

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИГНОУГЛЕВОДНОГО КОМПЛЕКСА ДРЕВЕСИННОГО ВЕЩЕСТВА

Б.М. Рыбин<sup>1</sup>, И.А. Завражнова<sup>1</sup>, Д.Б. Рыбин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

<sup>2</sup>ООО «Тимберланд», 141865, Московская обл., Дмитровский р-н, рабочий поселок Некрасовский, Северная ул., д. 10

rybin@mgul.ac.ru

Древесина — один из самых распространенных материалов, применяемых в промышленности и в быту. И в настоящее время древесина и материалы, полученные на ее основе, не утрачивают своего значения. При многочисленных положительных качествах древесные материалы обладают и некоторыми недостатками. Поэтому для прогнозирования свойств, при ручной обработке древесины и древесных материалов требуется знание физических и химических показателей, отражающих эти свойства. Ученые и практики во всем мире совершенствуют старые и разрабатывают новые методы изучения свойств как древесины различных пород, так и материалов, полученных на ее основе. Попытки прогнозировать свойства получаемых древесных продуктов приводят к необходимости исследовать древесинное вещество как химическую основу древесины. Указанные в литературных источниках значения различных физических показателей древесных пород только приближаются к истинным значениям физических показателей древесинного вещества. Предложена методика определения физических показателей древесинного вещества для изучения полимера растительного происхождения, являющегося основой древесины хвойных и лиственных пород. Входящие в состав древесины углерод, водород и кислород образуют сложные органические вещества: целлюлозу, гемицеллюлозы и лигнин. Каждое из этих веществ, представляет собой полимер, следовательно, древесинное вещество также является полимером естественного происхождения. Для его изучения можно применить принцип аддитивности, который позволяет установить наличие взаимосвязи между химическим строением и физическими характеристиками полимерных веществ. Используемая в исследованиях методика позволяет на первоначальном этапе определиться в химическом строении структурных звеньев целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. Затем, зная содержание перечисленных компонентов в древесинном веществе, а также их степень полимеризации и суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивные местные функции, можно рассчитать физические показатели: плотность, показатель преломления, поверхностное натяжение, когезию и относительную диэлектрическую проницаемость. Полученные значения перечисленных физических показателей хорошо согласуются с данными литературных источников. В большинстве случаев отклонения рассчитанных значений от приведенных в литературных источниках составляет не более 5...6%. Результаты полученных значений физических показателей отражают свойства древесинного вещества как химической основы древесины хвойных и лиственных пород. Значения физических показателей могут быть приняты за основу и рекомендованы для использования в фундаментальных исследованиях древесинного вещества как полимера природного происхождения.

**Ключевые слова:** физические показатели древесинного вещества

**Ссылка для цитирования:** Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. Определение физических показателей лигноуглеводного комплекса древесинного вещества // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-94-102

Древесина представляет собой один из самых распространенных материалов, применяемых в различных областях промышленности и в быту. На ранних стадиях развития человечества она служила топливом, позднее — строительным и поделочным материалом, а благодаря достижениям науки, техники и технологии из нее стали получать искусственные конструкционные и технологические материалы с необходимым комплексом свойств. И в настоящее время древесина и материалы, полученные на ее основе, не утрачивают своего значения. Использование древесины в различных областях промышленности объясняется сочетанием в ней ценных свойств. Так, древесина представляет собой прочный и одновременно мягкий материал, обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, без разрушения поглощает ударные нагрузки, сни-

жает вибрацию. Древесина легко обрабатывается режущим инструментом, склеивается и подвергается отделке пленочными и жидкими лакокрасочными материалами при получении поверхностей с высокими декоративными качествами.

Помимо положительных свойств, древесина и материалы на ее основе обладают и некоторыми недостатками: неоднородностью строения, анизотропией, наличием пороков, способностью изменять размеры и форму в результате усыхания, разбухания и коробления и др. Для прогнозирования свойств с учетом данных недостатков, при ручной обработке древесины и древесных материалов требуется знание физических и химических показателей, отражающих эти свойства. Поэтому на протяжении всего срока использования древесного сырья ученые и практики во всем мире совершенствуют методики и разрабатывают но-

вые методы исследования свойств как древесины различных пород, так и материалов, получаемых на ее основе. Попытки прогнозировать свойства получаемых древесных продуктов приводят к необходимости изучения древесинного вещества как химической основы древесины. Исследования химических составляющих древесинного вещества по отдельности и в совокупности открывает возможности получения новых разнообразных материалов и позволяет корректировать свойства материалов, уже применяемых на практике.

**Цель работы**

Целью данной работы было определение физических показателей лигно-углеводного комплекса древесинного вещества исходя из его химического строения.

**Материалы и методы**

Древесина состоит из органических веществ, в состав которых входят углерод, водород, кислород и азот. В среднем можно считать, что абсолютно сухая древесина содержит 49,5 % углерода, 6,3 % водорода и 44,2 % кислорода с азотом [1].

Кроме органических веществ, в состав древесины входят минеральные вещества, которые при сгорании древесины дают золу. Количество золы в древесине колеблется в пределах 0,2...1,7 % и зависит от породы дерева.

Углерод, водород и кислород древесины образуют сложные органические вещества, часть которых входит в состав клеточных стенок, часть — в состав содержимого клеток. Клеточные стенки древесины состоят главным образом из целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. В полостях клеток содержатся дубильные вещества, красящие вещества, смолы, камеди, эфирные масла и алкалоиды. В табл. 1 по данным [2] приведено содержание разных компонентов лигноуглеводного комплекса древесинного вещества в хвойных и лиственных породах.

Целлюлоза относится к полисахаридам и имеет формулу  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , где  $n$  — коэффициент полимеризации. Макромолекула целлюлозы состоит из множества звеньев глюкозных остатков [3]. Молекулярная масса структурного звена 162 г/моль. Средняя степень полимеризации природной древесной целлюлозы в хвойных и лиственных породах равна 4000–5500 (в дальнейших расчетах принято 5000) [4].

Гемицеллюлозы  $(C_{12}H_{20}O_{11})_n$  — группа полисахаридов, отличающихся от целлюлозы гидролизуемостью в кислотах и растворимостью в щелочах. Эта группа включает пентозаны и гексозаны, представляющие собой разновидности полисахаридов (маннаны, ксиланы, галактаны и др.). Многообразие таких связей между элементар-

Т а б л и ц а 1

**Компонентный состав лигноуглеводного комплекса древесинного вещества хвойных и лиственных пород**



**Component composition of the ligno-carbon complex substance of coniferous and deciduous species**

Компонент	Содержание в породах, %	
	хвойных	лиственных
Целлюлозы	41–58	39–47
Гемицеллюлозы	15–23	23–38
Лигнин	28–34	17–27

Т а б л и ц а 2

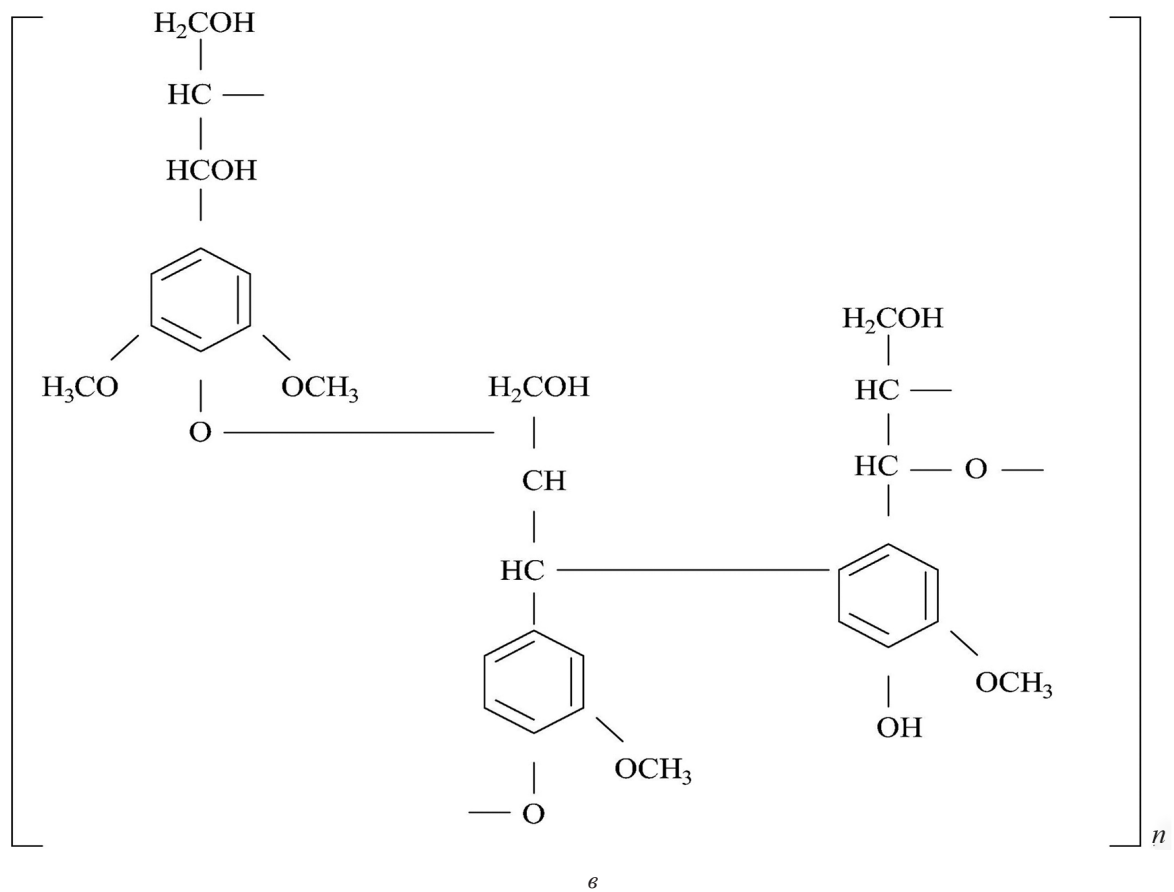
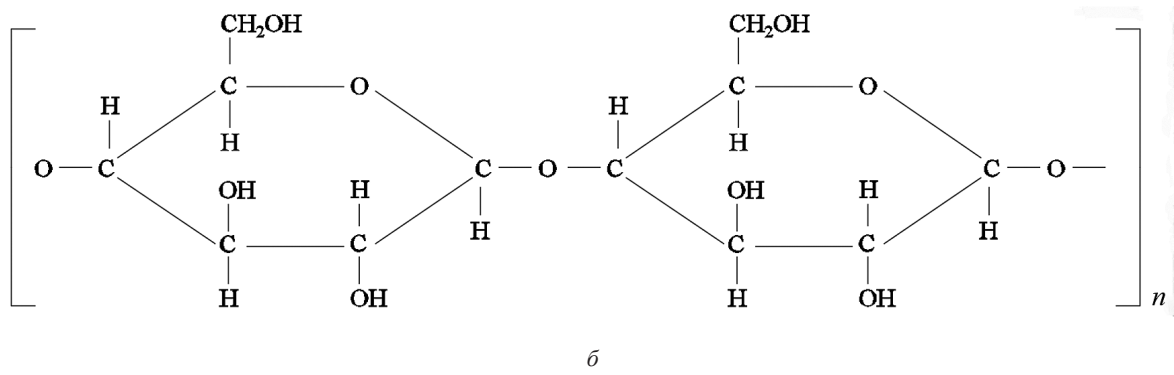
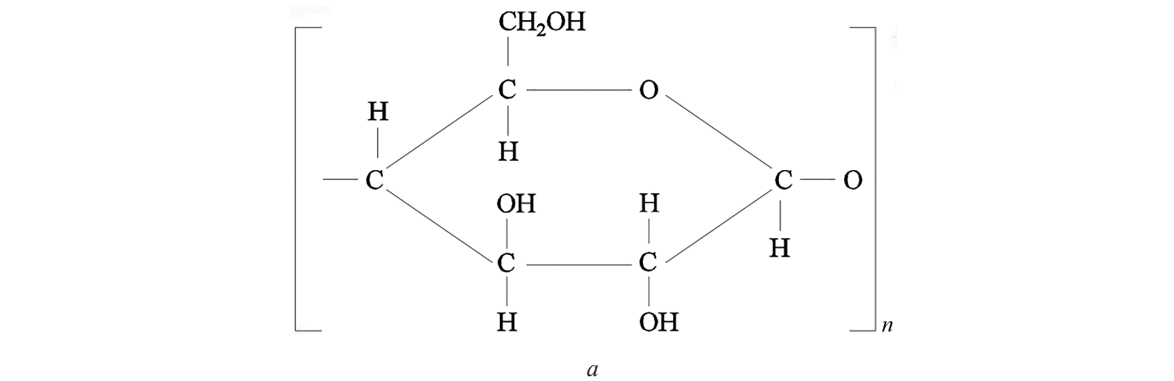
**Количество функциональных групп в структурных звеньях лигноуглеводного комплекса древесинного вещества**

**The number of functional groups in the structural units of ligno-carbon complex substance**

Функциональная группа	Количество функциональных групп в химических структурных звеньях		
	целлюлозы	гемицеллюлоз	лигнина
— CH <sub>2</sub> —	1	2	3
— CH <sub>3</sub>	—	—	4
— CH —	3	6	6
	—	—	1
	—	—	2
— O —	2	5	7
— OH —	1	2	5
— CH(OH) —	2	4	—

Примечание. — отсутствует.

ными звеньями является характерным отличием групп полисахаридов гемицеллюлоз. Наиболее широко распространена в гемицеллюлозах связь 1→4, которой соединены остатки моносахаридов, образующих главную цепь [4]. Молекулярная масса структурных звеньев 340 г/моль. Средняя степень полимеризации гемицеллюлоз в хвойных породах древесины равна 100, а в лиственных породах 150–200 (в дальнейших расчетах принято 175) [4].



Структурные формулы звеньев: *a* — целлюлозы; *б* — гемицеллюлоз; *в* — лигнина  
 Structural formulas of parts *a* — cellulose; *b* — hemicellulose; *c* — lignin

Лигнин ( $C_{31}H_{37}O_{12}$ )*n* представляет собой высокомолекулярное соединение ароматической природы (полифенол). Полагают, что лигнин придает гидрофобность растительным клеткам, а также прочность и жесткость древесинному веществу, играя роль связующего. Состав лигнина сложен, и ему приписывают различные эмпирические и структурные формулы. Для лигнина характерно наличие метоксильных групп. В 2010–2018 гг. благодаря химическим и физико-химическим исследованиям и анализу большого информационного массива построена модель лигнина [4]. Молекулярная масса ее структурных звеньев 601 г/моль. Средняя степень полимеризации в ней принята 94 (как для хвойных, так и для лиственных пород древесины).

На основании материалов работ [3, 4] составлены структурные формулы звеньев целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина (рисунок). Химическая структура представленных компонентов лигноуглеводного комплекса у хвойных и лиственных пород древесины практически одна и та же. Различия только в количественном содержании компонентов (см. табл. 1).

В табл. 2 приведены количественные характеристики функциональных групп в структурных звеньях лигноуглеводного комплекса древесинного вещества (в соответствии со структурными формулами, показанными на рисунке).

Для определения физических показателей древесинного вещества на основе целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в общем лигноуглеводном комплексе хвойных и лиственных пород применен принцип аддитивности. Суть его заключается в суммировании групповых вкладов химической структурной единицы целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина по справочным данным и последующем вычислении физических показателей по известным формулам [5].

Сначала надо определить значения суммарного вклада функциональных групп — структурных звеньев целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в аддитивные мольные функции: рефракцию, объем, парахор, константу притяжения и поляризацию. Затем выполнить расчет аддитивных мольных функций лигноуглеводного комплекса древесинного вещества с учетом степени полимеризации и процентного содержания компонентов (целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина) в хвойных и лиственных породах древесины. Численное значение *X* любой из перечисленных мольных функций (молекулярная масса, рефракция, объем, парахор, константа притяжения и поляризация) может быть определено по следующей формуле

$$X = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{X_1 n_1} + \frac{P_2}{X_2 n_2} + \frac{P_3}{X_3 n_3}}, \quad (1)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  — удельное содержание соответственно целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в лигноуглеводном комплексе древесинного вещества хвойных и лиственных пород (см. табл. 1);

$X_1, X_2, X_3$  — значения мольной функции от вклада химических структурных звеньев соответственно целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина;

$n_1, n_2, n_3$  — степень полимеризации соответственно целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина хвойных и лиственных пород.

Зная значение каждой аддитивной мольной функции лигноуглеводного комплекса древесинного вещества, можно рассчитать различные физико-механические показатели для хвойных и лиственных пород древесины.

Плотность  $q, \text{г/см}^3$ , можно рассчитать по формуле

$$q = \frac{M}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (2)$$

где  $M$  — молекулярная масса структурного звена полимера, г/моль;

$\sum_{i=1}^n V_i$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивные мольные функции объема полимера,  $\text{см}^3/\text{моль}$ .

Для определения показателя преломления  $n$  можно воспользоваться выражением Лорентца-Лоренца [6]

$$n = \left( \frac{1 + 2 \frac{\sum_{i=1}^n R_{\pi i}}{\sum_{i=1}^n V_i}}{- \frac{\sum_{i=1}^n R_{\pi i}}{\sum_{i=1}^n V_i}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где  $\sum_{i=1}^n R_{\pi i}$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивные мольные функции рефракции полимера при длине волны света 589 Нм,  $\text{см}^3/\text{моль}$ .

Поверхностное натяжение полимера  $\gamma, \text{эрг/см}^2$ , можно рассчитать по формуле

$$\gamma = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \right)^4, \quad (4)$$

где  $\sum_{i=1}^n P_i$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную функцию паракора полимера,  $(\text{эрг}/\text{см}^2)^{1/4}(\text{см}^3/\text{моль})$ .

Паракор — эмпирическая константа органического вещества, определяемая его строением и не зависящая от температуры [7].

Когезию полимера  $E_{\text{ког}}$ , кал/моль, можно рассчитать по формуле

$$E_{\text{ког}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \right)^2, \quad (5)$$

где  $\sum_{i=1}^n F_i$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную константу притяжения полимера,  $(\text{кал} \cdot \text{см}^3)^{1/2}/\text{моль}$ .

Относительную диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon$  можно определить из выражения

$$\varepsilon = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_{vi}}{M} \right)^2, \quad (6)$$

где  $\sum_{i=1}^n P_{vi}$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную поляризацию полимера, г/моль.

## Результаты и обсуждение

В табл. 3 приведены численные значения вклада химических структурных звеньев целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в различные мольные функции, а также их суммарной итог. Полученные итоговые значения позволяют рассчитать значения мольных функций с учетом составляющих лигноуглеводного комплекса древесинного вещества для хвойных и лиственных пород древесины. Значения мольных функций молекулярной массы, рефракции, объема, константы притяжения и поляризации для древесинного вещества определяли в совокупности составляющих лигноуглеводного комплекса целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. При расчете использовали формулу (1) и данные табл. 1 и 3, а также значение степени полимеризации составляющих компонентов лигноуглеводного комплекса при образовании древесинного вещества в хвойных и лиственных породах древесины. Процентное содержание целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина как в хвойных, так и в лиственных породах древесины изменялось в пределах значений, приведенных в табл. 1. Это позволило получить для каждой мольной функции 14 показателей.

Для трех факторов, отражающих удельное содержание целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина, из интервалов значений (см. табл. 1) выбирали максимальное, минимальное и среднее значения. Такой выбор диапазонов варьирования факторов позволил выполнить расчеты с учетом всех возможных вариантов. Это относилось как к хвойным породам древесины, так и к лиственным.

Затем с учетом полученных данных мольных функций древесинного вещества по формулам (2)–(6) были рассчитаны физические показатели (плотность, показатель преломления, поверхностное натяжение, когезия и относительная диэлектрическая проницаемость) как для хвойных, так и для лиственных пород древесины. Полученные результаты свидетельствуют о малой изменчивости физических показателей древесинного вещества хвойных и лиственных пород древесины. В хвойных и лиственных породах древесины не наблюдается изменений древесинного вещества, характеризуемых физическими показателями, при изменении содержания химических компонентов лигноуглеводного комплекса. Дальнейшая обработка полученных результатов подтвердила этот вывод.

Объединенная выборка для каждого физического показателя составила 28 значений. Статистическая обработка полученных результатов для каждого физического показателя включала определение среднего значения, отбраковывание грубых значений и оценку окончательного результата при получении коэффициента вариации и показателя точности среднего значения.

Статистические значения вычисленных физических показателей лигноуглеводного комплекса древесинного вещества приведены в табл. 4. По каждому показателю даны предельные значения в выборке из 28. Статистические показатели (коэффициент вариации и показатель точности) составляют менее 1,5 %. Исключением является коэффициент вариации по когезии (3,53 %). Низкие значения статистических показателей свидетельствуют о незначительных отклонениях в выборках из 28 значений по каждому вычисленному физическому показателю. Указанные средние значения в каждом случае надежно отражают физический показатель древесинного вещества.

В табл. 5 приведены сравнительные данные физических показателей, взятых из литературных источников и рассчитанных по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев составляющих лигноуглеводного комплекса древесинного вещества. Для каждого физического показателя вычислена относительная ошибка по минимальным и максимальным значениям. Практически она показывает отклонение показателя при сравнении минимальных и максимальных значений, полученных путем



Т а б л и ц а 3

**Вклад химических структурных звеньев лигноуглеводного комплекса  
древесинного вещества в различные аддитивные молярные функции**

**The contribution of the chemical units of a ligno-carbohydrate complex substance  
in different additive molar functions**

Аддитивная молярная функция		Лигноуглеводный комплекс	Вклад функциональных групп химических структурных звеньев								
			по видам								Итого
Название	Обозначение, единицы измерения		—CH <sub>2</sub> —	—CH <sub>3</sub>	—CH—   			—O—	—OH—	—CH(OH)—	
Рефракция	$R_{лв}$ см <sup>3</sup> /моль	Ц	4,65	—	10,86	—	—	3,28	2,45	12,14	33,38
		Г	9,30	—	21,72	—	—	8,20	4,90	24,28	68,40
		Л	13,95	22,56	21,72	23,80	48,80	11,48	12,25	—	154,56
Объем	$V_{лв}$ см <sup>3</sup> /моль	Ц	15,85	—	28,35	—	—	20,00	9,70	38,30	112,20
		Г	31,70	—	56,70	—	—	50,00	19,40	76,60	234,40
		Л	47,55	95,60	56,70	56,30	119,00	70,00	48,50	—	493,65
Парахор	$P_{лв}$ (эрг/см <sup>2</sup> ) <sup>1/4</sup> (см <sup>3</sup> /моль)	Ц	39,00	—	65,70	—	—	40,00	37,10	118,00	299,80
		Г	78,00	—	131,40	—	—	100,00	74,20	236,00	619,60
		Л	117,00	224,00	131,40	138,70	311,60	140,00	185,50	—	1248,60
Константа притяжения	$F_{лв}$ (кал · см <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> /моль	Ц	133,00	—	84,00	—	—	140,00	225,80	977,60	1560,40
		Г	266,00	—	168,00	—	—	350,00	451,60	1955,20	3190,80
		Л	399,00	856,00	168,00	480,00	1160,00	490,00	1129,00	—	4682,00
Поляризация	$P_{лв}$ г/моль	Ц	20,64	—	70,50	—	—	60,00	30,00	107,00	288,14
		Г	41,28	—	141,00	—	—	150,00	60,00	214,00	606,28
		Л	61,92	70,64	141,00	128,60	257,20	210,00	150,00	—	1019,36

Примечание. Ц — целлюлоза; Г — гемицеллюлозы; Л — лигнин; — отсутствует.

Т а б л и ц а 4

**Статистические значения вычисленных физических показателей  
лигноуглеводного комплекса древесинного вещества**

**The statistical values of the calculated physical characteristics of ligno-carbohydrate complex substance**

Название	Физический показатель				Статистический показатель	
	Единицы измерения	Предельные значения в выборке	Средние значения	Среднее квадратическое отклонение выборки	Коэффициент вариации, %	Показатель точности среднего значения, %
Плотность, $\rho$	кг/м <sup>3</sup>	1324...1366	1342	13,25	0,98	0,21
Показатель преломления $n$	—	1,506...1,516	1,512	0,0032	0,21	0,04
Поверхностное натяжение $\gamma$	мДж/м <sup>2</sup>	45...47	45,5	0,64	1,4	0,26
Когезия $E_{ког}$	МДж/м <sup>3</sup>	521...578	551	19,49	3,53	0,73
Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	—	3,005...3,052	3,031	0,0229	0,75	0,17

расчета и приведенных в литературных источниках. В большинстве случаев отклонение составляет не более 5...6 %. Исключением являются только относительные ошибки по плотности и когезии, равные соответственно 14,93 и 14,25 %.

Значения физических показателей, приведенные в литературных источниках, практически все получены косвенными методами. Так, при определении плотности древесинного вещества применяют способ, основанный на измерении

Т а б л и ц а 5

**Сравнительные данные табличных значений физических показателей древесинного вещества и значений, рассчитанных по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев лигноуглеводного комплекса**

**Comparative data table of physical indicators values of substance and designed for additive functions group contributions chemical structural units of ligno-carbohydrate complex**

Физический показатель				Относительная ошибка по значениям, %	
Название	Единицы измерения	Значение		Минимальным	Максимальным
		Из литературного источника	Рассчитанное		
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1490–1570 [1] 1499–1564 [2] 1440–1460 [8, 9]	1324–1366	8,76	14,93
Показатель преломления	–	1,537...1,565 [10]	1,506–1,516	2,05	3,23
Поверхностное натяжение	мДж/м <sup>2</sup>	44–50 (дугласова пихта) [11]	45–47	2,27	6,38
Когезия	МДж/м <sup>3</sup>	456–547 [12]	521–578	14,25	5,66
Относительная диэлектрическая проницаемость	–	3,06–3,18 [2]	3,005–3,052	1,83	4,19

объема вытесненной образцом жидкости или газа [8]. Точность определения объема древесинного вещества, содержащегося в образце, зависит от возможности проникновения жидкости или газа в пустоты древесины. Приведенные в табл. 5 значения плотности из литературных источников очень разнятся. Общие предельные значения составляют 1440...1570 кг/м<sup>3</sup>. Их расхождение со значениями, рассчитанными по предлагаемой методике, объясняется использованием различных веществ (жидкость, газ) при определении плотности древесины.

Показатель преломления по литературному источнику [10] определяется с использованием иммерсионного способа. Суть его заключается в сравнении и подборе жидкости с известным показателем преломления, приближающимся к показателю преломления древесины. Иногда требуется отыскание двух жидкостей, у одной из которых показатель преломления больше, а у другой меньше, чем у древесины. При таком определении показателя преломления невозможно выявить непосредственно древесинное вещество. Измерение осуществляется на пробах анатомических элементов различных пород древесины (поздняя и ранняя зона древесины, сердцевинные лучи и т. д.). Приведенные значения показателя преломления относятся к этим элементам, но не к древесинному веществу.

Методика определения поверхностного натяжения твердого тела предусматривает использование жидкостей одного гомологического ряда [11]. За меру поверхностного натяжения твердого тела древесины принимают значение поверхностного натяжения той жидкости, которая давала

бы в контакте с данным телом угол смачивания, равный нулю. Приведенное значение поверхностного натяжения из литературного источника [11] относится к дугласовой пихте. Такой способ измерения считается самими исследователями недостаточно надежным. Применительно к древесине здесь не учитывается микрогеометрия исследуемой поверхности, а также ее химическая чистота, поскольку помимо целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в каждой конкретной породе имеются минеральные и другие вещества, которые значительно влияют на смачивание и растекание эталонных жидкостей.

Для значений когезии, приведенных в литературном источнике [12], предполагается, что между когезией и критическим поверхностным натяжением имеется корреляционная линейная связь. Так, для дугласовой пихты поверхностное натяжение равно 44...50 мДж/м<sup>2</sup>, когезия — 456...547 МДж/м<sup>3</sup>. Выше говорилось о недостатках метода определения величины поверхностного натяжения. Следовательно, точность значений когезии для древесины подвергается некоторому сомнению, а приведенные численные значения не отражают когезии древесинного вещества.

Методика определения относительной диэлектрической проницаемости древесины до настоящего времени не стандартизована [8]. Один из вариантов предусматривает определение потерь электрической энергии при протекании электрического тока через образцы различных пород древесины. При этом должны учитываться различные факторы: порода древесины, направление волокон, влажность, плотность и т. д. Поэтому

приведенные значения относительной диэлектрической проницаемости из литературного источника [2] представляют средние статистические данные различных пород древесины и не отражают характеристику древесинного вещества по этому показателю.

## Выводы

В представленной методике расчета значений физических показателей древесинного вещества учитываются непосредственно физико-химические свойства целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в лигноуглеводном комплексе. Кроме того, учитывается их содержание и характер полимеризации при образовании сложного полимера естественного происхождения. Поэтому вычисленные значения физических показателей (плотность, показатель преломления, поверхностное натяжение, когезия и относительная диэлектрическая проницаемость) являются достоверными и надежно отражающими различные свойства древесинного вещества.

Краткий анализ данных по физическим показателям, приведенным в литературных источниках, позволяет сделать вывод о том, что результаты полученных значений различных физических показателей, рассчитанных по предлагаемой методике, отражают свойства древесинного вещества как химической основы древесины хвойных и лиственных пород. Значения физических показателей могут быть приняты за основу и рекомендованы для использования в фундаментальных исследованиях древесинного вещества как полимера природного происхождения.

*Статья публикуется по результатам международной научно-практической конференции «Экологические аспекты использования древесины как природного возобновляемого ресурса», состоявшейся 27–29 сентября 2017 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал).*

## Список литературы

- [1] Ванин С.И. Древесиноведение: учебник для вузов. Л.: Гослестехиздат, 1940. 459 с.
- [2] Перельгин Л.М. Древесиноведение. М.: Лесная промышленность, 1969. 320 с.
- [3] Азаров В.И., Кононов Г.Н. Химия древесины и синтетических полимеров. М.: МГУЛ, 2011. 368 с.
- [4] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. М.: МГУЛ, 1999. 247 с.
- [5] Ван Кревелен Д.В. Свойства и химическое строение полимеров / пер. с англ. Ф.Ф. Ходжевановой; под ред. А.Я. Малкина. М.: Химия, 1976. 416 с.
- [6] Берн М., Вольф Э. Основы оптики / пер. с англ. С.Н. Бреуса, А.И. Головашкина, А.А. Шубина; под ред. Г.Н. Мотулевич. М.: Наука, 1973. 719 с.
- [7] Степин Б.Д. Применение международной системы единиц физических величин в химии. М.: Высшая школа, 1990. 96 с.
- [8] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: Лесная промышленность, 1986. 368 с.
- [9] Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
- [10] Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. М.: МГУЛ, 2007. 568 с.
- [11] Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. М.: Химия, 1969. 320 с.
- [12] Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. Изд. 2, доп. М.: Химия, 1974. 392 с.

## Сведения об авторах

**Рыбин Борис Матвеевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rybin@mgul.ac.ru

**Завражнова Ирина Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zavrazhnova@mgul.ac.ru

**Рыбин Дмитрий Борисович** — технолог ООО «Тимберланд», wood@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.05.2018.

Принята к публикации 04.09.2018.



## DETERMINATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF LIGNO-CARBON WOOD SUBSTANCE COMPLEX

B.M. Rybin<sup>1</sup>, I.A. Zavrazhnova<sup>1</sup>, D.B. Rybin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>«Timberland», 10, Severnaya st., Dmitrovsky district, working settlement Nekrasovsky, 141865, Moscow reg., Russia

rybin@mgul.ac.ru

Wood is one of the most common materials used in industry and in everyday life. In the early stages of development and currently wood and materials obtained on its basis do not lose their value. Possessing a number of useful properties wood products have some disadvantages. Therefore to predict the properties at manual processing of wood and wood materials requires knowledge of their physical and chemical parameters that reflect these properties. Scientists and people on the ground around the world are improving methods and developing new methods of studying the properties of wood of various species and obtained materials. Attempts to predict many properties of the resulting wood products lead to the conclusion of the study substance as the chemical basis of wood. The values of various physical indicators of tree species presented in the literature only approximate the true values of the physical indicators of the timber substance. Method of determining physical parameters substance is the first to study polymer of plant origin, which is the basis of wood of coniferous and deciduous species. The wood carbon, hydrogen and oxygen form complex organic substances, i.e. cellulose, hemicellulose and lignin. Each of these substances is a polymer. Hence, in total, the wood material is also a polymer of natural origin. To study it you can apply the principle of additivity which allows to establish the relationship between the chemical structure and the physical characteristics of polymeric substances. The methodology used in the research allows the initial phase to determine the chemical structure of the structural units of cellulose, hemicellulose and lignin. Then knowing the contents of these components in the wood substance as well as their degree of polymerization and the total contribution of functional groups structural units in additive local functions there can be calculated physical parameters: density, refractive index, surface tension, cohesion and relative permittivity. The obtained values for these physical parameters are in good cohesion with data from literature. In most cases the deviation of calculated values given in literature sources is not more than 5...6 %. The results of the obtained values of physical indicators reflect the properties of the wood substance as a chemical basis of coniferous and deciduous species. The values of the physical parameters can be taken as a basis and recommended for use in fundamental research substance as a polymer of natural origin.

**Keywords:** physical parameters of wood substance

**Suggested citation:** Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *Opreделение fizicheskikh pokazateley lingouglevodnogo kompleksa drevesinnogo veshchestva* [Determination of physical parameters of ligno-carbon wood substance complex]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-94-102

### References

- [1] Vanin S.I. *Drevesinovedenie* [Wood Science]. Leningrad: Goslestekhizdat, 1940, 459 p.
- [2] Perelygin L.M. *Drevesinovedenie* [Wood Science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forestry Industry], 1969, 320 p.
- [3] Azarov V.I., Kononov G.N. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MGUL, 2011, 368 p.
- [4] Kononov G.N. *Khimiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov* [Chemistry of wood and its main components]. Moscow: MGUL, 1999, 247 p.
- [5] Van Krevelen D.V. *Svoystva i khimicheskoe stroenie polimerov* [Properties and chemical structure of polymers]. Translation from English by F.F. Hodzhevanovf; ed. A.Ya. Malkin. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1976, 416 p.
- [6] Bern M., Vol'f E. *Osnovy optiki* [Fundamentals of Optics]. Translation from English by S.N. Breus, A.I. Golovashkin, A.A. Shubin; Ed. G.N. Motulevich. Moscow: Nauka, 1973, 719 p.
- [7] Stepin B.D. *Primenenie mezhdunarodnoy sistemy edinit fizicheskikh velichin v khimii* [Application of the international system of units of physical quantities in chemistry]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990, 96 p.
- [8] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forestry Industry], 1986, 368 p.
- [9] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood Science and Forest Commodity Science]. Moscow: MGUL, 2007, 351 p.
- [10] Rybin B.M. *Tekhnologiya i oborudovanie zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology and equipment of protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow: MGUL, 2007, 568 p.
- [11] Berlin A.A., Basin V.E. *Osnovy adgezii polimerov* [Fundamentals of polymer adhesion]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1969, 320 p.
- [12] Berlin A.A., Basin V.E. *Osnovy adgezii polimerov* [Fundamentals of polymer adhesion]. 2nd edition, supplemented. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1974. 392 p.

### Authors' information

**Rybin Boris Matveevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), rybin@mgul.ac.ru

**Zavrazhnova Irina Anatol'evna** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zavrazhnova@mrul.ac.ru

**Rybin Dmitriy Borisovich** — Technologist of «Timberland», wood@yandex.ru

Received 28.05.2018.

Accepted for publication 04.09.2018.