

6
A-36

АКАДЕМИЯ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ХИМИИ ДРЕВЕСИНЫ

На правах рукописи

ПОСТНИКОВ Л.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ХИМИЧЕСКИ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОЙ
ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ

05.398 Материаловедение /древесиноведение/

Диссертация написана на русском языке

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Рига 1972

СК
АКАДЕМИЯ НАУК ЛАТВИЙСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ХИМИИ ДРЕВЕСИНЫ

На правах рукописи

ПОСТНИКОВ Л.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХИМИЧЕСКИ
ПЛАСТИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ

05.398 "Материаловедение
(древесиноведение)"

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических
наук

Рига 1972

6
А 36

Работа выполнена в Институте химии древесины
АН Латвийской ССР и на Рижском Ордена Трудового
Красного Знамени вагоностроительном заводе.

Научные руководители: академик АН Латвийской ССР,
профессор, доктор А.И. КАЛПИНЫШ,
кандидат технических наук, ст.
научный сотрудник Г.В. БЕРЗИНЫШ

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В.А. БАЖЕНОВ, кандидат технических
наук, доцент Г.В. ЕВТИХОВ

Ведущая организация – Рижский филиал ВНИИ вагоностроения.

Автореферат разослан " 17 " февраля 1972 г.
Защита диссертации состоится " " марта 1972 г.,
на заседании Ученого Совета Института химии древесины
АН Латвийской ССР, г.Рига, ул.Академияс, 27.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института химии древесины Академии наук Латвийской ССР.

Ученый секретарь Совета,
кандидат химических наук
Г.М.Тельшева

Тельшева

385599

Центральная научная
ВИБЛИОТЕКА

Академии наук Латвийской ССР

В в е д е н и е

Древесина – распространенный конструктивно-технический материал, широко используемый во всех отраслях народного хозяйства, в том числе и в электротехнических устройствах и изделиях в качестве материала электроизоляционного назначения. В Советском Союзе ежегодно заготавливается около 400 млн. м³ древесных материалов. Директивами XXIV съезда и Программой КПСС определено, что одним из важнейших условий построения материально-технической базы коммунизма является широкое применение во всех отраслях народного хозяйства новых материалов, в том числе, полученных в результате комплексного использования древесины.

Среди различных методов облагораживания древесины в последние годы в СССР и за рубежом все шире применяется химическая пластификация древесины. В Латвийской ССР разработан способ, сочетающий предварительную обработку древесины аммиаком, её механическое уплотнение и, при необходимости, термообработку. В результате такой обработки получается качественно новый материал – п л а с т и ф и ц и р о в а н н а я древесина, которая по своим физико-механическим свойствам значительно превосходит натуральную.

Пластифицированная древесина успешно применяется в технике взамен цветных металлов, дорогостоящих твердых пород древесины, текстолита и т.п. Вместе с тем, использование пластифицированной древесины в качестве электроизоляционного материала ограничено из-за недостаточной изученности ее электрических свойств. В этой связи возникла необходимость иссле-

дования электрических свойств пластифицированной древесины, а также определение возможности ее использования в качестве электроизоляционного материала, в частности, для электровагоностроения.

Известно, что древесина представляет собой комплекс естественных полимеров. Основа ее — высокомолекулярная целлюлоза является сложной структурной системой, образующей плотно переплетенную сетку из цепеподобных макромолекул, прослоенную аморфной упруго-вязкой массой гемицеллюлоз и лигнина. Высушенная древесина обладает очень слабой электропроводностью, ее принято считать твердым диэлектриком, содержащим полярные группы. Наличие в ее порах воздуха делает древесину несовершенным изоляционным материалом. Высокое содержание в древесине лиственных пород целлюлозы (46-48%), являющейся гидрофильным коллоидом со множеством капилляров, характеризует древесину, как сложную пространственную систему высокой гигроскопичности, меняющую свойства в зависимости от влажности окружающей среды.

Для оценки электрических свойств древесины важное значение имеет электрическая прочность $E_{пр}$ (кв/мм), которая у натуральной древесины ниже, чем у гетинакса, текстолита и других электроизоляционных материалов. Свойства древесины, как диэлектрика, характеризуют диэлектрическая проницаемость ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$. Электропроводность древесины выражается ее электрическим сопротивлением, показателями которого являются удельное объемное ρ_v (ом.см) и удельное поверхностное ρ_s (ом) сопротивления. С увеличением влажности

древесины до предела гигроскопичности резко снижается электрическая прочность $E_{пр}$ при удельные сопротивления ρ_v и ρ_s ; возрастают диэлектрические потери. Улучшение электроизоляционных свойств цельной древесины достигается ее пропиткой, а также за счет увеличения плотности при прессовании древесины. Так, олифированная древесина березы имеет электрическую прочность 6,7 - 6,8 кв/мм, а прессованная древесина березы плотностью 1000 кг/см³, полученная по методу проф. П.Н.Хухрянского, имеет $E_{пр}$ после пропитки в трансформаторном масле II-12 кв/мм. Указанные технологические приемы только временно снижают влияние атмосферной влаги на свойства древесины. Это обстоятельство, а также отсутствие более надежных способов стабилизации ограничивают применение цельнодревесных материалов в качестве электроизоляционных.

Исследованиями электрических свойств древесины занимались в разные годы в нашей стране Н.В.Александров, В.А.Лаженов, В.А.Виржков, Н.А.Ефремов, М.М.Михайлов, И.А.Мягков, В.М.Спиридонов и др., а за рубежом: В.Верли, В.Джеймс, Ф.Коллман, К.Крэнер, И.Рафальски и др. В результате этих работ получены многочисленные данные об электрических свойствах древесины и материалов на ее основе, их зависимости от плотности и влажности древесины, направления волокон относительно электрического поля, состояния окружающей среды и т.д.

Целью данной работы явится определение важнейших электрических характеристик пластифицированной древесины (на примере древесины березы) в зависимости от параметров электрического поля; установление взаимосвязи между электрическими свойствами и плотностью,

влажностью и направлением волокон; разработка методик для проведения соответствующих исследований; разработка способов стабилизации свойств пластифицированной древесины (в том числе электрических) от воздействия влаги.

Аппаратура и методики исследований

Исследования электрических свойств различных видов цельной древесины проводятся с использованием различных методик и аппаратуры. В части древесины, пластифицированной аммиаком, данные такого рода в литературе отсутствуют. Ввиду того, что натуральная древесина и целнодревесные материалы характеризуются, как твердые диэлектрики, для определения электрических характеристик пластифицированной древесины были приняты за основу требования ГОСТ 6433-65 "Материалы электроизоляционные твердые". Образцы для испытаний изготавливались вдоль и поперек направления волокон и высушивались в соответствии с требованиями ГОСТ II487-65 в термос: те до достижения постоянной массы. При определении электрических параметров пластифицированной древесины были приняты:

- $W_{адс}$ - влажность образцов, высушенных до постоянной массы
- $W_{нг}$ - влажность образцов, принятая соответствующей пределу гигроскопичности (выдержка в атмосфере $\varphi \approx 95-98\%$ при $t = 293 \pm 2^\circ K$ в течение 5 суток, значения $W_{нг}$ приведены в табл. 1)
- $W_в$ - влажность образцов после выдержки в дистиллированной воде в течении 5 суток; $W_в \approx 50 - 65\%$ (для химически пластифицированной древесины)

Водо- и влагопоглощение определялись на основе требований ГОСТ II487-65 "Древесина. Метод определения влагопоглощения" и ГОСТ II488-65 "Древесина. Методы определения водопоглощения, линейного разбухания и его кинетики". После определения плотности и влажности образцы собирались с испытательными электродами и кондиционировались посредством погружения в расплавленный парафин. Поверхностное покрытие парафином сохраняло на период испытаний исходную влажность образца, а при определении электрической прочности предотвращало явление поверхностного перекрытия (пробоя). Выдержанные в воде образцы не кондиционировались.

Электрическая прочность древесины определяется величиной пробивного напряжения $U_{пр}$ (в), относенного к расстоянию между испытательными электродами h мм.

$U_{пр}$ определялось на установке ЛМ-70 при частоте 50 гц переменного тока; размер между электродами h выбирался в зависимости от предполагаемой величины $U_{пр}$ и предельного напряжения установки 50 кв переменного тока. В схему испытательной установки включен самопишущий вольтметр, с помощью которого фиксировались величина и скорость подъема пробивного напряжения. Размеры образцов для определения электрической прочности - 70x50x15 мм. Размещение испытательных электродов на образцах - двухстороннее.

Определение диэлектрических характеристик ϵ и $tg\delta$ производилось при частоте переменного тока 50 гц, а также при высоких частотах от 100 до 5280 кгц. В высокочастотном интервале были приняты частоты,

используемые в промышленных целях и обеспечивающие устранение радиопомех. При частоте 50 гц диэлектрическая проницаемость ϵ и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ определялись с использованием моста Шеринга. При высоких частотах для определения ϵ и $\operatorname{tg}\delta$ пластифицированной древесины использовался измеритель добротности контуров (куметр) типа КВ-1. Опрецеление диэлектрических характеристик с помощью куметра состояло в установлении (по изменению колебательного контура) параметров конденсатора с исследуемым материалом. Для исследования ϵ и $\operatorname{tg}\delta$, исходя из ожидаемой диэлектрической проницаемости $\epsilon = 1,5$ и технологически приемлемой толщины образцов 2 мм, были определены размеры образцов 100x100x2 мм. Обеспечение надежного контакта между пластинами измерительного конденсатора и электродами из алюминиевой фольги толщиной 0,02 мм, притертых к образцам на конденсаторном вазелине, достигалось за счет специального приспособления, обеспечивающего регулировку расстояния между пластинами и поджатие их к образцу.

При определении удельных сопротивлений пластифицированной древесины в качестве источника тока использовался преобразователь переменного тока в постоянный со стабилизацией выходного напряжения. Размеры образцов 100x100x2 мм.

При исследовании электрических свойств пластифицированной древесины необходимое число образцов на каждый вид испытаний (дифференцировано по плотности, влажности, направлению волокон и материалу модификации) устанавливалось, исходя из заданной величины показателя точности (5%), соответствующей вероятности результата 90-95%.

Для сопоставления электрических параметров пластифицированной древесины, производилось также испытание образцов натуральной березы, плотностью 640 кг/м³ (определялась электрическая прочность, диэлектрические потери и электропроводность), и древесины березы, обработанной аммиаком без уплотнения, плотностью 690 кг/м³ (определялась электрическая прочность).

Полученные в процессе эксперимента данные обрабатывались методом математической статистики с использованием электронно-вычислительной машины БСМ-4.

Электрические свойства пластифицированной древесины

Электрические свойства древесины, как и других материалов, сорбирующих влагу, зависят от содержания последней в образцах.

В эксплуатационных условиях влажность древесины зависит от относительной влажности воздуха, которая является постоянно изменяющимся фактором. Так, при относительной влажности воздуха φ равной 60 и 80% равновесная влажность образцов натуральной древесины березы составляет соответственно 12 и 16,6%, а пластифицированной древесины плотностью 1020 кг/м³ - 10,5 и 14,8%. Влажность, принятая соответствующей пределу гигроскопичности у пластифицированной древесины ниже, чем у натуральной, (табл. 1).

Таблица 1

Влажность пластифицированной и модифицированной древесины березы, соответствующая пределу гигроscopicности ($W_{пг}$)

Материал	$W_{пг}$ в % при плотности ρ , кг/м ³				
	750	1020	1200	1310	640 ^{x)}
Пластифицированная древесина	27,0	25,7	23,0	21,1	28,7
Модифицированная древесина:					
лак КО-815	13,6	12,5	10,4	9,7	14,0
КРЖ № 5	14,1	13,2	12,1	11,0	14,9

x) Натуральная древесина березы.

Водопоглощение пластифицированной древесины ниже, чем у натуральной древесины березы и, в отличие от влагопоглощения, характеризуется более активным ростом в начальный период испытаний.

Электрическая прочность в зависимости от плотности, направления волокон и влажности приведена в табл. 2.

Таблица 2

Электрическая прочность пластифицированной древесины

Влажность	Плотность кг/м ³	$E_{пр}$, кв/мм при ориентации	
		Вдоль волокон	Поперек волокон
$W_{абс}$	750	2,47	4,45
	1020	2,78	5,42
	1200	2,94	6,27
	640 ^{x)}	2,00	3,35
$W_{пг}$	750	0,98	1,70
	1020	1,11	2,49
	1200	1,18	2,93
	640 ^{x)}	0,77	1,13
W_B	1200	0,35	1,12

x) Натуральная древесина березы.

Электрическая прочность пластифицированной древесины, высушенной до влажности $W_{адс}$ поперек волокон почти вдвое превосходит $E_{пр}$ вдоль волокон во всем диапазоне исследованных плотностей. Химическая пластификация без последующего уплотнения изменяет электрическую прочность натуральной древесины незначительно. С увеличением плотности $E_{пр}$ пластифицированной древесины возрастает, что особенно заметно в диапазоне 750-1100 кг/м³. С увеличением влажности пластифицированной (также как и натуральной) древесины ее электрическая прочность заметно снижается. $E_{пр}$ образцов, влажностью $W_{пг}$ уменьшается вдоль направления волокон почти втрое и поперек - более, чем в два раза, по сравнению с электрической прочностью образцов влажностью $W_{адс}$. $E_{пр}$ после выдержки образцов в воде падает еще более резко и составляет около 15% значения электрической прочности древесины соответствующей плотности при влажности близкой 0%.

Диэлектрические свойства пластифицированной древесины были исследованы при частоте переменного тока 50 гц и в диапазоне высоких частот от 100 до 5280 кци. Установленные значения ϵ и $tg\delta$ для пластифицированной древесины плотностью 750, 1020 и 1200 кг/м³ при частоте 50 гц, влажности $W_{адс}$; $W_{пг}$ и ориентации электрического поля вдоль и поперек направления волокон приведены в табл.3.

Таблица 3

Диэлектрическая проницаемость ϵ и тангенс угла потерь $tg\delta$ пластифицированной древесины при частоте 50 гц переменного тока

Влажность	Плотность γ , кг/м ³	ϵ при ориентации волокон		$tg\delta \times 10^{-4}$ при ориентации волокон	
		вдоль	поперек	вдоль	поперек
$W_{адс}$	750	3,88	2,59	785	7,4
	1020	4,92	4,86	912	829
	1200	6,09	5,75	1110	948
	640 ^{x)}	3,10	1,97	658	557
$W_{пг}$	750	7,93	7,08	1075	1220
	1020	8,22	8,02	1225	1425
	1200	8,87	8,47	1275	1305
	640 ^{x)}	7,50	7,11	1346	1290

x) Натуральная древесина березы

Диэлектрическая проницаемость ϵ образцов пластифицированной древесины влажностью $W_{адс}$ при частоте 50 гц с увеличением плотности возрастает. ϵ образцов, ориентированных в электрическом поле вдоль направления волокон выше, чем ориентированных в поперечном направлении. При влажности $W_{адс}$ во всех случаях ϵ пластифицированной древесины березы выше чем у натуральной. Изменение $tg\delta$ образцов, высушенных до постоянной массы, имеет аналогичный характер.

С увеличением влажности образцов пластифицированной древесины от $W_{адс}$ до $W_{пг}$, ϵ и $tg \delta$ заметно возрастают. Так, ϵ пластифицированной древесины вдоль волокон увеличивается в 1,5 - 2 раза, а натуральной - почти в 2,5 раза. С увеличением влажности до предела гигроскопичности значения ϵ пластифицированной древесины в зависимости от плотности выравниваются. Изменение $tg \delta$ с увеличением влажности протекает более сложно. Его значения для пластифицированной древесины при изменении влажности от $W_{адс}$ до $W_{пг}$ возрастают на 15-70%, тогда как у натуральной древесины величина $tg \delta$ возрастает в 2 - 2,3 раза, что связано с меньшей плотностью и большей гигроскопичностью натуральной березы, по сравнению с пластифицированной.

На высоких частотах диэлектрические характеристики пластифицированной древесины определялись в зависимости от частоты переменного тока и ориентации электрического поля относительно направления волокон от плотности древесины и от влажности образцов ($W_{адс}$ и $W_{пг}$).

При влажности образцов близкой 0% ($W_{адс}$) изменение диэлектрической проницаемости ϵ образцов пластифицированной древесины аналогично изменению ϵ при частоте 50 гц. С увеличением плотности диэлектрическая проницаемость вдоль и поперек волокон возрастает на всех исследованных частотах; диэлектрическая проницаемость вдоль направления волокон, как правило, выше, чем поперек направления волокон $\epsilon_{||} > \epsilon_{\perp}$.

Диэлектрическая проницаемость ϵ образцов пластифицированной древесины при $W_{адс}$ имеет в исследованном диапазоне частот максимум при 100 кГц. В диапазоне

высокочастотного спектра 450 - 5280 кГц ϵ независимо от ориентации электрического поля и плотности пластифицированной древесины, имеет меньшие значения, чем при частоте 50 гц, причем с увеличением частоты она проявляет тенденцию к снижению.

В табл. 4 приведены данные о величине ϵ при $W_{адс}$ в поле высокой частоты при ориентации электрического поля поперек волокон.

Таблица 4
Диэлектрическая проницаемость пластифицированной древесины в высокочастотном поле при ориентации поперек волокон ($W_{адс}$)

Плотность ρ , кг/м ³	ϵ при частоте тока f , кГц			
	100	450	1760	2500
750	3,19	2,04	2,10	2,02
1020	5,47	2,30	2,24	2,04
1200	6,52	3,48	3,19	2,90
640 ^{x)}	2,10	3,09	2,48	2,37
1200 ^{xx)}	6,95	3,90	3,70	3,65

x) Натуральная древесина березы

xx) При влажности $W_{пг}$

При повышении влажности образцов пластифицированной древесины значения диэлектрической проницаемости ниже, чем при частоте 50 гц.

Значения диэлектрической проницаемости при $W_{пл}$ выше значений ϵ при $W_{абс}$.

Изменение величины тангенса угла диэлектрических потерь пластифицированной древесины при $W_{абс}$ происходит с заметным приростом при увеличении частоты: для образцов плотностью 750 кг/м^3 при частоте 450 и 5280 кгц $\text{tg}\delta$ составляет $339 \cdot 10^{-4}$ и $510 \cdot 10^{-4}$, а при плотности 1020 кг/м^3 соответственно $351 \cdot 10^{-4}$ и $515 \cdot 10^{-4}$. С увеличением влажности пластифицированной древесины максимальные значения $\text{tg}\delta$ смещаются в высокочастотную часть спектра, обнаруживая с увеличением плотности снижение значений $\text{tg}\delta$. При влажности материала $W_{пл}$ максимальные значения $\text{tg}\delta$ получены при частоте 450 кгц и составляют для образцов плотностью 750 и 1020 кг/м^3 соответственно $927 \cdot 10^{-4}$ и $592 \cdot 10^{-4}$. При ориентации высокочастотного электрического поля вдоль направления волокон, значения тангенса угла диэлектрических потерь, как правило, выше, чем в поперечном направлении на 19-21% при влажности $W_{абс}$ и на 20-25% при влажности $W_{пл}$.

При определении удельных объемного ρ_v и поверхностного ρ_s сопротивлений установлено, что по сравнению с натуральной древесиной березы указанные показатели у пластифицированной древесины плотностью 1200 кг/м^3 при влажности близкой 0% выше в 10-20 раз, а при влажности $W_{пл}$ - в 60 - 70 раз.

Пластифицированная древесина березы при влажности $W_{абс}$ имеет повышенные, по сравнению с натуральной,

электрические свойства. С увеличением влажности эти свойства заметно ухудшаются: снижаются электрическая прочность и удельные сопротивления, возрастают диэлектрические потери. В этой связи возможность использования пластифицированной древесины ограничивается достаточно низкими величинами напряжения (до 1000 в).

Электрические свойства модифицированной древесины

Значительное расширение области применения пластифицированной древесины в качестве электроизоляционного материала достигается за счет ее обработки кремнийорганическими соединениями. Выбор последних для обработки химически пластифицированной древесины основан на использовании высоких электрических показателей ($E_{пр} = 14-16 \text{ кв/мм}$, $\epsilon = 2,64-2,76$, $\rho_v = 10^{15} \text{ ом.см}$) и гидрофобности кремнийорганических соединений. В работе исследовалась модификация пластифицированной древесины полиэтилсилоксановой жидкостью КрЖ № 5 ТУ МХП 2416-54 и электроизоляционным кремнийорганическим лаком КО-815 ГОСТ 11066-64.

Силонопоглощение образцов пластифицированной древесины березы плотностью $1100-1300 \text{ кг/м}^3$ составляет для КрЖ № 5 от 5,4 до 2,3%, а лака КО-815 от 7,2 до 2,5%, и зависит от плотности древесины и от температуры пропитки. Наиболее эффективной температурой для материала плотностью $1100-1300 \text{ кг/м}^3$ является $t = -378 - 393^\circ\text{K}$ при продолжительности пропитки двое суток.

385599

В результате обработки химически пластифицированной древесины кремнийорганическими соединениями получен материал с повышенными электроизоляционными свойствами - модифицированная древесина.

Указанное выше содержание кремнийорганических соединений в модифицированной древесине заметно снижает ее водо- и влагопоглощение по сравнению с пластифицированной. Так, обработка КрЖ № 5 и КО-815 образцов плотностью 1200 кг/м³ соответственно снижает их влагопоглощение в 1,9 и 2,2 раза (табл.1), а водопоглощение в 3,3 и 2,8 раза. Электрическая прочность модифицированной древесины выше, чем пластифицированных образцов аналогичной плотности.

Электрическая прочность модифицированной КО-815 древесины при плотности 1200 кг/м³ и влажности $W_{адс}$ составляет вдоль направления волокон $E_{пр||} = 6,40$ кв/мм, а поперек - $E_{пр\perp} = 12,0$ кв/мм. Кривые зависимости $E_{пр} = \Phi(\gamma)$ пластифицированной и модифицированной древесины при влажности $W_{адс}$ и $W_{пг}$ приведены на рис.1. Различия электрической прочности вдоль и поперек направления волокон при $W_{адс}$ можно объяснить тем, что несмотря на уплотнение сосудов и уменьшение площади их поперечного сечения, в них находится воздух, который является своеобразным "токопроводящим мостиком" в окружающей древесной массе, вследствие чего происходит снижение $E_{пр||}$. Одновременно с этим, увеличение содержания древесинного вещества в единице объема и отсутствие подобных "мостиков" поперек волокон приводит к заметному росту $E_{пр\perp}$.

Воздействие влаги приводит к снижению электрической прочности пластифицированной и модифицированной древесины независимо от направления вектора тока, что видно из сравнения кривых 1-3; 2-4; 5-7 и 6-8 рис.1. Следует отметить, что модифицированная древесина при влажности $W_{пг}$ сохраняет достаточно высокие значения электрической прочности: при $\gamma = (750-1310)$ кг/м³ $E_{пр||} = (2,7-4,25)$ кв/мм, $E_{пр\perp} = (6,0-8,6)$ кв/мм.

Воздействие свободной влаги вызывает еще более резкое снижение электрической прочности. У модифицированной древесины влажностью $W_{в}$ электрическая прочность $E_{пр||} = 1-2$ кв/мм и $E_{пр\perp} = 1,8-3,9$ кв/мм в диапазоне плотностей $\gamma = 750-1310$ кг/м³. Это явление, очевидно, связано с заполнением полостей сосудов слабым электролитом, что и приводит к снижению $E_{пр}$ особенно вдоль направления волокон.

Для расчета электрической прочности пластифицированной и модифицированной древесины различной плотности, влажности $W_{адс}$ и $W_{пг}$, материала модификации и ориентации волокон относительно электрического поля предложено уравнение:

$$E_{пр} = a \cdot \gamma^2 \cdot 10^{-6} + b \cdot \gamma \cdot 10^{-3} + c$$

где: γ - плотность древесины, кг/м³
 a, b, c - расчетные коэффициенты.

Значения коэффициентов a, b и c приведены в табл.5.

Таблица 5

Расчетные коэффициенты для определения электрической прочности пластифицированной и модифицированной древесины березы

Материал	Влажность	Направление волокон	a	b	c
Пластифицированная древесина	W _{адс}	вдоль	-0,685	2,36	1,08
		поперек	2,58	-0,99	3,74
	W _{пг}	вдоль	-0,195	0,83	-0,463
		поперек	-1,06	4,80	-1,31
Модифицированная древесина (КО-815)	W _{адс}	вдоль	1,85	-7,83	4,67
		поперек	5,64	-4,72	9,58
	W _{пг}	вдоль	-0,429	1,43	1,64
		поперек	5,21	-6,54	8,31

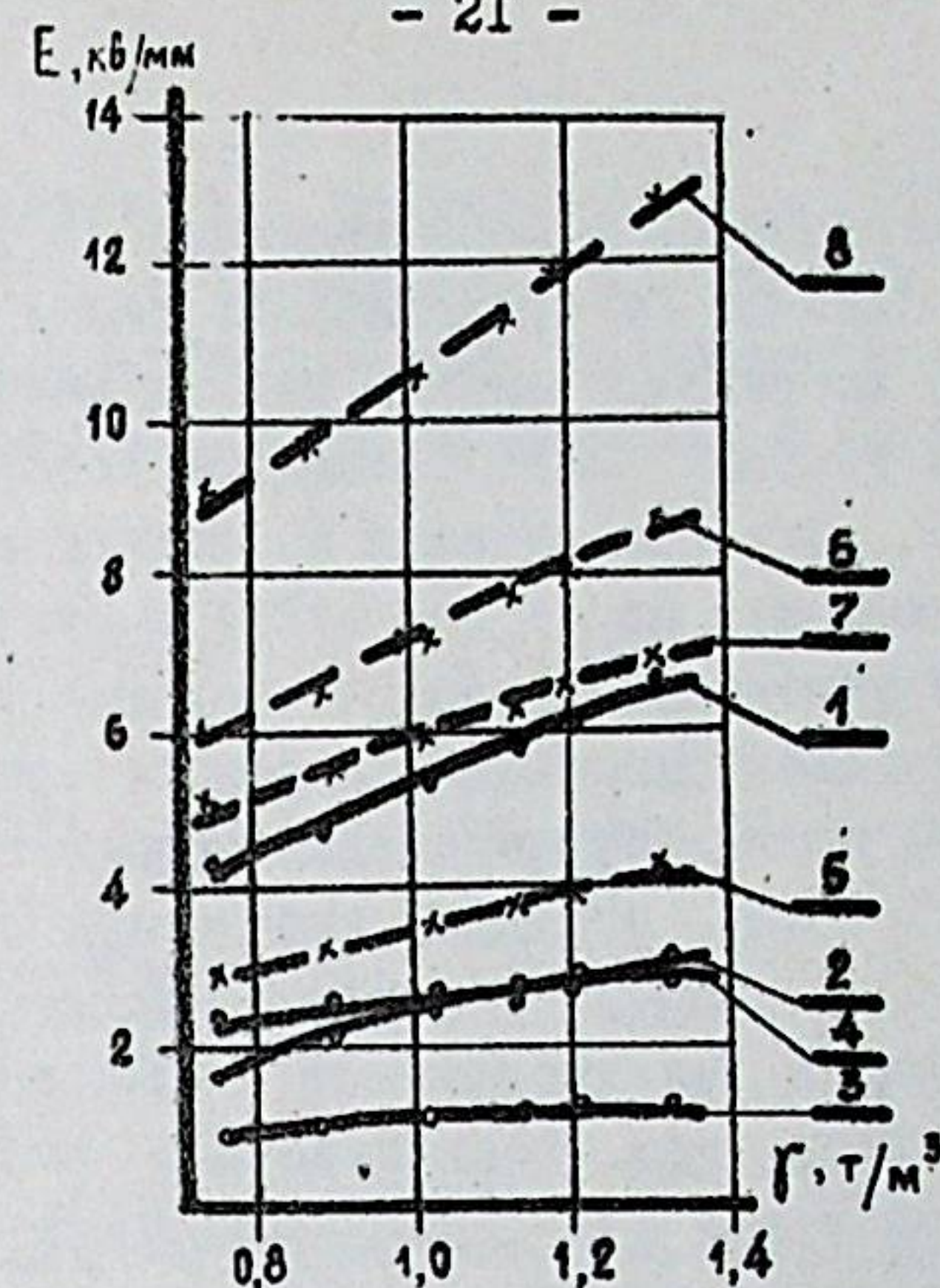


Рис. 1. Кривые зависимости электрической прочности от плотности пластифицированной и модифицированной древесины

пластифицированная древесина:

- 1 - поперек волокон, влажность W_{адс}
- 2 - вдоль " " " W_{пг}
- 3 - вдоль " " " "
- 4 - поперек " " " "

модифицированная древесина (лак КО-815)

- 5 - вдоль волокон, влажность W_{пг}
- 6 - поперек " " " "
- 7 - вдоль " " " W_{адс}
- 8 - поперек " " " "

Пластифицированная и модифицированная древесина при влажности близкой 0% представляет собой изоляционный материал с достаточно низкой электрической проницаемостью. В твердых диэлектриках, к которым относится древесина, поворот молекул в электрическом поле переменного тока, как это имеет место в газах или жидкостях, обычно невозможен, однако входящие в структуру древесины отдельные дипольные группы атомов могут ориентироваться полем без нарушения связи с молекулами, без отрыва от них, проявляя закономерности дипольной поляризации. На рис.2 приведена теоретическая кривая (4) зависимости электрической проницаемости от частоты переменного тока электрического поля $\epsilon = \Phi(f)$, характерная для дипольно-релаксационной поляризации диэлектрика и кривые 1-3 электрической проницаемости пластифицированной и модифицированной древесины.

Из рис.2 видно, что кривые 1-3 подобны теоретической кривой 4. В большинстве случаев пластифицированная древесина, высушенная до постоянной массы, имеет при частоте 100 кгц максимальные значения электрической проницаемости. С увеличением частоты до 450 кгц электрическая проницаемость падает, а в диапазоне частот 450-5280 кгц практически остается неизменной.

Сравнительно со значениями электрической проницаемости натуральных пород древесины (по данным В.А.Бирюкова, И.Я.Мягкова, К.Крэнера), максимальные значения ϵ пластифицированной и модифицированной древесины получены при сравнительно низких частотах: 100 - 450 кгц, т.е. сдвинуты в нижнюю часть спектра

частот. Значения ϵ , полученные в диапазоне 450-5280 кгц, удовлетворительно совпадают с данными Ю.Рафальски для прессованной древесины в части уменьшения электрической проницаемости с ростом частоты.

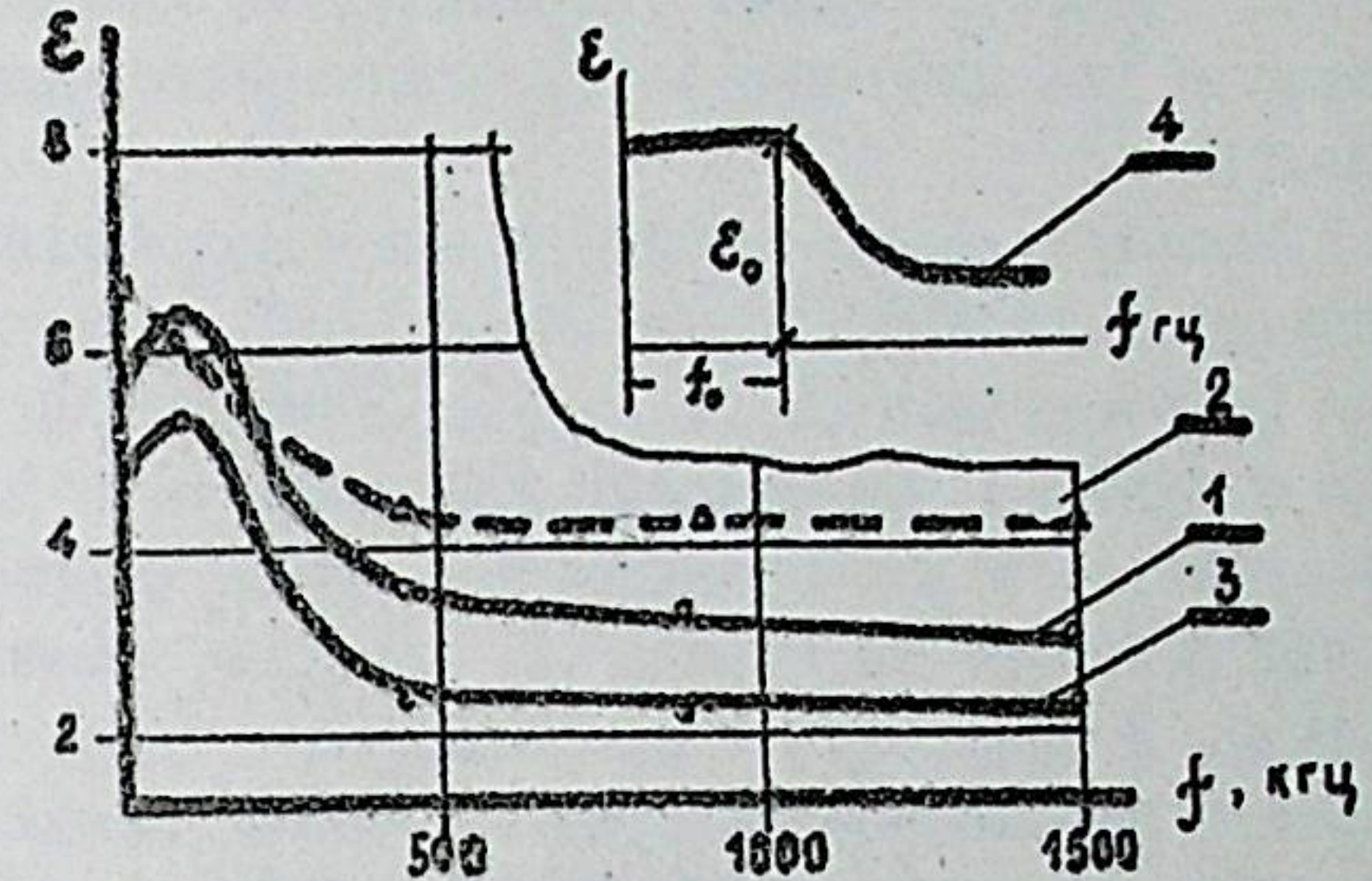


Рис.2. Кривые зависимости электрической проницаемости пластифицированной и модифицированной древесины от частоты переменного тока электрического поля при влажности $W_{абс}$:
 пластифицированная древесина
 1 - плотность 1200 кг/м³, вдоль волокон;
 3 - " 1020 " " "
 модифицированная древесина
 2 - плотность 1200 кг/м³, поперек волокон;
 4 - теоретическая кривая.

Тангенс угла электрических потерь пластифицированной и модифицированной древесины, как функция частоты переменного тока электрического поля, приведен на рис.3, из которого заметна значительная чувствительность $tg\delta$ к изменению частоты. Исследования

показали, что при влажности образцов $W_{адс}$ и $W_{нг}$ $tg\delta$ пластифицированной и модифицированной древесины в большинстве случаев имеет минимальные значения при частоте 450 кгц, а максимальные - при 880 кгц. Кривые 2-5 рис.3. подобны теоретической кривой I, характерной для дипольно-релаксационной поляризации диэлектрика.

Диэлектрические свойства пластифицированной и модифицированной древесины березы при влажности около 0% обнаруживают, в большинстве случаев, стремление к росту с увеличением плотности при частоте 50 гц (рис.4) и высокочастотной части спектра. Влияние плотности на изменение ϵ и $tg\delta$ менее заметно при $W_{нг}$. В этом случае преобладающее воздействие оказывает повышенное содержание влаги. Увеличение влажности образцов от $W_{адс}$ до $W_{нг}$ при частоте переменного тока 50 гц и на высоких частотах, как правило, ведет к заметному росту величин диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь (рис.5).

При проведении опытно-промышленных испытаний пластифицированной древесины в качестве электроизоляционного материала была изготовлена опытная партия трамваев РВЗ-6, на которых были установлены детали из указанной древесины. Каждый из 20 трамвайных вагонов периодически освидетельствовался в депо эксплуатации. Детали показали устойчивую работу в условиях повышенной атмосферной влажности в течение 2 лет и продолжают эксплуатироваться без замены.

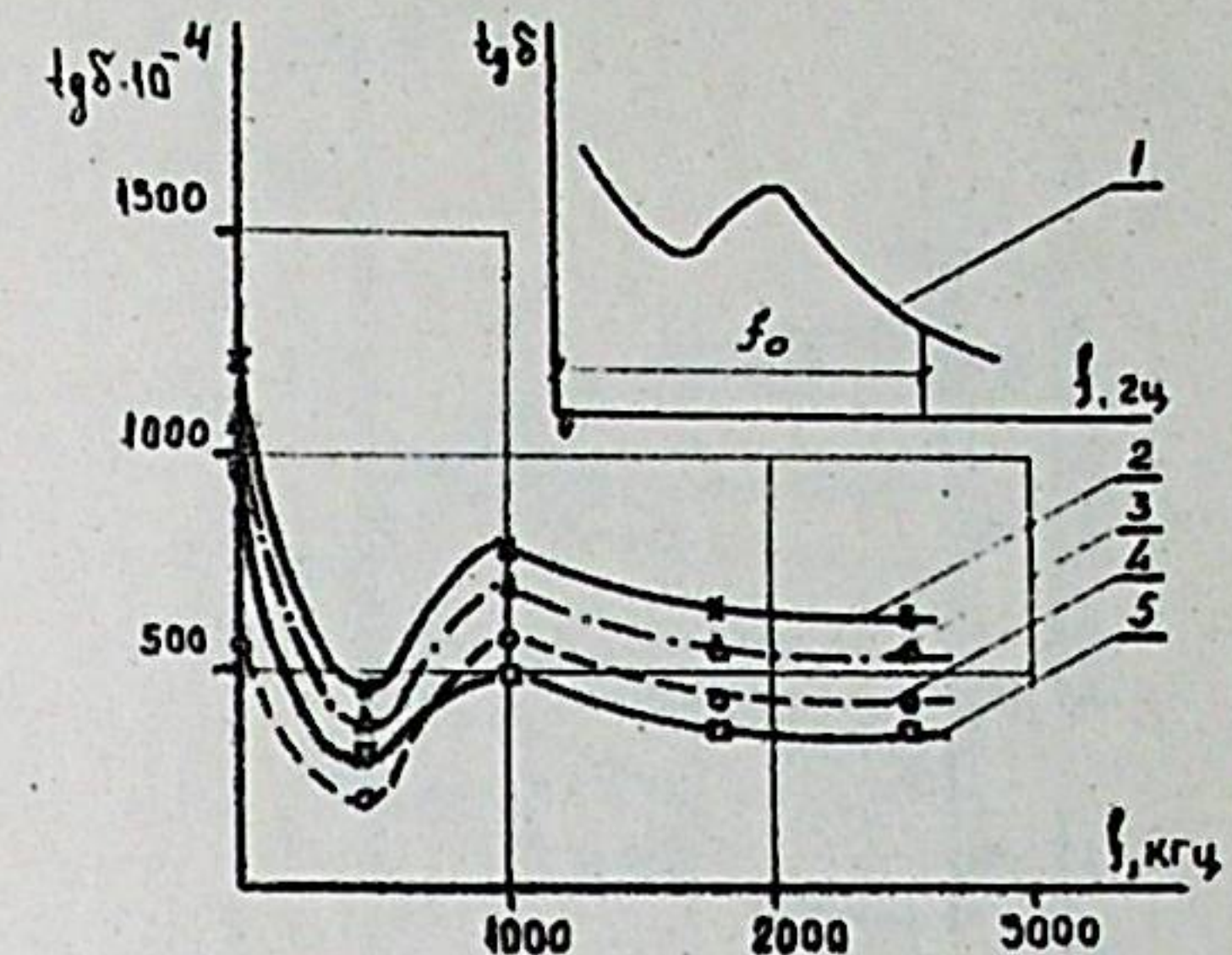


Рис.3. Кривые зависимости тангенса угла диэлектрических потерь пластифицированной и модифицированной древесины от частоты переменного тока электрического поля

I - теоретическая кривая;

4 - натуральная древесина березы, плотность 640 кг/м³, влажность ≈ 0%;

модифицированная древесина

2 - плотность 1200 кг/м³, влажность 10,4%;

5 - плотность 1200 кг/м³, влажность ≈ 0%;

пластифицированная древесина

3 - плотность 890 кг/м³, влажность 26,3%.

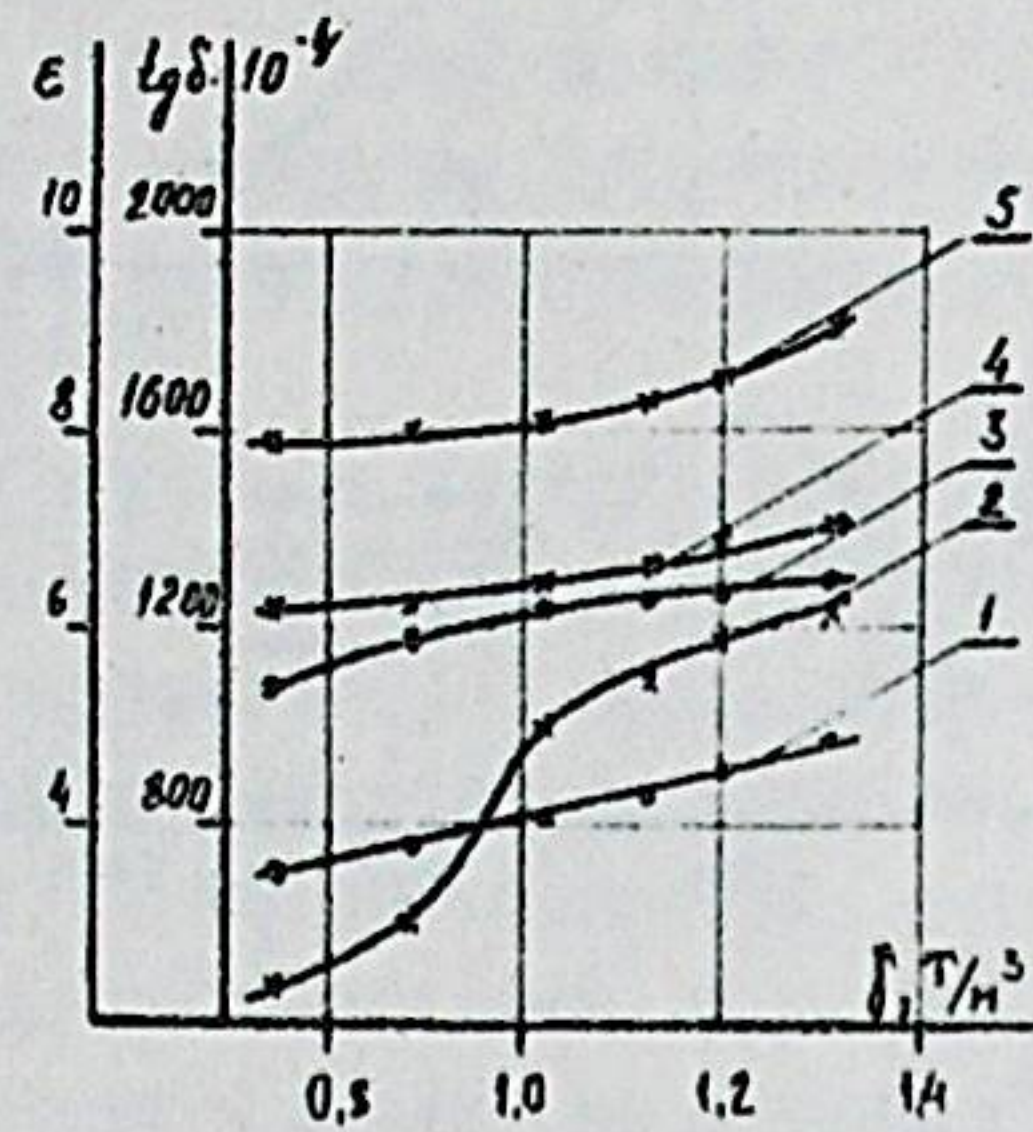


Рис.4. Кривые зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь пластифицированной и модифицированной древесины от плотности при частоте 50 гц:

- пластифицированная древесина
- 1 - $tg\delta$ поперек волокон, $Wадс$
 - 2 - ϵ вдоль " "
 - 3 - $tg\delta$ поперек " $Wпр$
 - 5 - ϵ вдоль " "
- модифицированная древесина
- 4 - ϵ вдоль волокон, $Wадс$

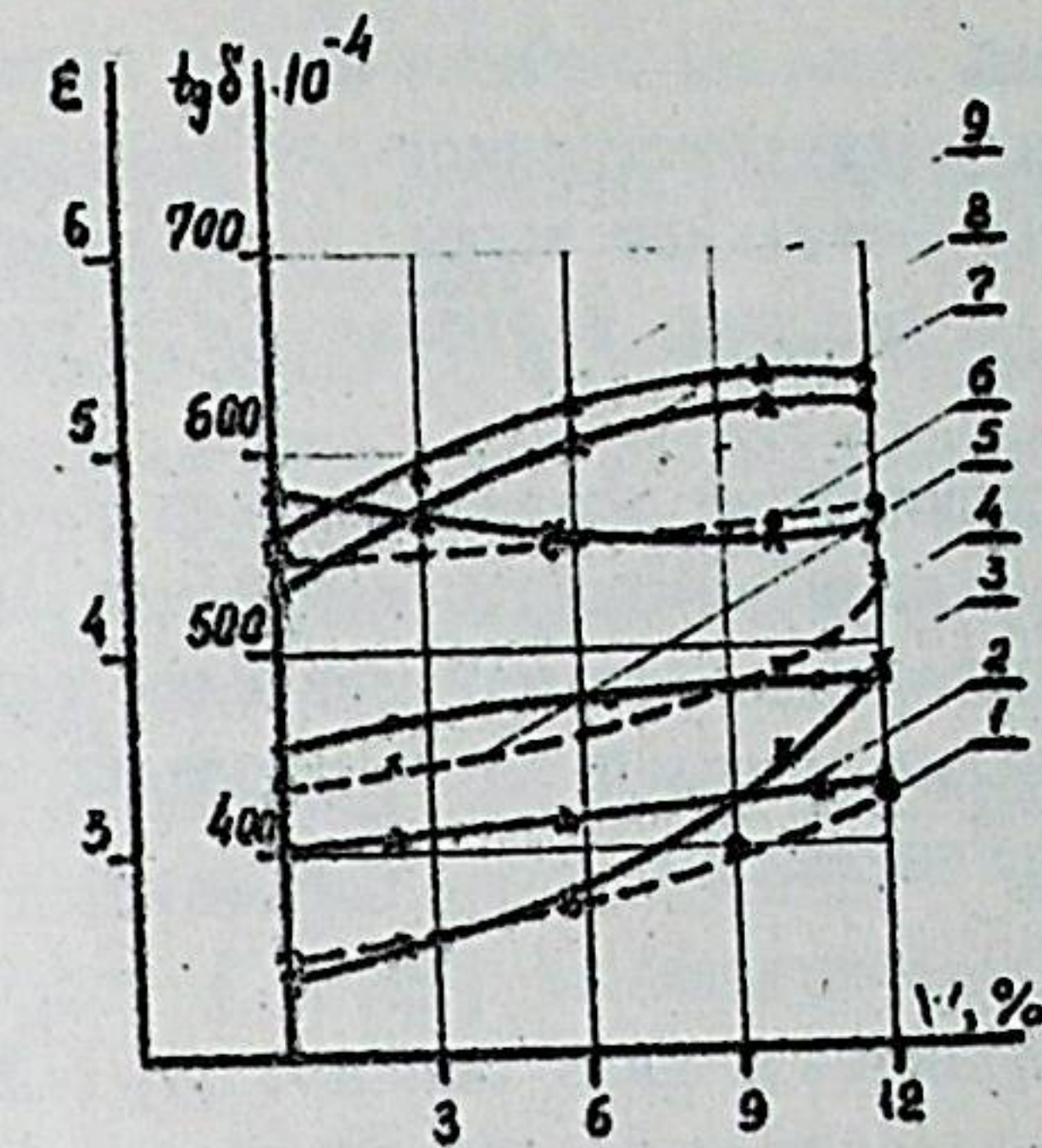


Рис.5. Кривые зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь пластифицированной и модифицированной древесины от влажности на высоких частотах:

- 1 - ϵ вдоль волокон, $f = 1000$ кГц (бук, по К.Крэнеру);
 - 6 - $tg\delta$ " " " "
- пластифицированная древесина
- 2 - ϵ вдоль волокон, $f = 2500$ кГц, плотность 1200 кг/м³;
 - 3 - ϵ поперек " $f = 450$ кГц, плотность 1200 кг/м³;
 - 4 - $tg\delta$ " " " "
 - 8 - $tg\delta$ вдоль " $f = 2500$ кГц, плотность 750 кг/м³;
- модифицированная древесина
- 5 - ϵ вдоль волокон, $f = 2500$ кГц, плотность 1310 кг/м³;
 - 7 - ϵ поперек " $f = 450$ кГц, плотность 1200 кг/м³;
 - 9 - $tg\delta$ " " $f = 2500$ кГц, плотность 750 кг/м³;

Условный годовой экономический эффект при введении нового электроизоляционного материала на Рижском вагоностроительном заводе составляет 33 тыс.руб., в том числе 9 тыс.руб. в производстве трамвайных вагонов.

Модифицированная древесина была также использована СКБ химизации народного хозяйства Латвийской ССР в качестве материала для изготовления технологических форм вспенивания деталей из пенополистирола в поле токов высокой частоты.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Электрические свойства пластифицированной древесины березы лучше, чем у натуральной, и зависят от плотности и влажности материала, параметров электрического поля и его ориентации относительно направления волокон.

2. С увеличением плотности пластифицированной древесины в диапазоне 750-1310 кг/м³ ее электрическая прочность ($E_{пр}$), диэлектрическая проницаемость (ϵ), тангенс угла диэлектрических потерь ($tg\delta$), а также удельные сопротивления (ρ_v и ρ_s) возрастают. Так, у высушенных до постоянной массы образцы ($W_{адс}$ около 0%) $E_{пр\perp}$ изменяется от 4,5 до 6,9 кв/мм; $tg\delta_1$ при частоте 50 гц изменяется от 0,071-0,098, а ϵ_1 - от 2,6 - 6,2.

3. С увеличением влажности пластифицированной древесины от $W_{адс}$ до предела гигроскопичности $W_{нг}$ ее электрическая прочность снижается более, чем вдвое поперек направления волокон и почти в три раза вдоль направления волокон; диэлектрические потери и электропроводность возрастают. Так, для образцов плотностью 1200 кг/м³ и влажностью $W_{адс}$ и $W_{нг}$ соответственно $E_{пр\perp}$ составляет 6,3 и 2,9 кв/мм; $tg\delta_1$ при частоте 50 гц равен 0,095 и 0,13; а ϵ_1 - 6,1 и 8,5.

4. Частота электрического поля переменного тока оказывает заметное влияние на диэлектрические свойства

пластифицированной древесины. Так, у образцов плотностью 1200 кг/м^3 , высушенных до постоянного веса при частотах 450 и 2500 кГц диэлектрическая проницаемость ϵ_{\perp} составляет соответственно 3,5 и 2,9 $\text{tg} \delta_{\perp}$ в этих же условиях соответственно равен 0,034 и 0,046.

5. Характер изменения диэлектрических свойств пластифицированной древесины в электрическом поле высокой частоты (100-5280 кГц), особенно при увеличении влажности, сходен с поведением диэлектриков, проявляющих дипольно-релаксационную поляризацию.

6. Пластифицированная древесина березы обладает анизотропией электрических свойств, относительно главных структурных направлений. С увеличением плотности и влажности материала значения электрических свойств относительно направления волокон изменяются неравномерно; при этом анизотропия электрических свойств может быть выражена следующими соотношениями:

$$E_{\text{пр}\perp} > E_{\text{пр}\parallel}; \epsilon_{\parallel} > \epsilon_{\perp}; \text{tg} \delta_{\parallel} > \text{tg} \delta_{\perp}$$

7. Разработанный способ модификации пластифицированной древесины березы кремнийорганическими соединениями повышает ее электрические свойства до величин, сопоставимых со значениями электроизоляционных материалов (гетинакс, ДСП, текстолит и др.). Так, электрическая прочность древесины березы плотностью $1200 - 1310 \text{ кг/м}^3$ и влажностью около 0%, модифицированной КО-815, составляет 12-13 кв/мм.

8. Модификация пластифицированной древесины березы кремнийорганическими соединениями существенно замедляет ее влаго- и водопоглощение. Так, влагопоглощение модифицированной КО-815 и пластифицированной древесины при плотности 1200 кг/м^3 соответственно составляет: 10,4 и 23,0%.

9. Изменение электрических свойств модифицированной древесины березы в зависимости от плотности и влажности материала, параметров электрического поля и его ориентации относительно направления волокон соответствует характеру проявления этих свойств, установленных для пластифицированной древесины.

10. Значения электрической прочности пластифицированной и модифицированной древесины березы в зависимости от состояния материала и его ориентации в электрическом поле могут быть определены следующим уравнением:

$$E_{\text{пр}} = a \cdot \gamma^2 \cdot 10^{-6} + b \cdot \gamma \cdot 10^{-3} + c$$

11. Пластифицированная и модифицированная древесина березы плотностью 1000 кг/м^3 и выше может быть рекомендована для использования в качестве электроизоляционного материала в условиях атмосферной влажности и напряженности электрического поля промышленной частоты соответственно до 1 и 3 кв.

12. Подсчеты показывают экономическую целесообразность использования пластифицированной и модифицированной древесины березы для изготовления деталей электроизоляционного назначения в вагоностроении.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Постников Л.Л., Журовский В.Ф. О перспективах применения пластифицированной древесины в вагоностроении. Сб. Проектирование и производство машин. Изд. "Звайгзне", Рига, 1965, стр.316-321.
2. Постников Л.Л., Берзиньш Г.В. К расчету диэлектрической проницаемости древесины. Сб. Вопросы транспортного и общего машиностроения, т.1, Изд. "Звайгзне", Рига, 1968, стр.166-169.
3. Постников Л.Л. Предварительные результаты испытаний химически пластифицированной древесины на электрическую прочность. Сб. Вопросы транспортного и общего машиностроения, т.1, Изд. "Звайгзне", Рига, 1968, стр.113-122.
4. Берзиньш Г.В., Постников Л.Л., Яссон Ю.Б. Исследование электрической прочности химически пластифицированной древесины березы. Сб. Облагораживание древесины. Изд. "Зинатне", Рига, 1971, стр.105-110.
5. Постников Л.Л., Яссон Ю.Б. Применение полимерных материалов в вагоностроении. Уч. пособие, и-т повышения квалификации Латв.ССР, Рига, 1971, стр.117-122.
6. Калниньш А.И., Постников Л.Л., Берзиньш Г.В. и др. Способ обработки заготовок из химически пластифицированной древесины. Авт. свидетельство № 256204 с приоритетом от 6 июня 1966.

Основные положения диссертации доложены на следующих конференциях и совещаниях:

1. Всесоюзное научно-техническое совещание НТО желдортранспорта: "Уплотненная пластифицированная древесина в вагоностроении", Рига, 1965, (тезисы докладов: Москва, 1965).
2. XXIV Научно-практическая конференция Латвийской с.-х. академии: "Электрические свойства обработанной аммиаком пластифицированной древесины березы", Елгава, 1971.
3. Всесоюзная конференция по современным проблемам древесиноведения: "Электрические свойства химически пластифицированной древесины березы, обработанной кремнийорганическими соединениями", Минск, 1971.