Шульгин Владимир Алексеевич

ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ – 2 (ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ)

В статье рассматривается еще одна особенность процесса сушки древесины в СВЧ-резонансной камере периодического действия, которая проявляет себя как электрический пробой. Эта особенность также определяется режимом сушки и негативно влияет на качество материала. Для объяснения этого негативного явления необходимо исследовать существо вопроса, основанное на гетерогенных свойствах древесины и энергетических параметрах резонансной сушильной камеры. На основании результатов исследования автор вырабатывает рекомендации для устранения явления пробоя.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2013/3/63.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2013. № 3 (70). С. 219-222. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2013/3/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 674.047:66.047354
Технические науки

В статье рассматривается еще одна особенность процесса сушки древесины в СВЧ-резонансной камере периодического действия, которая проявляет себя как электрический пробой. Эта особенность также определяется режимом сушки и негативно влияет на качество материала. Для объяснения этого негативного явления необходимо исследовать существо вопроса, основанное на гетерогенных свойствах древесины и энергетических параметрах резонансной сушильной камеры. На основании результатов исследования автор вырабатывает рекомендации для устранения явления пробоя.

Ключевые слова и фразы: напряженность поля; критическая напряженность; добротность резонатора; предпробивная неустойчивость: тепловая, электромеханическая, ионизационная, перегревная; источник сторонних сил.

Шульгин Владимир Алексеевич
Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова
v.shulgin@agtu.ru

ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ – 2 (ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ)©

Древесина, как природный биокомпозитный материал, состоит из клеток с отмершим протопластом, т.е. из одних клеточных оболочек. Эти оболочки, называемые клеточными стенками, образуют структуру, состоящую, в основном, из трех групп биополимеров: целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина.

По химическому составу древесина преимущественно состоит из органических веществ, которые составляют 99% от общей массы. Химический состав элементов практически не зависит от породы древесины. Абсолютно сухая древесина в среднем содержит: 49% углерода - C, 44% кислорода - O, 6% водорода - H и 0,1-0,3% азота -N. Древесина также содержит очень небольшое количество неорганических веществ: кремния, кальция, натрия, магния и других элементов.

Схематический состав и процентное соотношение древесных компонентов представлены в [1, с. 8].

Все вещества по электрическим свойствам условно подразделяются на проводники, диэлектрики и полупроводники. По существующей достаточно условной классификации [3], проводники имеют высокую электронную или ионную (электролиты) удельную проводимость 10^{-8}-10^{-5} Ом·м. С повышением температуры проводимость проводника уменьшается.

В отличие от проводников, диэлектрики имеют малую удельную проводимость 10^{7}-10^{20} Ом·м, а при повышении температуры проводимость диэлектрика возрастает.

Полупроводники по удельной проводимости занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками 10^{-6}-10^{6}. Диэлектрики подразделяются на полярные и неполярные. В полярных диэлектриках под воздействием ЭМП образуются диполи, которые ориентируются в направлении напряженности электромагнитного поля.

Древесина в абсолютно сухом состоянии обладает слабыми свойствами полярного диэлектрика. При увлажнении полярные свойства проявляются в большей степени, и по мере возрастания влажности удельное сопротивление древесины снижается, она становится близкой к полупроводникам по проводимости. При влажности выше предела насыщения клеточных стенок возникает ионная проводимость в соответствии с компонентным составом древесины. Поскольку древесина, как было сказано, является композиционным материалом, то при воздействии сверхвысокочастотного магнитного поля происходит поляризация составляющих древесину веществ. Более подробно процесс поляризации диэлектриков рассмотрен в учебном пособии «Основы электродинамики» [5]. При этом компоненты древесины испытывают разные виды поляризации: электронную, электролитическую, ионную, дипольно-релаксационную (дипольную), миграционную.

Миграционная поляризация присутствует в гетерогенных (неоднородных) диэлектриках, а именно к такому типу диэлектрика можно отнести влажную древесину, представляющую собой композицию веществ: саму древесину в твердой фазе, воду в жидкой и газообразной фазах и воздух. В результате возникновения контактной разницы потенциалов между водой и древесинным веществом вода приобретает потенциал одного знака, а древесинное вещество - другого. Древесинное вещество имеет, как было отмечено, значительно меньшую электропроводность, чем влага. Поэтому происходит наложение электрического поля, создаваемого влагой, на электрический потенциал древесины. В результате наложения полей свободные электроны и ионы, содержащиеся в качестве включений в стенках клеток, перемещаются в пределах каждого включения, приобретая дипольный момент. Неоднородность структуры древесины приводит к ограниченному перемещению зарядов, которые, являясь свободными в пределах одной полости или канала, ведут себя аналогично связанным зарядам.

Поляризованность древесины P определяется средним суммарным дипольным моментом всех видов поляризации [1]:

$$P = P_Э + P_И + P_Д + P_М + P_{ЭЛ}$$

© Шульгин В. А., 2013

Изменение поляризованности во времени отображено эквивалентной электрической схемой влажной древесины как диэлектрика с разными видами поляризации на Рисунке 1.

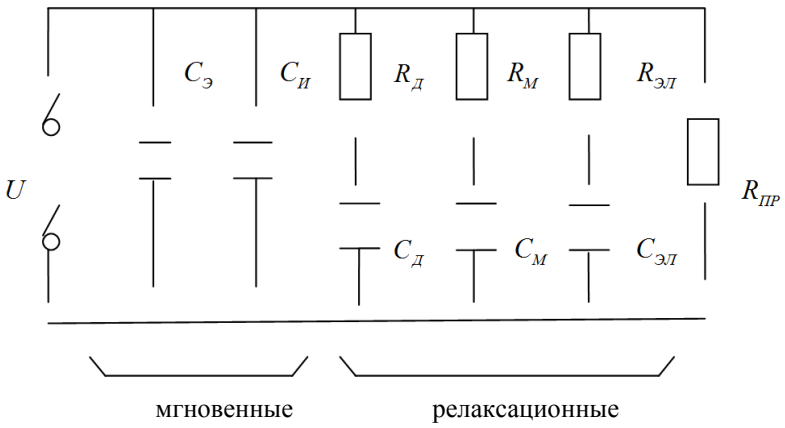

Рис. 1. *Эквивалентная схема поляризации древесины*

При подаче напряжения в резонансную камеру за счет конденсаторов, моделирующих электронную $C_Э$ и ионную $C_И$ поляризации, произойдет мгновенный сдвиг фаз, при котором вектор тока опережает вектор напряжения. Затем будет наблюдаться дальнейшее увеличение сдвига фаз, зависящее от параметров RC-цепочек, обозначающих, соответственно индексам, дипольную, миграционную и электрическую поляризации. Сопротивление по схеме $R_{ПР}$ моделирует в древесине ток сквозной проводимости. Внешнее электромагнитное поле вызывает возникновение в древесине переменного электрического тока. Плотность этого тока принято представлять комплексной величиной I_Σ, представляющей собой сумму тока проводимости $I_{ПР}$ и тока смещения $I_{СМ}$:

$$I_\Sigma = I_{ПР} + I_{СМ}$$

Между вектором тока I_Σ и вещественной частью напряженности электрического поля E образуется угол сдвига фаз φ. Ток проводимости $I_{ПР} = \sigma E$, ток смещения $I_{СМ} = D = \varepsilon_a E$,

где σ - удельная проводимость, 1/Ом; D - вектор электрического смещения.

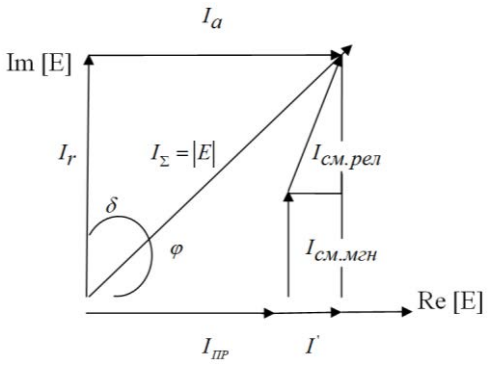

Рис. 2. *Комплексная диаграмма токов в древесине под воздействием переменного электрического поля* $\dot{E}$

В соответствии с комплексной диаграммой, изображенной на Рисунке 2, величина тока мгновенного смещения определяется суммой двух токов:

$$I_{см.мгн} = \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial \tau} + \frac{\partial P_{мгн}}{\partial \tau},$$

где $\varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial \tau}$ - мгновенное значение плотности тока смещения;

$\frac{\partial P_{мгн}}{\partial \tau}$ - мгновенная величина плотности тока электронной и ионной поляризации.

С учетом мгновенных значений смещения комплексная плотность суммарного тока:

$$I_\Sigma = I_{пр} + I_{см.мгн} + I_{см.рел}$$

Активная составляющая тока $I^{'}$ обусловлена релаксационными потерями поляризации. Таким образом, сумма токов $I_{пр}+I^{'}$ является активной составляющей I_a, а ток смещения идеального диэлектрика, фаза которого опережает активную составляющую на 90°, - реактивной составляющей I_r суммарного тока в диэлектрике. Угол $\delta = 90^{\circ} - \varphi$ называют углом диэлектрических потерь. Количественно потери оказываются пропорциональны $tg\delta$. Тангенс этого угла равен отношению активного и реактивного тока или, иначе, активной P_a и реактивной P_r мощности:

$$tg\delta = I_a / I_r = P_a / P_r$$

Таким образом, диэлектрические потери в древесине могут быть применены для определения мощности, затрачиваемой на нагрев материала, находящегося в диэлектрическом поле. Удельная мощность излучения $P_{уд}$ равна полной мощности P, подаваемой в резонансную камеру, отнесенная к объему загруженных материалов $V_{древ}$:

$$P_{уд} = E^2 \omega \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 tg\delta$$

Здесь необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что СВЧ лесосушильная камера периодического действия при осуществлении сушки древесины микроволновым резонансным методом стоячей волны представляет собой микроволновый резонатор, важным энергетическим параметром которого является добротность. Добротностью Q называют отношение реактивной энергии W, запасенной в колебательной системе на частоте резонанса, к мощности потерь резонатора на холостом ходу $P_{П\Sigma}$ (без загрузки сушильного материала), т.е.:

$$Q = 2\pi f_p \frac{W}{P_{П\Sigma}}$$

В реальных условиях объемный резонатор обладает потерями. Если резонатор нагружен, то к средней мощности потерь в резонаторе $P_{П\Sigma} = P_Г$, где $P_Г$ - активная выходная мощность генератора, следует прибавить среднюю мощность потерь, отдаваемую резонатором в нагрузку $P_Н$.

При этом выражение для добротности нагруженного резонатора запишется следующим образом:

$$Q_Н = \omega_P \frac{W}{P_{П\Sigma} + P_Н} = \omega_P \frac{W}{P_{П\Sigma}} \cdot \frac{1}{1 + P_Н / P_{П\Sigma}} = Q \frac{1}{1 + P_Н / P_{П\Sigma}}$$

Следовательно, исходя из этого выражения, при уменьшении мощности потерь может сколь угодно увеличиваться добротность, а, следовательно - реактивная энергия резонатора. Впрочем, на практике конструктивная добротность Q микроволновых сушильных камер, как правило, не превышает 100. Это означает, что реактивная энергия резонатора сушильной камеры увеличивается в Q раз, т.е. проекция на мнимую ось модуля комплексного вектора напряженности E электромагнитного поля тоже увеличится в Q раз. Также добротность можно выразить через соотношение: $Q = \omega_P \varepsilon_a / \sigma = 1/tg\delta$. Увеличение реактивной энергии W становится возможным, исходя из комплексного характера мощности источника сторонних сил.

Особенно следует остановиться на предрасположенности микроволновых сушильных камер к электрическому пробою в объеме сушильного агента, которым являются воздух, вода и водяной пар, и объеме материала, которым является древесина. Как известно, факторами этой предрасположенности являются критическая напряженность ЭМП, неоднородная структура поля. Предполагается, что плотность вероятности $\omega_П$ роста разрядного канала в том или ином месте диэлектрика прямо пропорциональна квадрату проекции локальной напряженности поля $E_П$ на направление роста $\vec{n}$, если величина проекции превосходит критическое значение E_C, $E_П > E_C$, и равна нулю, если $E_П < E_C$:

$$\omega_П = \alpha \cdot \Theta\left(E_П - E_C\right) \cdot E_П^2,$$

где α - коэффициент скорости роста; $\Theta(x)$ - ступенчатая функция, $\Theta(x) = 1$ при $x > 0$ и $\Theta(x) = 0$ при $x \le 0$.

Электрический пробой конденсированных диэлектриков, подобных древесине, сопровождается ростом стохастически ветвящейся разрядной структуры, состоящей из высоковольтных проводящих плазменных каналов. Рост разрядной структуры начинается в области максимальной напряженности поля, как правило, вблизи структуры неоднородности. Образование каналов проводимости обусловлено фазовым переходом материала из непроводящего состояния в проводящее (расплав, плотная плазма). Исследования явления электрического пробоя диэлектриков начали проводиться давно в связи с проведением антиаварийных мероприятий на энергетических объектах, и в настоящее время существует множество работ, посвященных этим исследованиям. Однако, «несмотря на многолетние и многоплановые исследования электрического пробоя диэлектриков, количественная теория роста разрядных структур до сих пор не создана» [2]. Тем не менее, существуют модели

развития разряда в рамках стохастически-детерминистического подхода, описывающие рост разрядных каналов, изменение электрического поля, движение зарядов и изменение проводимости каналов.

Основными видами предпробивной неустойчивости, приводящей к образованию разрядных каналов пробоя, являются тепловая, электромеханическая, ионизационная и перегревная. Основными процессами, приводящими к образованию проводящей фазы, являются генерация и взаимодействие носителей зарядов с атомами и молекулами среды в сильном электрическом поле. Для древесины свойственна тепловая неустойчивость для компонентов с сильной зависимостью проводимости от температуры $\sigma(T)$ и положительной обратной связью σ и T. Рост σ приводит к увеличению мощности джоулевого тепловыделения σE^2, что при ограниченном теплоотводе вызывает возрастание температуры. Электромеханическая неустойчивость развивается, если пондеромоторные силы приводят к изменению в диэлектрике, например, появлению микротрещин. В сильном электрическом поле произойдет ионизация находящегося в них газа и инжекция заряда в микротрещины. Жидкие компоненты древесины под действием этой силы приходят в электрогидродинамическое движение (ЭГД-течение), что приводит к образованию кавитационных пузырьков [4]. Ионизационная неустойчивость связана с образованием носителей заряда в результате электростатической и ударной ионизации. Ионизационная неустойчивость развивается, когда энергия, приобретаемая электроном от электрического поля, больше энергетических потерь взаимодействия со средой. Перегревная электрическая неустойчивость связана с разогревом носителей заряда в диэлектрике, которым можно представлять древесину.

Для устранения явления пробоя в СВЧ лесосушильных камерах периодического действия на основании описанного материала можно прибегнуть к использованию разработанных моделей определения предпробивных состояний [2; 4] и др.

Можно изменением мощности источника сторонних сил, т.е. генератора, выбирать напряженность поля $E_П < E_C$ (критической напряженности) экспериментально, при этом используется добротность Q для оценки величины напряженности энергетического потенциала резонатора.

При создании системы управления сушильной камерой можно в программном приложении создать различные режимы сушки древесины, как мягкий режим сушки, так и более жесткие, для различных технологических режимов и пород древесины. При этом возможно при контроле температуры внутренних слоев древесины управлять качеством сушки, основываясь на скорости роста температуры, одновременно производить контроль предпробойных состояний древесины.

Можно рекомендовать и другие методы устранения предпробойных состояний, например, достижение возможно лучшего согласования волнового сопротивления генератора с волновым сопротивлением нагрузки, которой является материал древесины, в процессе сушки

Список литературы

1. **Галкин В. П.** Древесиноведческие аспекты инновационной технологии сушки древесины: монография. М.: ГОУ ВПО «МГУЛ», 2010. 238 с.
2. **Лопатин В. В., Носков М. Д.** Развитие предпробивных неустойчивостей в конденсированных диэлектриках // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 2.
3. **Уголев Б. Н.** Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для лесотехнических вузов. М.: МГУЛ, 2001. 340 с.
4. **Ушаков В. Я., Климкин В. Ф., Коробейников С. М., Лопатин В. В.** Пробой жидкостей при импульсном напряжении. Томск: НТЛ, 2005. 488 с.
5. **Федоров Н. Н.** Основы электродинамики. М.: Высшая школа, 1980. 399 с.