

венной оценке пропитки древесины. - В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса, вып. 4. Минск, 1974. 3. С и н ю к о в Н.П. Проникновение и размещение полимера в древесине сосны, модифицированной фенолоформальдегидными смолами. - В сб.: Модификация древесины синтетическими полимерами, вып. 1. Минск, 1973. 4. Тимошенко С.П. Теория упругости. Л. - М., 1937.

А.М. Олехнович, С.Д. Туманов, Ф.М. Олехнович

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОМ

Установлено [1], что на электрические свойства модифицированной древесины оказывает влияние не только химический состав, но и структура введенного в нее полимера. В связи с этим представляют интерес исследования указанных свойств древесины, модифицированной смолами различных классов.

В настоящей статье излагаются результаты экспериментального исследования электрических свойств древесины березы, пропитанной низкомолекулярным полиэтиленом, представляющим собой отходы химической промышленности (содержание низкомолекулярного полиэтилена в заготовках составляло 68 - 70% от веса их в абсолютно сухом состоянии), а также результаты измерений относительной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь естественной древесины этой породы комнатно-сухого состояния.

Электрические характеристики (удельное объемное  $\rho_v$ , удельное поверхностное  $\rho_s$  сопротивления, относительную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$ , электрическую прочность  $E_{\text{пр}}$ ) измеряли при температуре  $20^\circ\text{C}$  согласно стандартным методикам и методикам, изложенным в работах [2, 3]. Измерения указанных величин модифицированной древесины проводили как на исходных образцах тангенциального ( $\tau$ ) и торцевого ( $n$ ) среза, так и на образцах, выдержанных 21 месяц в комнатных условиях (после чего влажность их составляла 3,5%). Электрические свойства низкомолекулярного полиэтилена (ПЭ н.м) определяли после длительной выдержки изготовленных образцов при нормально-контролируемых условиях (температура  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , отно-

сительная влажность воздуха  $65 \pm 5\%$ ). Влажность образцов естественной древесины комнатно-сухого состояния составляла 7%.

Удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления исследуемых материалов измеряли с помощью тераомметра типа ЕК6-7 при напряжении 100 в и 1000 в. Результаты измерений представлены в табл. 1. Полученные значения  $\rho_v$  и  $\rho_s$  (измерения выполняли при подаче на образец напряжения  $u = 1000$  в) для низкомолекулярного полиэтилена сравнимы с этими характеристиками высокомолекулярных полиэтиленов (ВД, СД, НД) [5]. Известно [5], что  $\rho_v$  ПЭ ВД зависит от содержания неорганических примесей, и при повышении содержания их в 11 - 12 раз величина удельного сопротивления уменьшается примерно на один порядок. Этот факт можно объяснить тем, что низкомолекулярные вещества, введенные в полимер, уменьшают внутримолекулярное взаимодействие и обеспечивают, тем самым, увеличение подвижности макромолекул и низкомолекулярных ионов [4]. Логично предположить, что ПЭ н.м. содержит различные примеси и загрязнения, которые обуславливают определенное увеличение его электропроводности. Сопоставляя полученные результаты измерений с данными по электропроводности древесины березы абсолютно сухого состояния [6], которые также приведены в табл. 1, можно сделать вывод, что модификация древесины этой породы низкомолекулярным ПЭ существенно уменьшает ее электропроводность поперек волокон (примерно в 25 раз) и несколько увеличивает вдоль волокон. В последнем случае образец можно представить как ряд слоев древесного вещества, чередующихся с капиллярами, заполненными полимером. Согласно параллельной эквивалентной схеме электропроводность системы древесина - полимер  $g = g_d \pm g_n$ . По-видимому, проводность воздушных включений, расположенных вдоль вектора напряженности поля, меньше проводности полимера ( $g_b < g_n$ ). Поэтому заполнение полимером капилляров приводит к некоторому увеличению электропроводности системы в целом. При расположении волокон нормально к вектору напряженности поля включения полимера каким-то образом уменьшают электропроводность системы. Для объяснения этого необходимо более точно знать, как распределяется полимер в древесине. В процессе увлажнения древесины происходит не только заполнение водой капилляров и пор, но и диссоциация ионогенных веществ. Вследствие этого электропроводность материала сильно возрастает. Изме-

Таблица 1

Электрические свойства исследуемых материалов

Свойства	Натуральная древесина				Полметилен низкомолекулярный	Модифицированная древесина			
	абсолютно сухого состояния ( $\rho = 605 \text{ кг/м}^3$ )		комнатно-сухого состояния ( $W = 7\%$ )			исходного, технологического состояния		комнатно-сухого состояния ( $W = 3,5\%$ )	
	$\tau$ -срез	n-срез	$\tau$ -срез	n-срез		$\tau$ -срез	n-срез	$\tau$ -срез	n-срез
$\rho_V, \text{ ом}\cdot\text{см}$	$5,1 \cdot 10^{14}$	$2,3 \cdot 10^{14}$	$9 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$1,3 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$5,3 \cdot 10^{11}$	$5,1 \cdot 10^{11}$
$\rho_S, \text{ ом}$	-	-	-	-	$5,4 \cdot 10^{16}$	$6,4 \cdot 10^{15}$	$2,4 \cdot 10^{15}$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$4,7 \cdot 10^{13}$
$E_{\text{пр}}, \frac{\text{кВ}}{\text{мм}}$	9,1	1,26	7,18	1,06*	21	15,5	5,4	11,1	2,5
$f = 50 \text{ Гц}$	2,22	2,96	2,98	6,24	2,39	2,92	4,28	-	5,54
$\epsilon f = 10^6 \text{ Гц}$	2,1	2,52	2,62	3,85	2,39	2,88	3,6	3,5	4,9
$f = 50 \text{ Гц}$	84	115	331	2636	12,0	63,6	172	-	1122
$\text{tg } \delta \cdot 10^4$									
$f = 10^6 \text{ Гц}$	258	467	350	595	33,0	273	526	335	500

\* Литературные данные.

ние влажности древесины березы от 5 до 22% вызывает увеличение электропроводности более, чем в миллион раз [6]. Модифицированная древесина также подвергается увлажнению, но в меньшей степени, чем естественная. По этой причине ее удельное сопротивление при комнатных условиях почти на два порядка выше, чем естественной при таких же условиях испытания. В результате увлажнения как модифицированной древесины, так и естественной анизотропия электропроводности уменьшается, так как при этом большую роль в электропроводности системы играет вода и меньшую – древесное вещество и полимер.

Измерения электрической прочности выполняли на установке АМИ-60 ( $f = 50$  Гц) в воздушной среде, использовали электроды диаметром 10 мм. Результаты измерений показывают, что  $E_{пр}$  низкомолекулярного полиэтилена ниже, чем высокомолекулярного ПЭ [4]. Это объясняется особенностью структуры ПЭ н.м и возможным присутствием в нем примесей, которые вызывают перераспределение напряженности поля внутри материала. Однако электрическая прочность низкомолекулярного ПЭ достаточно высокая и при комнатной температуре соответствует  $E_{пр}$  таких веществ, как парафин и церезин [7]. Низкое значение электрической прочности неоднородного диэлектрика, каким является древесина, обусловлено как искажением поля внутри материала вследствие наличия пор, так и резко пониженной электрической прочностью воздушных включений. В процессе модификации древесины ПЭ н.м заполняет полости пор и сосудов и вследствие этого электрическая прочность древесины, как и следовало ожидать, увеличивается. Кроме того, так как диэлектрическая проницаемость введенного полимера  $\epsilon_n > 1$ , то это приводит к более однородному распределению приложенного напряжения между порами и древесным веществом, что также способствует повышению  $E_{пр}$ . На основе сказанного становится понятным уменьшение анизотропии электрической прочности модифицированной древесины березы по сравнению с естественной абсолютно сухого состояния [8]. В результате длительной выдержки модифицированной древесины в комнатных условиях электрическая прочность ее снизилась, причем в большей степени для образцов торцевого среза, чем тангенциального. Это снижение  $E_{пр}$  обусловлено повышением влажности образцов. В увлажненном диэлектрике нап-

ряженность приложенного поля распределяется обратно пропорционально диэлектрической проницаемости самого диэлектрика и воды. Так как  $\epsilon$  воды гораздо выше, чем диэлектрика, то на увлажненных участках напряженность поля достигает больших значений. Таким образом, при увлажнении в связи с увеличением неоднородности материала как бы уменьшается эффективная толщина образца, что ведет к уменьшению  $E_{пр}$ .

Однако при одинаковых условиях измерения электрическая прочность древесины березы, модифицированной низкомолекулярным полиэтиленом, оказывается выше, чем естественной: для торцевого среза — 2,5 раза, для тангенциального — 1,5 раза.

Диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь на промышленной частоте измеряли с помощью моста Р525 при напряжении 1200 вольт, а на высоких частотах в диапазоне 0,05 + 45 МГц — с помощью куметров типа Е9-4 и Е9-5. Установлено [4], что диэлектрическая проницаемость полиэтилена однозначно определяется его плотностью и в зависимости от нее принимает значения от 2,2 до 2,45, которые вплоть до  $10^{10}$  Гц практически не изменяются с частотой поля. Плотность исследуемого нами низкомолекулярного полиэтилена меньше плотности высокомолекулярных ПЭ и составляет  $859 \text{ кг/м}^3$ . По-видимому, величина  $\epsilon$  для него определяется в основном особенностью структуры и возможным наличием полярных примесей. Характерно, что диэлектрическая проницаемость ПЭ н.м в указанном диапазоне не зависит от частоты (рис. 1). Как показывают данные измерений (табл. 1),  $\epsilon$  модифицированной древесины березы выше, чем естественной абсолютно сухого состояния. Это можно объяснить следующим образом. В образцах тангенциального среза включения полиме-

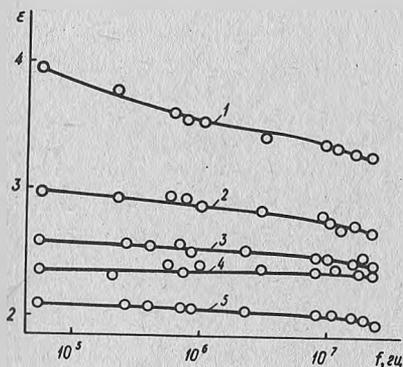


Рис. 1. Зависимость  $\epsilon$  от частоты поля для естественной (5 — тангенциальный срез; 3 — торцевой срез) и модифицированной (2 — тангенциальный срез; 1 — торцевой срез) древесины березы и низкомолекулярного ПЭ (4).

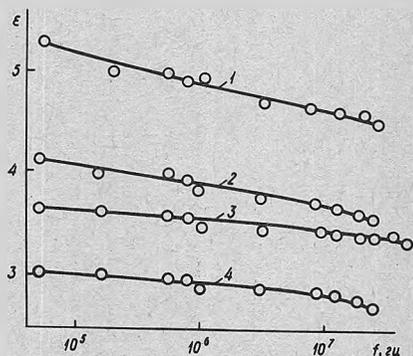
ра, заполняющего поры и капилляры, располагаются перпендикулярно полю. Для этого случая, используя последовательную эквивалентную схему, можно получить формулу для расчета диэлектрической проницаемости системы древесина - полимер:

$$\epsilon = \frac{\epsilon_D}{1 - \chi + \frac{\chi \epsilon_D}{\epsilon_n}} \quad (1)$$

где  $\epsilon_D$  - диэлектрическая проницаемость древесного вещества;  $\epsilon_n$  - диэлектрическая проницаемость полимера;  $\chi$  - относительный объем воздушных включений.

Из формулы (1) следует, что заполнение пор и капилляров веществом, диэлектрическая проницаемость которого больше этого параметра для воздуха ( $\epsilon_v \approx 1$ ), всегда приведет к увеличению  $\epsilon$  древесины. В образцах торцевого среза включения полимера будут располагаться параллельно полю. Поэтому, используя параллельную эквивалентную схему, можно заключить, что диэлектрическая проницаемость возрастет еще в большей степени, чем для образцов  $\tau$ -среза. На основе изложенного легко понять, почему в результате модификации древесины увеличивается анизотропия  $\epsilon$ . Как и других древесных пород [9, 10], диэлектрическая проницаемость березы увеличивается по мере увлажнения. Это можно объяснить на основе вышеизложенного, если учесть, что вода - сильно полярное вещество, для которого  $\epsilon \gg \epsilon_v$ , и составляет 81. Хотя при одинаковых условиях модифицированная древесина в меньшей степени, подвергается увлажнению, чем естественная, но и для нее наблюдается увеличение диэлектрической проницаемости

Рис. 2. Зависимость  $\epsilon$  от частоты для естественной (4 -  $\tau$ -срез; 2 -  $n$ -срез) и модифицированной (3 -  $\tau$ -срез; 1 -  $n$ -срез) древесины березы комнатно-сухого состояния.



после длительного пребывания в комнатных условиях. Это указывает на тот факт, что полимер, введенный в таком количестве в древесину, не полностью заполняет поры и капилляры. Следует заметить, что дисперсия диэлектрической проницаемости в большей степени выражена для образцов торцевого среза увлажненной модифицированной и естественной древесины (рис. 2).

Экспериментальные данные показывают [2, 4, 5], что если диэлектрическая проницаемость высокомолекулярных полиэтиленов незначительно зависит от частоты поля, температуры, а также от степени отмытки и от его структуры, то на величину  $\text{tg } \delta$  эти факторы влияют весьма существенно. Поэтому максимумы  $\text{tg } \delta$  различных ПЭ в температурно-частотных зависимостях обусловлены не только наличием полярных групп в молекуле или полярных примесей, но и характером теплового

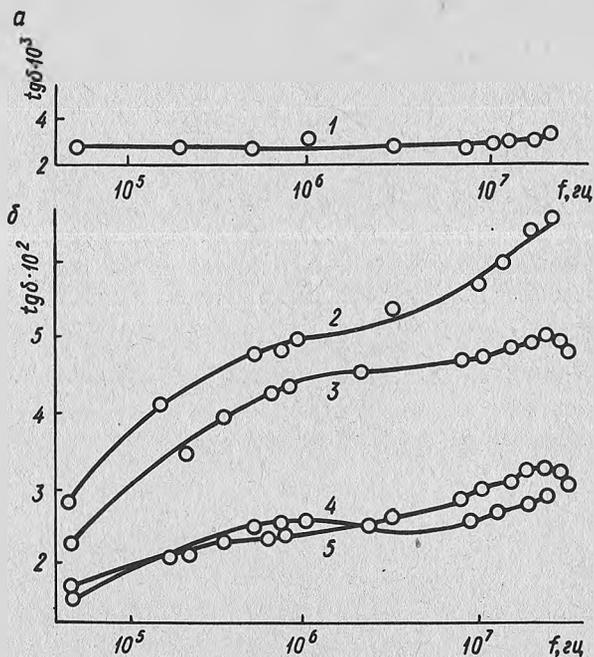


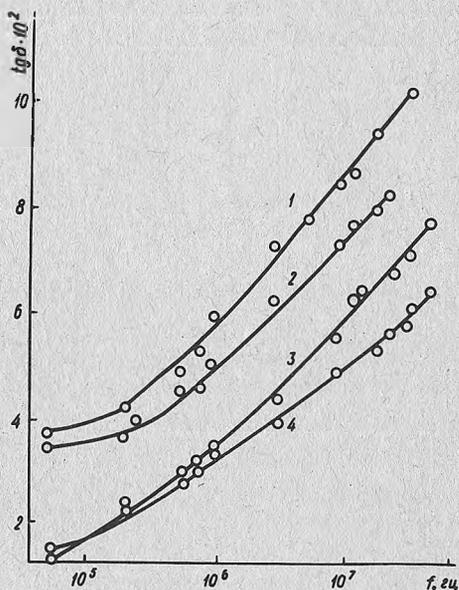
Рис. 3. Зависимость  $\text{tg } \delta$  от частоты поля для н.м. ПЭ (1), естественной (4 —  $\tau$ -срез, 3 —  $\eta$ -срез) и модифицированной (5 —  $\tau$ -срез, 2 —  $\eta$ -срез) древесины березы абсолютно сухого состояния.

движения макроцепей полимера. Тангенс угла потерь исследуемого нами полиэтилена на промышленной частоте в 3 - 4 раза выше, чем высокомолекулярного ПЭ; с увеличением частоты его значения возрастают (рис. 3, а), и уже на  $f = 10^6$  Гц указанное различие достигает одного порядка. Эти факты подтверждают ранее высказанное предположение о наличии в низкомолекулярном ПЭ различного происхождения полярных кинетических единиц и об особенностях его структуры.

В процессе модификации древесины, как было доказано, увеличивается емкость пор и капилляров за счет заполнения их полимером, для которого  $\epsilon > 1$ . В связи с этим увеличивается доля напряжения, приходящегося на слои древесного вещества, представляющего собой полярный компонент с увеличенными потерями. При этом тангенс угла диэлектрических потерь системы в целом должен возрасти. И чем больше  $\epsilon$  введенного полимера, тем в большей степени должны возрасти потери системы.

Известно [1], что для древесины березы абсолютно сухого состояния  $\text{tg } \delta$  в частотной зависимости проходит через максимум на  $f = 23$  МГц. Максимум же тангенса угла потерь модифицированной древесины, как показывают полученные данные (рис. 3, б), сдвигается в область более высоких частот. По

Рис. 4. Зависимость  $\text{tg } d'$  от частоты для естественной (3 -  $\tau$ -срез; 1 -  $\pi$ -срез) и модифицированной (4 -  $\tau$ -срез; 2 -  $\pi$ -срез) древесины березы комнатно-сухого состояния).



мере увлажнения березы, как и других древесных пород [9, 10], наблюдается резкое увеличение  $\operatorname{tg} \delta$  особенно на низких частотах (табл. 1) и изменяется ход частотной зависимости (рис. 4). Эти же закономерности оказываются справедливыми и для модифицированной древесины (табл. 1, рис. 4). Вода обладает значительной ионной проводимостью и, следовательно, большими диэлектрическими потерями, которые с увеличением частоты уменьшаются, уменьшается и тангенс угла диэлектрических потерь, оставаясь однако достаточно высоким [2]. В результате модификации и увлажнения древесины анизотропия  $\operatorname{tg} \delta$  возрастает, что может быть объяснено на основе выше изложенных причин.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. В результате модификации древесины березы низкомолекулярным полиэтиленом диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь возрастают и изменяется ход частотной зависимости  $\operatorname{tg} \delta = \Psi(f)$ .

Удельное сопротивление и электрическая прочность модифицированной древесины существенно выше этих параметров естественной древесины абсолютно сухого состояния.

2. Модификация древесины низкомолекулярным полиэтиленом обеспечивает определенный эффект стабилизации электрических свойств при воздействии комнатной среды.

#### Л и т е р а т у р а

1. Олехнович А.М., Туманов С.Д. Электрические свойства модифицированной древесины березы. Тез. докл. республиканской науч.-техн. конф. "Технический прогресс в мебельной и деревообрабатывающей промышленности". Бобруйск, 1973.
2. Хиппель А.Р. Диэлектрики и их применение. М. - Л., 1959.
3. Сажин Б.И., Щербак П.Н. Современные методы испытаний диэлектрической проницаемости и тангенс угла диэлектрических потерь пластмасс. - "Заводская лаборатория", 1960, № 2.
4. Электрические свойства полимеров. Под ред. Б.И. Сагина. Л. 1970.
5. Сажин Б.И. Электрические свойства полиэтилена низкого давления. - "Пластмассы", 1960, № 1.
6. Спиридонов В.М. Автореф. канд. дис. Минск, 1967.
7. Богородицкий Н.И., Пасынков В.В. Материалы радиоэлектронной техники. М., 1969.
8. Спиридонов В.М., Хартанович А.З. Влияние влажности на электрическую прочность дре-

весины некоторых пород. — Тез. докл. Всесоюз. конф. по современным проблемам древесиноведения. Минск, 1971. 9. Kolmann F., Dr. Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe, München, 1951. 10. Trapp W., Pungs L. Einfluß von Temperatur und Feuchte auf das dielektrische Verhalten von Natuholz im großen Frequenzbereich. — "Holzforschung", 1956, 10, 1.

М.М. Ревяко, А.Я. Маркина,  
В.В. Яценко, Л.А. Кажкина

### МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ НАПОЛНИТЕЛЯ В КОМПОЗИЦИОННОМ ДРЕВЕСНОМ ПЛАСТИКЕ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА

В литературе имеется значительное количество данных о свойствах композиционных древесных пластиков на основе феноло-формальдегидных смол и измельченной древесины [1 - 2]. Разработана технология получения таких пластиков, и они с успехом применяются во многих отраслях промышленности. В настоящее время ведутся работы по изысканию новых типов связующих, использование которых могло сказаться на свойствах получаемых композиционных древесных пластиков и расширить область их применения. Одним из таких новых композиционных древесных пластиков является пластик на базе термопластичного полимера — полиэтилена высокой плотности [3]. Высокие физико-механические показатели КДП обеспечиваются образованием в связующем сетчатой структуры вследствие сшивания полиэтилена перекисью дикумила.

В настоящей работе в качестве наполнителя в композиционных древесных пластиках на базе полиэтилена взята система из древесных (березовых) опилок и армирующего элемента — стекловолокна. Стекловолокно было введено в состав композиции с целью повышения механической прочности КДП. Поскольку полиэтилен является неполярным полимером, а наполнители — полярны (древесные березовые опилки являются наполнителем органического происхождения), считаем целесообразным обработать поверхность наполнителей поверхностно-активным веществом, которое должно обеспечить лучшее