повышения точности и расширения диапазона влажности в область с низким содержанием влаги.

В четвертой главе предложено метрологическое обеспечение программно-управляемого кондуктометрического влагомера «ТЕМП-282» для оценки метода экспресс-анализа влажности по параметрам переходных характеристик в диапазоне с низким содержанием влаги с требуемой точностью.

Выявлено, что чувствительность статического метода на порядок ниже динамического во всем диапазоне влажности (рис. 8). Это следует из оценки анализируемых методов (рис. 9). Оценка точности измерений динамического метода относительно статического определяется отношением чувствительности η_d динамического и статического η_i методов, которые, в свою очередь, определяются соотношениями разностей проводимостей ΔY_i и суммарных токов

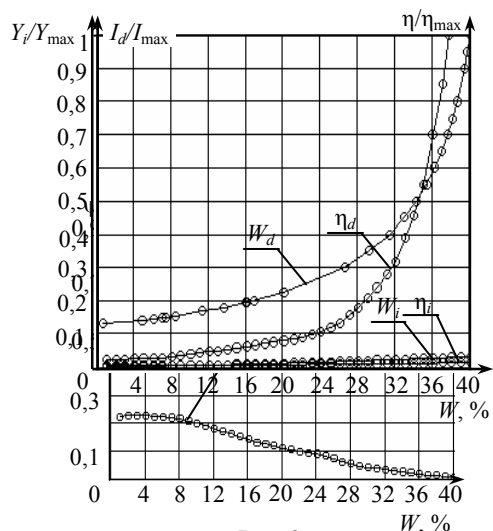


Рис. 9

ΔI_d относительно фиксированного диапазона влажности $\Delta W = 1 \%$.

Из рис. 8 и 9 видно, что чувствительность η_d динамического метода растет по экспоненте, в то время как чувствительность η_i статического метода близка к нулю во всем исследуемом диапазоне влажности. Это соответствует низкой точности измерений статического метода, так как отношение чувствительностей статического метода ψ_i относительно динамического ψ_d падает от 0,224 до 0,0068 в диапазоне влажности 2 – 40 %.

Оценка оперативности контроля (табл. 1) при заданных метрологических характеристиках определяется отношением времени τ_i регистрации данных по статическому методу при достижении ус-

тановившегося режима E с заданной погрешностью $\varepsilon_i = (E - U_i)/E$ к времени проведения измерений τ_d по динамическому методу, выбираемому меньше постоянной времени T ($\tau_d \leq T$), так как для получения необходимых режимных параметров по динамическому методу достаточно двух измерений (не достигая установившегося режима).

Таблица 1

$\varepsilon, \%$	10	7	5	3	1	0,7	0,5	0,3	0,1
η_τ	2,3	2,66	3	3,51	4,61	5	5,3	5,81	6,91

Анализ табл. 1 показывает, что продолжительность контроля по статическому методу относительно динамического, время измерений которого не превышает постоянной времени T , растет от $2,3T$ до $6,91T$. Это характеризует оперативность динамического метода, которая возрастает в 2 – 7 раз с уменьшением от 5 до 0,1 % заданной погрешности измерений. Следовательно, оперативность динамического метода в среднем в 5 раз выше статического.

В процессе сопоставительного анализа динамического метода относительно статического проведения оценка по ширине контролируемого диапазона. Получены коэффициенты η_{D_i} и η_{D_d} , характеризующие, во сколько раз диапазон влажности по переходной кривой шире, чем по статической на промежутке до 40 % для ясеня (рис. 10). Коэффициенты определяются отношениями $\Delta\psi_i$, $\Delta\psi_d$ – разности значений отношений чувствительностей для статической и переходных кривых соответственно к $\Delta\psi_0$ – фиксированному значению отношения чувствительностей, равному 0,01, что соответствует 1 % погрешности.

Метрологический анализ параметров переходных характеристик в диапазоне с низким содержанием влаги с точностью статического не менее статической множество настроек в Напротив, линейность возможности настраивать диапазон влажности.

Таким образом, метод определения характеристик, оперативности и точности не менее чем в 2 раза метода экспресс-анализа влажности древесины натурным образцом «ТЕМП-282» в диапазоне 2 – 20 % по сравнению с известными кондуктометрическими методами.

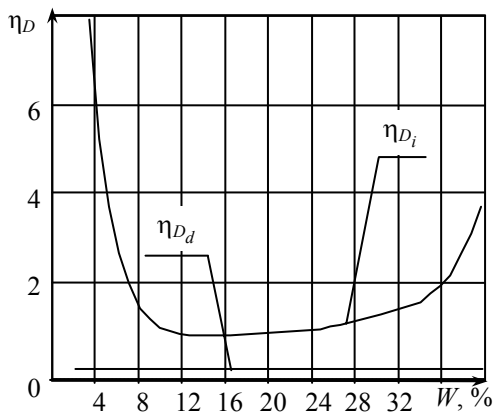
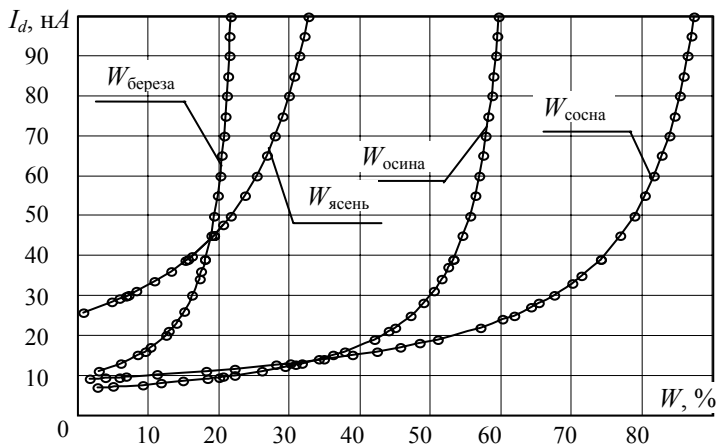


Рис. 10

анализ метода контроля влажности по характеристикам в диапазоне с низким заданной погрешностью показывает, что динамического метода выше чем в 2 раза из-за нелинейности зависимости, регламентирующей каждом поддиапазоне влажности. переходной кривой говорит о воз- влагомер лишь один раз в исследуемом

проведена метрологическая оценка влажности по параметрам переходных подтверждающая повышение в 5 раз

Проведены структурная и параметрическая оптимизация результатов предлагаемого метода определения влажности древесины, а также серия экспериментов по контролю влажности древесины (ясеня, сосны, березы и осины) (рис. 11). При чем погрешность контроля влажности не превышает 3 % в диапазоне 2 – 20 % влажности. Полученные результаты удовлетворяют поставленным задачам.



ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1 Проведен анализ известных методов контроля влажности древесины, среди которых наиболее перспективными являются кондуктометрические методы контроля влажности древесины по ВАХ кондуктометрического преобразователя. Эти методы ограничены областью с содержанием влаги ниже 12 % из-за статических измерений с малой оперативностью. Показана необходимость создания метода контроля влажности древесины по параметрам переходных характеристик на начальном участке. Доказана возможность применения параметров переходных характеристик для контроля влажности микропроцессорными средствами.

2 Предложены математические модели измерения суммарного тока по параметрам переходных характеристик и алгоритмы определения влажности по суммарному току с коррекцией измерений в области с низким содержанием влаги по образцам с известной влажностью.

3 Разработаны новые методы определения влажности древесины через суммарный ток по параметрам переходной характеристики – постоянной времени T и установившемуся значению потенциала E и оптимальным режимам – по двум напряжениям в кратные моменты времени.

4 Разработаны аппаратные средства и программное обеспечение в виде схем и программ различного иерархического уровня программно-управляемого кондуктометрического влагомера «ТЕМП-282».

5 Проведена метрологическая оценка метода определения влажности по параметрам переходных характеристик, подтверждающая повышение в 5 раз оперативности и точности не менее чем в 2 раза метода контроля влажности древесины натурным образцом «ТЕМП-282» в диапазоне влажности 2 – 20 % по сравнению с известными кондуктометрическими методами.

ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

1 Ныркова Л.А. Метрологическое обеспечение теплофизических измерений на базе исследования динамических процессов / Л.А. Ныркова // Вестник ТГТУ. 2001. Т. 7, № 4. С. 570 – 573.

2 Ныркова Л.А. Методика поиска режимных параметров контроля влажности / Л.А. Ныркова // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. Тамбов, 2001. Вып. 9. С. 116 – 122.

3 Определение информативного параметра влажности / Л.А. Ныркова, Е.А. Брусенцов, И.Г. Летягин, О.А. Ныркова // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. Тамбов, 2000. Вып. 5. С. 108 – 112.

4 Ныркова Л.А. Исследование динамического процесса контроля влажности / Л.А. Ныркова // VI науч. конф. ТГТУ: Тез. докл. Тамбов, 2000. С. 260.

5 Ныркова Л.А. Моделирование нестационарных процессов динамическими характеристиками в аналитическом контроле / Л.А. Ныркова, О.А. Ныркова, А.А. Голощапов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Науч. тр. X междунар. науч.-техн. конф. Рязань, 2001. С. 43 – 45.

6 Ныркова Л.А. Метрологическое обеспечение теплофизических измерений на базе исследования динамических процессов / Л.А. Ныркова // Теплофизические измерения в начале XXI века: Сб. тез. докл. междунар. теплофиз. школы. Тамбов, 2001. Ч. 1. С. 165 – 166.

7 Ныркова Л.А. Методика определения информативных параметров динамического процесса контроля влажности / Л.А. Ныркова, Е.И. Глинкин // Современные системы управления предприятием: Сб. тр. Липецк, 2001. С. 90 – 93.

8 Ныркова Л.А. Оценка аналитического метода аппроксимации динамических характеристик / Л.А. Ныркова, А.А. Голощапов // Труды ТГТУ АТП: Сб. науч. ст. Тамбов, 2003. Вып. 13. С. 189 – 193.

9 Ныркова Л.А. Методы аналитического контроля /Л.А. Ныркова, Е.И. Глинкин // Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции: Сб. тез. докл. междунар. школы-семинара молодых ученых. Тамбов, 2003. С. 120 – 122.

10 Ныркова Л.А. Метрологическая эффективность динамического способа определения влажности древесины / Л.А. Ныркова, А.А. Голощапов // Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции: Сб. тез. докл. междунар. школы-семинара молодых ученых. Тамбов, 2003. С. 98 – 100.

11 Ныркова Л.А. Кондуктометрическая методика и устройство экспресс-анализа влажности древесины по динамическим характеристикам / Л.А. Ныркова // Новые информационные технологии в электротехническом образовании (НИТЭ-2003): IV междунар. науч.-метод. конф. Астрахань, 2003. С. 281 – 285.

12 Пат. 2187098 РФ. МКИ G 01 N 27/04. Способ для определения влажности капиллярно-пористых материалов / Л.А. Ныркова, О.А. Ныркова, Е.И. Глинкин, И.Г. Летягин, В.Ф. Калинин. Бюл. № 22. 2002.

13 Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610410. Программное обеспечение инженерной методики кондуктометрического экспресс-анализа влажности древесины по динамическим характеристикам (Влагомер) / Л.А. Ныркова, Е.И. Глинкин, К.Н. Филиппов, В.Ф. Калинин. М.: РОСПАТЕНТ, 2004.

14 Ныркова Л.А. Оценка стабилизации вольт-амперных характеристик в кондуктометрии / Л.А. Ныркова, О.А. Ныркова // Электроэнергетика и энергосберегающие технологии: Сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. Липецк: ЛГТУ, 2004. С. 204 – 205.

15 Ныркова Л.А. Методы экспресс-анализа влажности древесины по параметрам динамических характеристик / Л.А. Ныркова // IX науч. конф. ТГТУ: Сб. тез. докл. Тамбов, 2004. С. 106.