

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ ПО АДДИТИВНЫМ ФУНКЦИЯМ ГРУППОВЫХ ВКЛАДОВ ХИМИЧЕСКИХ СТРУКТУРНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Б.М. Рыбин¹, И.А. Завражнова¹, Д.Б. Рыбин²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ООО «Тимберланд», 141865, Московская обл., Дмитровский р-н, раб. пос. Некрасовский, Северная ул., д. 10

pitukhin@petrsu.ru

В технологии деревообработки для склеивания, облицовывания и отделки деталей и узлов из древесины и древесных материалов применяются различные клеевые и лакокрасочные материалы на основе полимерных композиций. Для прогнозирования технологических и эксплуатационных свойств клеевых прослоек и покрытий необходимо знать их физико-механические показатели: плотность, поверхностное натяжение, показатель преломления, когезионную прочность, относительную диэлектрическую проницаемость и др. Их определение иногда требует применения сложных методик и аппаратуры. На практике определение физических показателей возможно через аддитивные функции групповых вкладов химических структурных звеньев полимеров. При этом полимеры являются идеальным материалом, так как их структура образована последовательностями простых звеньев. Принцип аддитивности позволяет установить наличие взаимосвязи между химическим строением и физическими характеристиками изучаемых полимерных веществ. Предлагается методика, при которой на первом этапе определяют химическое строение структурных звеньев полимеров (полистирол, полиметилметакрилат, поливинилацетат, поливинилхлорид, карбамидо-, феноло- и меламиноформальдегиды, нитроцеллюлоза, полиуретан и полиалкиленгликольмалеинат). Перечисленные полимеры используются в качестве клеевых и лакокрасочных композиций, их структуру можно рассматривать как совокупность функциональных групп. Для выяснения физических свойств необходимо определить вклад функциональных групп в аддитивные мольные функции полимеров, затем вычислить их суммарный вклад для каждого физического показателя и по известным формулам рассчитать их значения. Доказана надежность предложенной методики. Вычисленные значения показателей отличаются от табличных незначительно. Так, средняя относительная ошибка практически по всем показателям не превышает 2%. Данная методика может быть рекомендована для применения в фундаментальных исследованиях полимерных композиций.

Ключевые слова: физические показатели полимеров, аддитивные функции групповых вкладов химических структурных звеньев

Ссылка для цитирования: Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. Определение физических показателей полимеров для деревообработки по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 2. С. 68–75.

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-68-75

В технологии деревообработки для склеивания, облицовывания, жидкой отделки древесины и древесных материалов используют разнообразные клеевые и лакокрасочные материалы на основе полимерных композиций. Технологические и эксплуатационные свойства клеевых прослоек и защитно-декоративных покрытий зависят от физико-механических показателей, к которым относятся: плотность, поверхностное натяжение, когезионная прочность, показатель преломления света и др.

По плотности исходного материала определяют весовые показатели, расход и толщину применяемых клеевых и лакокрасочных материалов. Поверхностное натяжение характеризует смачивание и растекание жидких полимеров на древесине и древесных материалах и влияет на расход наносимых клеевых и лакокрасочных покрытий. С помощью показателя преломления определяют «чистоту» применяемых композиций и рассчитывают толщину покрытия микроскопическим

способом. Когезионная прочность характеризует внутреннюю прочность полимера, влияет на такие эксплуатационные показатели, как сопротивление удару, царапанию, долговечность клеевых и лакокрасочных пленок. Относительная диэлектрическая проницаемость характеризует отверждение полимеров при использовании высокочастотного нагрева. Определение перечисленных показателей является важной задачей при оценке физико-химических характеристик полимеров, применяемых в технологии деревообработки.

Цель работы

Определение физических показателей требует применения сложных методов и аппаратуры. Задача облегчается, если использовать известную методику [1] определения физических показателей по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев полимеров, что и является целью данной работы.

Материалы и методы

В основе предложенной методики — принцип аддитивности, представляющий собой весьма эффективное средство в полуэмпирическом подходе к исследованию физических характеристик вообще и характеристик полимеров в частности. Принцип аддитивности означает, что большое количество характеристик, рассчитанных на моль вещества, можно вычислить путем суммирования групповых вкладов химической структурной единицы полимера. Полимеры являются идеальным материалом для применения принципа аддитивности в связи с тем, что их структура образована последовательностями простых групп. Можно предположить, что принцип аддитивности позволяет установить наличие взаимосвязи между химическим строением и физическими характеристиками изучаемых веществ.

Для применения данной методики на первоначальном этапе необходимо определиться в химическом строении структурного звена полимера. Такую структуру можно в дальнейшем рассматривать как совокупность функциональных групп, характеризующихся количеством свободных валентностей. К основным функциональным группам относятся углеводородные, неуглеводородные и сложные. Все они характеризуются как монофункциональные, бифункциональные, трехфункциональные и тетрафункциональные. Для определения различных физических показателей необходимо по таблицам [1] определить вклад различных функциональных групп, затем вычислить их суммарный вклад для каждого физического показателя и по известным формулам рассчитать их значения.

Для исследования были выбраны следующие полимерные композиции: полистирол, полиметилметакрилат, поливинилацетат, поливинилхлорид, карбамидоформальдегид, фенолоформальдегид, меламиноформальдегид, нитроцеллюлоза, полиуретан и полиалкиленгликольмалеинат. Исследуемые полимерные композиции широко применяются в технологии деревообработки в качестве клеевых и отделочных материалов.

В табл. 1 приведены химические формулы и некоторые данные структурных звеньев с указанием литературного источника, из которого заимствовано химическое строение полимера. В своей основе все изучаемые полимеры представляют собой сложные композиции, состоящие из многофункциональных групп. По приведенной химической формуле рассчитана молекулярная масса структурного звена полимера. В табл. 2 приведено количество функциональных групп по видам находящихся в структурных звеньях соответствующих полимеров. Как видно из табл. 2, в различных структурных звеньях полимеров присутствуют: бифункциональные

Т а б л и ц а 1

Химические формулы и основные характеристики структурных звеньев полимеров

Chemical formulas and basic characteristics of structural units of polymers

Наименование полимера по химическому составу	Процесс образования полимера	Химическая формула структурного звена полимера	Молекулярная масса структурного звена полимера, г/моль	Химическое строение структурного звена полимера дано по литературному источнику
Полистирол	ПМ	C_8H_8	104	[2]
Полиметилметакрилат	ПМ	$C_5H_8O_2$	100	[3]
Поливинилацетат	ПМ	$C_4H_6O_2$	86	[4]
Поливинилхлорид	ПМ	C_2H_3Cl	62	[4]
Карбамидоформальдегид	ПК	$C_{12}H_{16}O_4N_8$	336	[3]
Фенолоформальдегид	ПК	$C_{48}H_{42}O_6$	714	[5]
Меламиноформальдегид	ПК	$C_{16}H_{29}O_2N_6$	337	[6, 7]
Нитроцеллюлоза	ИЛ	$C_6H_8O_3(O-NO_2)_2$	236	[8]
Полиуретан	ПК	$C_{22}H_{24}O_7N_4$	456	[9]
Полиалкиленгликольмалеинат	ПК	$C_{20}H_{20}O_8$	388	[10]

Примечание: ИЛ — испарение летучей части; ПК — поликонденсация; ПМ — полимеризация.

и другие углеводородные группы, бифункциональные и другие азотосодержащие группы, бифункциональные и другие кислородо- и азотосодержащие группы и галогенсодержащие группы.

Известно [1], что наличие определенных функциональных групп в полимере влияет на его свойства. Так, простая эфирная группа (№ 8 в табл. 2) придает полимеру гибкость, ароматическая (№ 4) — жесткость, сложноэфирная (№ 10) создает в полимере умеренные силы, а амидная группа (№ 14 в табл. 2) — значительные силы межмолекулярного взаимодействия. Следовательно, наличие отдельных функциональных групп в полимере практически определяет его физико-механические свойства.

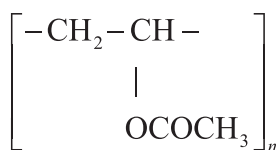
Результаты и обсуждение

Рассмотрим в качестве примера значения вклада функциональных групп структурного звена поливинилацетата в аддитивные мольные функции (табл. 3). Химическую формулу структурного звена поливинилацетата можно представить в следующем виде [4]:

Таблица 2

Количество функциональных групп по видам в структурном звене полимера
Number of functional groups by species in the structural unit of the polymer

Функциональная группа		Полимер									
№	Вид	Полистирол	Полиметилметакрилат	Поливинилацетат	Поливинилхлорид	Карбаминоформальдегид	Фенолоформальдегид	Меламиноформальдегид	Нитроцеллюлоза	Полиуретан	Полиалкиленгликольмалеинат
1	—CH ₂ —	1	1	1	1	8	12	11	1	4	5
2		1	—	1	1	—	—	—	4	—	5
3		—	1	—	—	—	—	3	—	—	—
4		1	—	—	—	—	—	—	—	—	1
5		—	—	—	—	—	—	—	—	2	—
6		—	—	—	—	—	6	—	—	—	—
7	—CH ₃	—	2	1	—	—	—	2	—	2	—
8	—O—	—	—	—	—	—	—	2	4	5	2
9		—	—	—	—	4	—	—	—	—	2
10		—	1	1	—	—	—	—	—	—	2
11	—CH(OH)—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—
12	—OH	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—
13		—	—	—	—	—	—	1	—	—	—
14		—	—	—	—	8	—	5	—	—	—
15		—	—	—	—	—	—	—	—	4	—
16	—NO ₂	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—
17	Cl—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—



В табл. 3 приведен суммарный итог вклада функциональных групп по каждой аддитивной мольной функции. Их значения по поливинила-

цетату даны в табл. 4, где указаны значения суммарного вклада функциональных групп структурных звеньев различных полимеров в аддитивные мольные функции: рефракцию при длине волны света 589 нм, объем, парахор, когезию и поляризацию. Зная суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев, можно рассчитать физико-механические показатели полимеров.

Т а б л и ц а 3

Вклад функциональных групп химического структурного звена поливинилацетата в различные аддитивные функции

The contribution of functional groups of the chemical structural link of polyvinyl acetate in various additive functions

Аддитивная мольная функция	Вид функциональной группы				Суммарный вклад
	—CH ₂ —	—CH—	—O—C(=O)—	—CH ₃	
Рефракция $R_{\pi i}$, см ³ /моль	4,65	3,62	6,30	5,64	20,21
Объем V_i , см ³ /моль	15,85	9,45	23,00	23,90	72,20
Парахор P_i , (эрг · см ²) ^{1/4} (см ³ · моль ⁻¹)	39,0	21,9	64,8	56,1	181,8
Когезия F_i , (кал. см ³) ^{1/2} · моль ⁻¹	133	28	310	214	685
Поляризация P_{vi} , г/моль	20,64	23,50	95,00	17,66	156,80

Т а б л и ц а 4

Суммарный вклад функциональных групп химических структурных звеньев в аддитивные функции полимеров

The total contribution of functional groups of chemical structural units in the additive functions of polymers

Полимер	Аддитивные мольные функции полимеров				
	Рефракция	Объем	Парахор	Когезия	Поляризация
	$\sum_{i=1}^n R_{\pi i}$, см ³ /моль	$\sum_{i=1}^n V_i$, см ³ /моль	$\sum_{i=1}^n P_i$, (эрг · см ²) ^{1/4} (см ³ · моль ⁻¹)	$\sum_{i=1}^n F_i$, (кал.см ³) ^{1/2} · моль ⁻¹	$\sum_{i=1}^n P_{vi}$, г/моль
Полистирол	33,68	98,00	250,9	896	167,64
Полиметилметакрилат	24,75	86,50	220,8	778	177,36
Поливинилацетат	20,21	72,20	181,8	685	156,80
Поливинилхлорид	14,31	45,20	115,2	431	104,14
Карбаминоформальдегид	78,76	264,72	604,0	4564	613,92
Фенолоформальдегид	212,22	568,20	1522,8	6792	1199,28
Меламиноформальдегид	90,94	316,73	687,7	4432	579,47
Нитроцеллюлоза	45,07	150,02	370,6	1894	455,34
Полиуретан	120,27	379,80	991,8	4870	1025,08
Полиалкилен-гликольмалеинат	91,50	292,00	760,1	2850	729,30

Плотность полимера q , г/см³ можно рассчитать по формуле

$$q = \frac{M}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

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

$\sum_{i=1}^n V_i$, — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную функцию объема полимера, см³/моль.

Для определения показателя преломления света полимера n можно воспользоваться следующим выражением Лоренца [11, 12]:

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

где $\sum_{i=1}^n R_{\pi i}$ — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивные мольные функции рефракции полимера, см³/моль, при длине волны света 589 нм.

Т а б л и ц а 5

**Физические показатели полимеров, рассчитанные по аддитивным функциям
групповых вкладов химических структурных звеньев**
Physical indicators of polymers calculated from additive functions
group contributions of chemical structural units

Полимер	Плотность q , кг/м ³	Показатель преломления n	Поверхностное натяжение γ , мДж/м ²	Когезия $E_{\text{кот}}$, Дж/моль	Относительная диэлектриче- ская проницае- мость ϵ
Полистирол	1061	1,604	42,96	34 275	2,577
Полиметилметакрилат	1156	1,484	42,45	29 277	3,146
Поливинилацетат	1191	1,472	40,20	27 191	3,324
Поливинилхлорид	1371	1,546	42,19	17 195	2,821
Карбаминоформальдегид	1269	1,507	27,10	329 227	3,338
Фенолоформальдегид	1218	1,644	45,54	329 261	2,821
Меламиноформальдегид	1064	1,486	22,22	259 478	2,957
Нитроцеллюлоза	1573	1,513	37,24	100 025	3,723
Полиуретан	1200	1,546	46,50	261 273	5,053
Полиалкилен- гликольмалеинат	1329	1,539	45,91	116 385	3,533

Т а б л и ц а 6

**Сравнительные данные значений физических показателей полимеров — табличных
и рассчитанных по аддитивным функциям групповых вкладов
химических структурных звеньев**
Comparative data of values of physical indicators of polymers both tabular
and calculated from the functions on the additive group contributions chemical structural units

Физический показатель		Полимер			
		Полистирол	Полиметил- метакрилат	Поливинил- ацетат	Поливинил- хлорид
Плотность q	Табличная, кг/м ³	10 580	1170	1190	1385
	Рассчитанная, кг/м ³	1061	1156	1191	1371
	Средняя относительная ошибка, %	0,52	0,60	0,04	0,50
Показатель преломления n	Табличный	1,603	1,484	1,471	1,539
	Рассчитанный	1,604	1,484	1,472	1,546
	Средняя относительная ошибка, %	0,031	0,00	0,033	0,226
Поверхностное натяжения γ	Табличное, мДж/м ²	43	42	40	42
	Рассчитанное, мДж/м ²	42,96	42,45	40,20	42,19
	Средняя относительная ошибка, %	0,046	0,532	0,249	0,225
Когезия $E_{\text{кот}}$	Табличная, Дж/моль	33 053	30 124	27 614	17 572
	Рассчитанная, Дж/моль	34 275	29 277	27 191	17 195
	Средняя относительная ошибка, %	1,81	1,42	0,77	1,08
Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ	Табличная	2,60	3,15	3,30	3,05
	Рассчитанная	2,57	3,14	3,32	2,82
	Средняя относительная ошибка, %	0,58	0,15	0,30	3,91

Поверхностное натяжение полимера γ , эрг/см², можно рассчитать по выражению

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

где $\sum_{i=1}^n P_i$ — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную функцию парахора полимера, (эрг · см⁻²)^{1/4}(см³ · моль⁻¹).

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

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

где $\sum_{i=1}^n F_i$ — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную константу притяжения полимера, (кал · см³)^{1/2} · моль⁻¹.

Относительную диэлектрическую проницаемость ϵ можно определить из выражения

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

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

Физические показатели полимеров, рассчитанные по различным аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев, приведены в табл. 5. Значения рассчитанных физических показателей полимеров переведены в единицы измерения по системе СИ.

В табл. 6 приведены сравнительные данные табличных значений физических показателей некоторых полимеров со значениями, рассчитанными по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев. Для сравнения результатов определялась средняя относительная ошибка. Как видно из данных табл. 6, по всем показателям для полимеров (полистирол, полиметилметакри-

лат, поливинилацетат, поливинилхлорид) средняя относительная ошибка не превышает 2 %. Исключение составляет относительная диэлектрическая проницаемость для поливинилхлорида, где средняя относительная ошибка составляет 3,91 %.

Выводы

Проведенное исследование дает основания для вывода о достаточной надежности предложенной методики определения физических показателей по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев полимеров. Для применения данной методики требуется знание химической структуры звена полимера. Рассмотренная методика может быть рекомендована для использования в фундаментальных исследованиях полимерных композиций.

Список литературы

- [1] 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.
- [2] Булгай Б.М. Технология отделки древесины: учебник для вузов. М.: Лесная пром-сть, 1973. 304 с.
- [3] Шампатель Г., Рабатэ Г. Химия лаков, красок и пигментов. Т. 1 / пер. с фр. Н.П. Аграненко, Ю.Т. Беловицкой, Э.К. Левиной, Ю.А. Холмогорцевой; под ред. А.А. Беловицкого. М.: Госхимиздат, 1960. 584 с.
- [4] Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учебник для вузов. М.: МГУЛ, 2007. 568 с.
- [5] Михайлов Н.В., Шершнев В.А., Шарай Г.А. Основы физики и химии полимеров: учеб. пособие для вузов / под ред. В.Н. Кулезнева. М.: Высшая школа, 1977. 248 с.
- [6] Пэйн Г.Ф. Технология органических покрытий. Т. 1: Масла, смолы, лаки и полимеры / пер. с англ. М.Д. Гордонова, Е.С. Гуревича, А.К. Муромцева, А.М. Фроста; под ред. Е.Ф. Беленького. Л.: Госхимиздат, 1959. 758 с.
- [7] Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник / под ред. В.А. Рабиновича. Л.: Химия, 1978. 392 с.
- [8] Химический энциклопедический словарь / гл. ред. И.Л. Кнунянц. М.: Сов. энциклопедия, 1983. 792 с.
- [9] Саундерс Дж.Х., Фриц К.К. Химия полиуретанов / пер. с англ. З.А. Кочновой, Ж.Т. Коркишко; под ред. С.Г. Энтелеса. М.: Химия, 1968. 470 с.
- [10] Жуков Е.В., Онегин В.И. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учебник для вузов. М.: Экология, 1993. 304 с.
- [11] Борн М., Вольф Э. Основы оптики / пер. с англ. С.Н. Бреуса, А.И. Головашкина, А.А. Шубина; под ред. Г.П. Мотулевич. М.: Наука, 1973. 719 с.
- [12] Санаев В.Г. Анизотропия физико-механических свойств поверхности древесины // Строение, свойства и качество древесины-96: материалы II Международного симпозиума, 1997. М.: МГУЛ. С. 219–223.

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

Принята к публикации 08.11.2017.

Поступила в редакцию 16.01.2018.

DETERMINATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF POLYMERS FOR WOODWORKING FUNCTIONS ON THE ADDITIVE GROUP CONTRIBUTIONS CHEMICAL STRUCTURAL UNITS

B.M. Rybin¹, I.A. Zavrazhnova¹, D.B. Rybin²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²«Timberland», 141865, Moscow reg., Dmitrovsky district, working settlement Nekrasovsky, Severnaya st., 10

rybin@mgul.ac.ru

The technology of woodworking for gluing, veneering and finishing of parts and components from wood and wood materials is used in various adhesive and coating materials based on polymer compositions. To predict future technological and operational properties of adhesive layers and coatings it is necessary to know the physico-mechanical parameters. Such indicators can be density, surface tension, refractive index, cohesive strength, relative permittivity, etc. For their definition it is sometimes required to use complex techniques and equipment. In practice, it is known that the determination of the physical parameters is possible through additive group contributions chemical structural units of polymers. The polymers are ideal materials, as their structure is formed by a sequence of simple links. Hence, the principle of additivity allows to establish a relationship between chemical structure and physical characteristics of the studied polymeric substances. Used in the research, the methodology assumes at the initial stage will be determined in the chemical structure units of a polymer. As the latter were selected: polystyrene, polymethyl methacrylate, polyvinyl acetate, polyvinyl chloride, carbamido-, phenolic- and melamineformaldehyde, nitrocellulose, polyurethane, and poliatilenglikol. These polymers are used as adhesive and coating compositions. The structure of the presented polymers can be considered as a set of functional groups. To define different performance polymers it is necessary to determine the contribution of functional groups in the additive molar functions of polymers. Then calculate their total contribution for each physical parameter and the known formulas to calculate their values. Studies have shown sufficient reliability of the proposed method of determining physical parameters for additive functions group contributions chemical structural units of polymers. The comparison of calculated data with tabular values for some polymers showed little difference. So, the average relative error in almost all indicators did not exceed 2 %. The results of the work can be recommended for use in fundamental research of polymer compositions.

Keywords: physical performance polymers, additive group contributions chemical structural units

Suggested citation: Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *Opređenje fizicheskikh pokazateley polimerov dlya derevoobrabotki po additivnym funktsiyam gruppovykh vkladov khimicheskikh strukturnykh zven'ev* [Determination of physical parameters of polymers for woodworking functions on the additive group contributions chemical structural units]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 68–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-68-75

References

- [1] Van Krevelen D.V. *Svoystva i khimicheskoe stroenie polimerov* [Properties and chemical structure of polymers]. Trans. from Eng. by F.F. Hodzhevanova; ed. A.Ya. Malkin. Moscow: Khimiya [Chemistry] Publ., 1976, 416 p.
- [2] Bulgay B.M. *Tekhnologiya otdelki drevesiny* [Technology of wood finishing]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ., 1973, 304 p.
- [3] Shampat'e G., Rabate G. *Khimiya lakov, krasok i pigmentov* [Chemistry of varnishes, paints and pigments]. Trans. from French by N.P. Agranenko, Yu.T. Belovitskaya, E.K. Levina, Yu.A. Kholmogortseva; ed. A.A. Belovitsky. Moscow: Goskhimizdat, 1960, 584 p.
- [4] 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.
- [5] Mikhaylov N.V., Shershnev V.A., Sharay T.A. *Osnovy fiziki i khimii polimerov* [Fundamentals of physics and chemistry of polymers]. Ed. V.N. Kulezneva. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School] Publ., 1977, 248 p.
- [6] Peyn G.F. *Tekhnologiya organicheskikh pokrytiy* [Technology of organic coatings]. V. 1: Oils, resins, varnishes and polymers. Trans. from Eng. by M.D. Gordonova, E.S. Gurevich, A.K. Muromtseva, A.M. Frost; ed. E.F. Belen'ky. Leningrad: Goskhimizdat, 1959, 758.

- [7] Rabinovich V.A., Khavin Z.Ya. *Kratkiy khimicheskiy spravochnik* [Brief Chemical Handbook]. Ed. V.A. Rabinovich. Leningrad: Khimiya [Chemistry] Publ., 1978, 392 p.
- [8] *Khimicheskiy entsiklopedicheskiy slovar'* [Chemical encyclopedic dictionary]. Chief ed. I.L. Knunyants. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1983, 792 p.
- [9] Saunders Dzh.Kh., Frits K.K. *Khimiya poliuretanov* [Chemistry of polyurethanes]. Trans. from Eng. by Z.A. Koshchnoy, Zh.T. Korkishchko; ed. S.G. Entlis. Moscow: Khimiya [Chemistry] Publ., 1968, 470 p.
- [10] Zhukov E.V., Onegin V.I. *Tekhnologiya zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow: Ekologiya Publ., 1993, 304 p.
- [11] Born M., Vol'f E. *Osnovy optiki* [Fundamentals of Optics]. Trans. From Eng. by S.N. Breus, A.I. Golovashkin, A.A. Shubina; ed. G.P. Motulevich. Moscow: Nauka Publ., 1973, 719 p.
- [12] Sanaev V.G. *Anisotropy of physical and mechanical properties of the surface of wood* [Anizotropiya fiziko-mekhanicheskikh svoystv poverkhnosti drevesiny] Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny-96: materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma, 1997 [Structure, properties and quality of wood-96: materials of the II International Symposium, 1997]. Moscow: MSFU, pp. 219–223.

Authors' information

Rybin Boris Matveevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Chair of Wood Science and Woodworking Technology of BMSTU (Mytishchi branch), rybin@mgul.ac.ru

Zavrazhnova Irina Anatol'evna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Chair of Wood Science and Woodworking Technology of BMSTU (Mytishchi branch), zavrazhnova@mgul.ac.ru

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

Received 26.12.2017.

Accepted for publication 28.02.2018.