

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ.

Химический состав и анатомическое строение древесины обуславливают ее высокую гигроскопичность. Поэтому наблюдается сильно выраженная зависимость свойств естественной древесины от влажности окружающей среды. С целью стабилизации и улучшения параметров цельной древесины используются различные методы модификации ее. Одним из эффективных способов модификации служит пропитка древесины синтетическими смолами и мономерами с последующей поликонденсацией или полимеризацией их в древесине.

В научном и практическом отношении представляют интерес исследования электрических свойств модифицированной древесины. В настоящей статье излагаются результаты экспериментального исследования электрических свойств древесины березы, модифицированной фенолоформальдегидной смолой, а также результаты измерений относительной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь естественной древесины этой породы.

Пропитку заготовок осуществляли 50%-ным водным раствором фенолоспиртов (ТУ-05-1164-69) согласно технологии, разработанной в проблемной лаборатории модификации древесины Белорусского технологического института имени С. М. Кирова [1]. Содержание фенолоформальдегидной смолы в заготовках составляло 62—65% от веса их в абсолютно сухом состоянии.

Электрические характеристики: удельное объемное ρ_v , удельное поверхностное ρ_s , сопротивления, относительную диэлектрическую проницаемость ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, электрическую прочность $E_{пр}$ измеряли при температуре 20°C согласно стандартным методикам и методикам, изложенным в работах [2, 3]. Указанные величины модифицированной древесины определялись как на исходных образцах, так и на образцах, подвергнутых увлажнению в течение 35 суток в насыщающих парах воды при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Кондиционирование исходных образцов осуществлялось длительным выдерживанием их при нормально-контролируемых условиях (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $65 \pm 5\%$). Влажность исходных образцов составляла около 3%, а выдержанных в насыщающих парах воды — 23%; ϵ и $\text{tg}\delta$ естественной древесины различных структурных срезов измерялись на образцах, высушенных до абсолютно сухого состояния.

Удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления измерялись на тероомметре типа Ф-57 при напряжении 120 в. Результаты измерений приведены в табл. 1. Анализируя полученные результаты и сопоставляя их с данными по электропроводности древесины березы абсолютно сухого состояния [4], которые также приведены в табл. 1, можно сделать вывод, что

Значения удельного объемного ρ_s , удельного поверхностного ρ_{Σ} сопротивлений и электрической прочности $E_{пр}$ исследуемых материалов

Показатели	Естественная древесина абсолютно сухого состояния		Литература	Модифицированная древесина			
	торцевой срез	тангенциальный срез		торцевой срез		тангенциальный срез	
				до увлаж.	после увлаж.	до увлаж.	после увлаж.
ρV ом·см	$2,3 \cdot 10^{14}$	$5,1 \cdot 10^{14}$	(4)	$8,6 \cdot 10^{12}$	$2,7 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^{14}$	$3,8 \cdot 10^6$
ρ_s ом	—	—		$9,6 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^7$
$E_{пр}$ кв/мм	1,26	9,1	(11)	1,2	—	9,0	—

модификация березы фенолоформальдегидной смолой существенно не увеличивает ее электропроводности. Этого следовало ожидать, так как удельное объемное сопротивление самой смолы на стадии резита при температуре 20°C достаточно высоко и составляет около 10^{13} ом·см. [5]. Обращает на себя внимание тот факт, что различие в значениях ρV у торцевого среза модифицированной древесины и естественной в абсолютно сухом состоянии гораздо выше, чем у тангенциального (примерно в 27 и 1,4 раза соответственно). Это увеличение анизотропии электропроводности древесины вследствие ее модификации, на наш взгляд, можно объяснить следующим образом. При расположении волокон вдоль поля токопроводящими элементами являются сами волокна и слои полимера, обволакивающие стенки сосудов. Так как указанные элементы включены параллельно, то это приводит к возрастанию электропроводности материала, а значит к уменьшению его сопротивления. Если же волокна расположены перпендикулярно полю, то ток проходит в основном через поперечные сечения стенок клеток, и включение введенного полимера здесь не играет заметной роли в проводимости системы. Увеличенное значение удельного поверхностного сопротивления модифицированной древесины торцевого среза по сравнению с тангенциальным объясняется влиянием воздушных «ячеек», которые обладают очень малой проводимостью (под действием слабых полей практически не происходит ионизации газа). Увеличение влажности от 3 до 23% вызывает резкое снижение ее удельного сопротивления (на 6—8 порядков), что обуславливается проводимостью воды, заполняющей сосуды и поры. При большой влажности образцов направление волокон по отношению к полю не оказывает значительного влияния на их электропроводность.

Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь на промышленной частоте измерялись с помощью моста Р525 при напряжении 1200 в, а на высоких частотах в диапазоне 0,05÷28 Мгц — с помощью куметров типа Е9-4 и Е9-5.

Анализ полученных данных показывает, что диэлектрическая проницаемость древесины березы, как и других пород (ели,

дуба, бука) [6, 7], зависит, во-первых, от ориентации волокон относительно приложенного электрического поля, и во-вторых, от частоты поля. Числовые значения ϵ на отдельных частотах приведены в табл. 2. Сравнивая их, видим, что ϵ образцов торцевого среза на всех частотах больше, чем образцов тангенциального среза. Это можно объяснить анизотропией древесины, обусловленной анатомическим строением. Если же анизотропное состояние древесины разрушить путем измельчения ее, то, как показывают опыты по измерению диэлектрической проницаемости древесной муки бука [6], значение ϵ оказывается заключенным между значениями для торцевого и радиального срезов.

Таблица 2

Значения диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла потерь исследуемых материалов на различных частотах

Показатели	Частота, гц	Естественная древесина абсолютно сухого состояния, $\gamma=605 \text{ кг/м}^3$		Модифицированная древесина	
		торцовый срез	тангенциальный срез	торцовый срез	тангенциальный срез
ϵ	50	2,96	2,22	3,91	2,96
	$2,5 \cdot 10^6$	2,56	2,08	3,40	2,82
	$2,3 \cdot 10^7$	2,35	1,88	3,38	2,80
$\text{tg} \delta \times 10^4$	50	115	84	256	137
	$2,5 \cdot 10^6$	488	266	516	379
	$2,3 \cdot 10^7$	543	359	612	460

Как и для исследованных древесных пород, и целлюлозы [6—8], по мере увеличения частоты электрического поля, ϵ древесины березы уменьшается. Причем, дисперсия диэлектрической проницаемости в большей степени выражена для торцевого среза, чем для тангенциального (рис. 1).

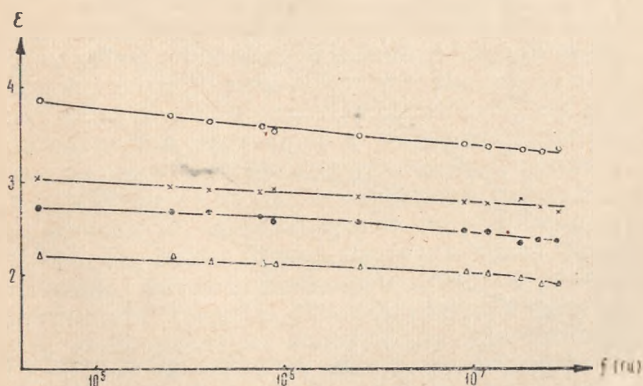


Рис. 1. Зависимость ϵ от частоты электрического поля для естественной (Δ — тангенциальный срез, \bullet — торцовый срез) и модифицированной (X — тангенциальный срез, O — торцовый срез) древесины березы.

Увеличенное значение ϵ модифицированной древесины по сравнению с естественной (см. табл. 2) объясняется тем, что для фенолоформальдегидной смолы в стадии резита эта величина больше, чем для березы в абсолютно сухом состоянии и составляет 4,5 при частоте 50 гц ($t^\circ = 20^\circ\text{C}$) [5]. Сравнивая данные табл. 2, можно заключить, что модификация древесины фенолоформальдегидной смолой увеличивает анизотропию диэлектрической проницаемости. Это, по-видимому, объясняется ориентирующим действием структуры древесины на полярные элементы полимера, используемого в качестве модифицирующего реагента. Дисперсия ϵ у модифицированной древесины выражена в меньшей степени, чем у естественной.

Во всем диапазоне частот тангенс угла диэлектрических потерь древесного вещества березы абсолютно сухого состояния оказывается более высоким для торцевого среза, чем для тангенциального (см. табл. 2, рис. 2). Такая же зависимость $tg \delta$ от структурного среза имеет место и для древесины бука, дуба и ели [6, 7]. Одна из основных причин, определяющих это явление, особенно на низких частотах, состоит в том, что электропроводность древесины различных пород меньше поперек волокон и больше вдоль волокон [4]. Следует подчеркнуть, что анизотропия $tg \delta$ возрастает с увеличением частоты поля (см. рис. 2). В частотной зависимости тангенс угла потерь проходит через максимум на частоте 23 Мгц. Положение максимума $tg \delta$, как видим из рис. 2, не зависит от направления поля по отношению к волокнам, но его форма и числовое значение зависят от расположения волокон в поле: $tg \delta_{\text{max}}$ торцевого среза более острый и составляет $543 \cdot 10^{-4}$, максимум же $tg \delta$ тангенциального среза пологий и составляет $359 \cdot 10^{-4}$. Для других древесных пород и



Рис. 2. Зависимость $tg \delta$ от частоты электрического поля для естественной (Δ — тангенциальный срез, \bullet — торцевой срез) и модифицированной (\times — тангенциальный срез, \circ — торцевой срез) древесины березы.

целлюлозы [6—8] при температуре 20°C максимум тангенса угла потерь лежит около 10^7 гц.

Древесина и целлюлоза, благодаря присущей им дипольно-радикальной поляризации, которая объясняется наличием гидроксильных групп—ОН и кислорода [5, 9], обладают большими потерями, превосходящими потери сквозной проводимости, особенно на высоких частотах. Известно [10], что релаксационные потери характеризуются наличием взаимосвязанных максимумов в частотной и температурной зависимостях тангенса угла потерь. Исследования показывают [6, 8], что для древесины ели и целлюлозы максимум $\text{tg } \delta$ с увеличением температуры смещается в сторону более высоких частот.

Модификация древесины березы фенолоформальдегидной смолой приводит к увеличению $\text{tg } \delta$, так как этот полимер из-за наличия в его молекулах полярных групп — ОН обладает большими потерями. $\text{tg } \delta = 0,01 \div 0,05$ на $f = 10^6$ гц при $t^\circ = 20^\circ\text{C}$ [5].

При одинаковом содержании смолы в древесине $\text{tg } \delta$ имеет более высокие значения для образцов торцевого среза. Характер частотной зависимости $\text{tg } \delta$ модифицированной древесины не зависит от направления волокон относительно поля; максимум тангенса угла потерь для нее по сравнению с естественной древесиной смещен на более высокие частоты. Так как влажность образцов модифицированной древесины при нормально-контролируемых условиях составляет около 3%, то несомненно, что это содержание влажности вносит определенный вклад в диэлектрические потери материала и влияет на ход зависимости $\text{tg } \delta = \gamma(f)$. Установлено [6—8], что по мере увеличения содержания влажности в древесине максимум тангенса угла сдвигается в область более высоких частот.

Диэлектрические потери увлажненных образцов оказались настолько большими, что ни на одной из частот не удалось измерить $\text{tg } \delta$ с помощью используемых установок (верхний предел по $\text{tg } \delta$ моста Р525 составляет 1,1111, а кумметров Е9-5 — 0,2).

Диэлектрики, обладающие потерями, можно характеризовать и так называемой комплексной диэлектрической проницаемостью или коэффициентом потерь $K = \epsilon \text{tg } \delta$. На рис. 3 приведены графики частотной зависимости K естественной древесины березы в абсолютно сухом состоянии и модифицированной древесины при нормально-контролируемых условиях. С увеличением частоты поля коэффициент потерь естественной древесины возрастает, достигая максимума, независимо от структурного среза на частоте 23 Мгц. На более низких частотах диапазона $0,05 \div 28$ Мгц для различных срезов наблюдается заметное различие в характере зависимости $K = \gamma(f)$. Такое различие в ходе частотной зависимости от направления волокон для модифицированной древесины почти не имеет места, и максимум коэффициента потерь в этом случае сдвинут в сторону более высоких частот. Из рис. 3 видно, что анизотропия K в большей степени выражена для модифицированной древесины.

Электрическая прочность определялась на установке АМИ-60 на частоте $f=50$ гц. Измерения пробивного напряжения были выполнены в воздушной среде при плавном подъеме приложенного напряжения со скоростью 1 кв/сек; использовались латунные электроды диаметром 10 мм. Как показывают результаты

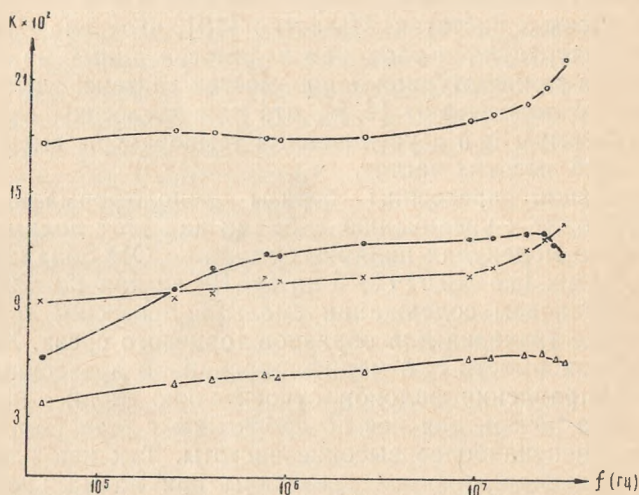


Рис. 3. Зависимость коэффициента потерь от частоты электрического поля для естественной (Δ — тангенциальный срез, \bullet — торцевой срез) и модифицированной (\times — тангенциальный срез, \circ — торцевой срез) древесины березы.

измерений (см. табл. 1) электрическая прочность модифицированной березы такая же, как и естественной абсолютно сухого состояния [11]. Таким образом, модификация древесины фенолоформальдегидной смолой не приводит к увеличению $E_{пр}$, хотя смола в стадии резита и имеет сравнительно высокую электрическую прочность, которая при комнатных условиях на частоте 50 гц составляет около 15 кв/мм [5]. Это станет понятно, если учесть, что полимер не полностью заполняет полости сосудов [12]. Наличие в диэлектрике воздушных включений вызывает снижение его электрической прочности. Это снижение $E_{пр}$ обуславливается искажением поля внутри диэлектрика из-за наличия пор и ионизацией газа в них [5]. Значительно меньшая электрическая прочность торцевого среза по сравнению с тангенциальным как естественной древесины абсолютно сухого состояния, так и модифицированной при условиях испытания объясняется повышенной сквозной проводимостью этого среза и возможностью развития пробоя вдоль сосудов.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Частотная зависимость ϵ и $\text{tg}\delta$ древесины березы абсолютно сухого состояния аналогична частотной зависимости этих характеристик других древесных пород.

2. Модификация березы фенолоформальдегидной смолой приводит к увеличению ϵ и $\operatorname{tg}\delta$, а также существенно изменяет характер зависимости $\operatorname{tg}\delta = \gamma(f)$. Удельное сопротивление и электрическая прочность модифицированной древесины при нормально-контролируемых условиях незначительно отличаются от этих параметров древесины абсолютно сухого состояния.

3. При небольшой влажности окружающей среды модификация древесины фенолоформальдегидной смолой обеспечивает определенную стабилизацию ее электрических свойств.

В заключении выражаем благодарность И. П. Майко за содействие в выполнении работы.

Литература

- [1] В. Е. Вихров, Э. Э. Пауль. Сб.: Вопросы лесного хозяйства, лесной и химической промышленности. Минск, 1967. [2] А. Р. Хиппель. Диэлектрики и их применение. М.—Л., 1959. [3] Б. И. Сажин, П. Н. Щербак, завод. лабор. 1960, № 2. [4] В. М. Спиридонов. Автореф. канд. дисс., 1967. [5] Н. И. Богородицкий, В. В. Пасынков. Мат-лы радиоэлектронной техники, 1969. [6] F. D. Kolmann. Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe, B I, München, 1951 г. [7] L. Pungs, ETZ, A75, 13, 1954 г. [8] W. Trapp, L. Pungs. Holzforschung B. 10, 3, 1956. [9] Химия древесины. Под редакцией Б. Л. Баунига. М., 1967. [10] Г. И. Сканави. Физика диэлектриков (область слабых полей), М.—Л., 1947. [11] В. М. Спиридонов, А. З. Хартанович. Тез. докл. Всесоюз. конф. по совр. проблемам древесиноведения. Минск, 1971. [12] Ю. В. Вихров. Сб.: Механическая технология древесины, в. 1, Минск, 1971.

Моисеев А. В., Олехнович Ф. М., Богдан Г. Я.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ — МЕТАЛЛ.

По мнению большинства ученых, занимающихся вопросами трения и износа, из всех характеристик процесса трения выделяют две основные: высокая износостойкость материала и низкий коэффициент трения.

Даже при очень высоких других характеристиках — прочности, теплостойкости, твердости, несущей способности, хорошей прирабатываемости — материал в заданных условиях не может быть применен как антифрикционный, если он имеет высокий коэффициент трения и низкую износостойкость.

Натуральная древесина березы в некоторой степени удовлетворяет как антифрикционный материал выше перечисленным