

Academia. Архитектура и строительство, № 4, стр. 145–152.

Academia. Architecture and Construction, no. 4, pp. 145–152.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 57.032

DOI: 10.22337/2077-9038-2023-4-145-152

## Огне- и биозащитные сэндвичевые покрытия для древесины с добавлением нанодисперсного золя кремнезема

**Покровская Елена Николаевна** (Москва). Доктор технических наук. Кафедра комплексной безопасности в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. НИУ МГСУ). Эл. почта: elenapokrovskaya@bk.ru

**Полтаруха Олег Павлович** (Москва). Кандидат биологических наук. Лаборатория тропических технологий Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (119071, Москва, Ленинский просп., 33. ИПЭЭ РАН). Эл. почта: poltarukha@rambler.ru

*Аннотация.* Исследована возможность создания сэндвичевых покрытий на основе наномодифицированных огне- и биозащитных составов с фосфорсодержащими соединениями и нанодисперсным кремнезёмом. В качестве фосфорорганического модификатора была выбрана нитрилтриметилфосфоновая кислота  $C_3H_{12}NO_9P_3$ . В качестве фосфорорсодержащего неорганического модификатора был выбран моноамонийфосфат  $NH_4H_2PO_4$ . Для создания покрытия на поверхности некоторых опытных образцов использовался также полиакриламид  $(CH_2CHCONH_2)_n$  (магнофлок).

В ходе лабораторных испытаний оценивались пожароопасные свойства опытных образцов по ГОСТ 27484-87, водопоглощение – по ГОСТ 16483.20-72, микологическая стойкость – по ГОСТ 9.048-89, а также определялся краевой угол смачивания поверхности опытных образцов.

Лучшими характеристиками из исследованных обладал образец с покрытием НТФ, 40% + (Магнофлок +  $SiO_2$ , 20%). Это покрытие соответствует первому классу огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292-2009, является грибостойким по ГОСТ 9.048-89, а также снижает водопоглощение древесины – по ГОСТ 16483.20-72 в два раза. Также указанное покрытие в некоторой степени повышает гидрофобность поверхности, для её большего повышения целесообразно наносить поверх данного покрытия дополнительный слой, состоящий из гидрофобизаторов.

*Ключевые слова:* модификация древесины, огнезащита, микологическая устойчивость, нанодисперсный кремнезём

*Для цитирования.* Покровская Е.Н., Полтаруха О.П. Огне- и биозащитные сэндвичевые покрытия для древесины с добавлением нанодисперсного золя кремнезема // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 4. – С. 145–152. – DOI: 10.22337/2077-9038-2023-4-145-152.

## Fire- And Bio-Protective Sandwich Coatings for Wood with Nanodispersed Silica

**Pokrovskaya Elena N.** (Moscow). Doctor of Sciences in Technology. Department of Integrated Safety in Construction of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow. NRU MGSU). E-mail: elenapokrovskaya@bk.ru

**Poltarukha Oleg P.** (Moscow). Candidate of of Sciences in Biology. Laboratory of Tropical Technologies of the Institute of Problems of Ecology and Evolution. A.N. Severtsov RAS (33, Leninsky prosp., Moscow, 119071. IEE RAS). E-mail: poltarukha@rambler.ru

The possibility of creating sandwich fire- and bio-protective coatings by soft surface modification of wood based on phosphorus-containing compounds and nanodispersed silica has been investigated. Nitrilotrimethylphosphonic acid  $C_3H_{12}NO_9P_3$ , hereinafter NTP, was chosen as an organophosphorus modifier. Monoammonium phosphate  $NH_4H_2PO_4$  was chosen as a phosphorus-containing inorganic modifier. Polyacrylamide of the composition  $(CH_2CHCONH_2)_n$  (magnoflok) was also used to create a coating on the surface of some samples.

During laboratory tests, the fire-hazardous properties of the samples according to GOST 27484-87, their water absorption according to GOST 16483.20-72, mycological resistance according to GOST 9.048-89 were evaluated, and the marginal wetting angle of the surface of the samples was determined.

The best characteristics of the studied ones were possessed by a sample coated with NTP, 40% + (Magnoflok +  $SiO_2$ , 20%). This coating corresponds to the first class of fire-retardant efficiency according to GOST R 53292-2009, is mycological-resistant according to GOST 9.048-89, and also reduces the water absorption of wood according to GOST 16483.20-72 by 2 times. Also, this coating to some extent increases the hydrophobicity of the surface, for its greater increase it is advisable to apply an additional layer consisting of hydrophobizers on top of this coating.

*Keywords:* wood modification, fire protection, mycological resistance, nanodisperse silica

*For citation.* Pokrovskaya E.N., Poltarukha O.P. Fire- and Bio-Protective Sandwich Coatings for Wood with Nanodispersed Silica. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2023, no. 4, pp. 145–152, doi: 10.22337/2077-9038-2023-4-145-152.

## Введение

Древесина широко распространена в строительстве. Она является возобновляемым природным материалом, характеризуется высокими физико-механическими свойствами при сравнительно низкой плотности, химической стойкостью, диэлектрическими качествами. Вместе с этим древесина является горючим материалом с высокой дымообразующей способностью. При этом по токсичности продуктов горения древесину относят к высокоопасным материалам. Указанные обстоятельства в значительной степени ограничивают применение древесины в строительстве.

Химические методы огнезащиты основаны на изменении структуры материала, воздействии на материал химических реагентов – ингибиторов газофазных реакций горения, воздействии на материал химических реагентов, влияющих на твёрдофазные процессы пиролиза [1].

Другими особенностями, ограничивающими применение древесины, является её подверженность разрушению под действием биологических агентов различной природы. Биологическое повреждение древесины обычно усиливается в условиях высокой влажности.

В НИУ МГСУ разработан метод мягкого поверхностного модифицирования древесины, при котором модификаторы вступают в химическое взаимодействие с компонентами лигноуглеводного комплекса при температуре 20–30 °C [2]. В качестве перспективных подходов к защите древесины предлагается создание двухслойных сэндвичевых покрытий [3]. При этом первый, внутренний слой должен образовывать ковалентные связи с компонентами поверхности древесины и вступать в адсорбционно химическое взаимодействие со вторым, наружным слоем. Распространёнными группами веществ, используемых для поверхностной модификации древесины, являются некоторые фосфор- и кремнийоргани-

ческие соединения [4, с. 5; 5; 6], соединения на основе бора [7]. Существуют публикации, посвящённые использованию для защиты древесины соединений фтора [8], хрома [9], мышьяка [10] и других элементов. Применение фосфорорганических соединений позволяет также придать древесине биозащитные и гидрофобные свойства, снизить её водопоглощение [3; 11].

Также перспективным является поверхностная модификация нанодисперсными модификаторами, что приводит к улучшению целого комплекса свойств, таких как влагозащитные, огнезащитные, биозащитные и т.д., либо к появлению дополнительных эксплуатационных и/или потребительских характеристик и свойств получаемых материалов [12]. В настоящее время в качестве таких модификаторов хорошо себя зарекомендовали углеродные нанотрубки. Было показано, что их включение в состав деревокомпозитных балок повышает их несущую способность, уменьшает деформативность, увеличивает трещиностойкость [13]. Применение углеродных нанотрубок в качестве антипиренов приводит к повышению термостойкости материалов. Даже небольшие их добавки значительно улучшают свойства огнезащитных покрытий [14; 15], что было использовано при разработке полифункциональных защитных систем для деревянных конструкций [16].

Другим перспективным модификатором является нанодисперсный золь кремнезёма. Его важными преимуществами могут считаться отсутствие токсичности и наличие высокой химической и физической устойчивости [17]. Данные качества позволяют рассматривать это вещество в качестве возможного модификатора поверхности древесины, повышающего её огнезащитные свойства. Исследования в области применения соединений на основе фосфора и кремния для защиты древесины ведутся уже длительное время. При этом, как правило, используются кремнийорганические соединения

[4; 18]. Вместе с тем публикации, посвящённые использованию для этой цели нанодисперсного золя кремнезёма, практически отсутствуют, а возможность создания сэндвичевых покрытий для древесины с участием фосфорорганических соединений и золя кремнезёма не исследована.

Целью настоящей работы была оценка возможности создания огне- и биозащитных покрытий для древесины на основе фосфорорсодержащих соединений и нанодисперсного кремнезёма.

Для проведения исследований использовались образцы заболони сосны. Заболонь – слой древесины, непосредственно прилегающий к коре и характеризующийся пониженной огнестойкостью, водостойкостью и биостойкостью. Поэтому именно заболонь является модельным объектом для проведения исследований средств защиты древесины. Поверхностная модификация осуществлялась коллоидным раствором нанодисперсного кремнезёма ( $\text{SiO}_2$ ) Ludox TM40, диаметр частиц 22 нм. В качестве фосфорорганического модификатора была выбрана нитрилотриметилфосфоно-вая кислота  $\text{C}_3\text{H}_{12}\text{NO}_9\text{P}_3$  (НТФ). Это вещество представляет собой бесцветный кристаллический сыпучий порошок, растворимый в воде, кислотах, щёлочах, не растворимый в органических растворителях. Как было показано ранее

[16], это вещество при поверхностной модификации придаёт древесине огнезащитные свойства.

В качестве фосфорорсодержащего неорганического модификатора в проведённом исследовании использовался моноамонийфосфат  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  – растворимый в воде.

В ходе создания покрытия на поверхности опытных образцов использовался магнофлок Magnofloc 3127 – полиакриламид состава  $(\text{CH}_2\text{CHCONH}_2)_n$ , хорошо растворимый в воде.

Обработка образцов проходила при температуре около 20 °С и нормальном атмосферном давлении. При этом на основе перечисленных модификаторов создавались разные сэндвичевые покрытия, компоненты которых наносились послойно. Расход при нанесении рабочих растворов составлял для первого слоя каждого компонента 80–85 г/м<sup>2</sup>, для второго – 170–180 г/м<sup>2</sup>, для третьего – 300–310 г/м<sup>2</sup>. Сушка образцов проводилась при температуре 25 °С в течение 10 суток. Данные о составе покрытий приведены в таблице 1.

Полученные образцы исследовались на пожароопасность, гидрофобные свойства, водопоглощение и микологическую стойкость.

Исследование пожароопасных свойств опытных образцов проводилось по ГОСТ 27484-87<sup>1</sup>. Цель испытания заключалась в подтверждении двух условий: 1 – при определённых условиях образец не воспламеняется; 2 – горючий элемент образца, который может быть воспламенён от пламени горелки, имеет ограниченные продолжительность горения и степень повреждения, а также не способствует распространению загорания, вызванного открытым пламенем или отделением от него горящих и раскалённых частиц. В ходе испытаний оценивалась продолжительность горения образца, а также потеря его массы после окончания горения.

Исследования водопоглощения опытных образцов проводились по ГОСТ 16483.20-72<sup>2</sup>. Водопоглощение древесины существенно влияет на её долговечность, поскольку в присутствии влаги происходит поверхностное гидролитическое разрушение поверхности древесины. Также влажная древесина создаёт благоприятную среду обитания для развития различных биоразрушителей, в первую очередь дереворазрушающих грибов. Таким образом, снижение водопоглощения древесины повышает долговечность изготовленных из неё конструкций. В ходе исследования были получены зависимости водопоглощения опытного образца от времени его экспозиции.

Определение краевого угла смачивания опытных образцов проводили методом нейтральной капли. Придание поверхности древесины гидрофобных свойств, что проявляется в повышении краевого угла смачивания, способствует снижению водопоглощения.

Таблица 1. Состав покрытий опытных образцов

№	Образец	Количество слоёв
1	Древесина (контроль).	-
2	$\text{SiO}_2$ , 10%	3
3	$\text{SiO}_2$ , 20%	3
4	$\text{SiO}_2$ , 40%	3
5	Магнофлок	3
6	Магнофлок + $\text{SiO}_2$ , 20%	2+2
7	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10%	3
8	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 20%	3
9	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% + $\text{SiO}_2$ , 10%	2+2
10	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% + $\text{SiO}_2$ , 20%	2+2
11	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% + $\text{SiO}_2$ , 40%	2+2
12	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% + Магнофлок	2+2
13	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% + (Магнофлок + $\text{SiO}_2$ , 20%)	2+2
14	НТФ, 10%	3
15	НТФ, 10% + $\text{SiO}_2$ , 40%	2+2
16	НТФ, 10% + Магнофлок	2+2
17	НТФ, 10% + (Магнофлок + $\text{SiO}_2$ , 20%)	2+2
18	НТФ, 20% + $\text{SiO}_2$ , 40%	2+2
19	НТФ, 40% + $\text{SiO}_2$ , 20%	2+2
20	НТФ, 40% + $\text{SiO}_2$ , 40%	2+2
21	НТФ, 40% + (Магнофлок + $\text{SiO}_2$ , 20%)	2+2

<sup>1</sup> ГОСТ 27484-87 «Испытание на пожароопасность. Методы испытаний. Испытание горелкой с игольчатым пламенем» (<http://vsegost.com/Catalog/19/19801.shtml>).

<sup>2</sup> ГОСТ 16483.20-72. «Древесина. Метод определения водопоглощения» (<http://vsegost.com/Catalog/26/26657.shtml>).

Исследования микологической стойкости опытных образцов проводилось по ГОСТ 9.048-89<sup>3</sup>. При этом поверхность образцов заражали суспензией спор грибов *Aspergillus niger* Tiegh., 1867; *A. terreus* Thom, 1918; *Aureobasidium pullulans* (de Bary & Lowenthal) G. Arnaud, 1918; *Paecilomyces variotii* Bainier, 1907; *Penicillium funiculosum* Thom, 1910; *P. ochrochloron* Biourge, 1923; *Scopulariopsis brevicaulis* (Sacc) Bainier, 1907; *Trichoderma viride* Pers., 1794. Дополнительно в суспензию были добавлены споры дереворазрушающих грибов *Serpula lacrimans* (Wulfen) Schroet, 1885 и *Antrodia sinuosa* (Fr.) P. Karst., 1881. Затем в соответствии с ГОСТ 9.048-89 производилась экспозиция образцов в благоприятных для

развития грибов условиях и оценка степени роста грибов по пятибалльной шкале.

**Результаты исследований**

Ниже в таблицах 2–5 приведены результаты исследований свойств опытных образцов.

*Огнезащитные свойства*

Как следует из результатов испытаний, обработка древесины нанодисперсным золем кремнезёма, магнофломом, а также их смесью не приводит к повышению её огнезащитных свойств. Использование в качестве одного из компонентов покрытия фосфорсодержащих соединений, напротив, существенно увеличивает огнезащищённость древесины. Как продемонстрировали испытания, для значительной части таких покрытий потеря массы образца не превышала 9%, что соответствует первому классу огнезащитной эффектив-

<sup>3</sup> ГОСТ 9.048-89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов» (<http://vsegost.com/Catalog/28/28597.shtml>).

Таблица 2. Результаты оценки огнезащитных свойств образцов по ГОСТ 27484-87

№	Состав образца	Продолжительность горения, т, с.	Потеря массы, Δm, %
1	немодифицированная древесина (контроль).	100	62
2	SiO <sub>2</sub> , 10%	96	84
3	SiO <sub>2</sub> , 20%	120	67
4	SiO <sub>2</sub> , 40%	100	62
5	Магнофлок	120	78
6	Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%	120	71
7	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10%	0	8
8	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 20%	0	6,1
9	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 10%	3	10,4
10	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 20%	27	16,8
11	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 40%	0	8,6
12	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + Магнофлок	2	4,6
13	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	1	9
14	HTФ, 10%	1	7,6
15	HTФ, 10% + SiO <sub>2</sub> , 40%	5	11,3
16	HTФ, 10% + Магнофлок	4	8,3
17	HTФ, 10% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	0	9,2
18	HTФ, 20% + SiO <sub>2</sub> , 40%	0	8,2
19	HTФ, 40% + SiO <sub>2</sub> , 20%	0	5,8
20	HTФ, 40% + SiO <sub>2</sub> , 40%	0	6,8
21	HTФ, 40% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	1	3,8

Таблица 4. Результаты определения краевого угла смачивания опытных образцов методом нейтральной капли

№	Состав образца	Краевой угол смачивания, °
1	немодифицированная древесина (контроль).	28,00
2	SiO <sub>2</sub> , 10%	17,85
3	SiO <sub>2</sub> , 20%	9,51
4	SiO <sub>2</sub> , 40%	7,35
5	Магнофлок	74,00
6	Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%	11,55
7	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10%	45,03
8	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 20%	63,86
9	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 10%	19,07
10	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 20%	22,97
11	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 40%	17,69
12	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + Магнофлок	44,50
13	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	24,86
14	HTФ, 10%	61,19
15	HTФ, 10% + SiO <sub>2</sub> , 40%	26,71
16	HTФ, 10% + Магнофлок	74,11
17	HTФ, 10% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	45,78
18	HTФ, 20% + SiO <sub>2</sub> , 40%	21,54
19	HTФ, 40% + SiO <sub>2</sub> , 20%	29,69
20	HTФ, 40% + SiO <sub>2</sub> , 40%	38,12
21	HTФ, 40% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	37,01

ности по ГОСТ Р 53292-2009. Хотя сама по себе обработка нанодисперсным кремнезёмом и магнофлоком и не приводит к повышению огнезащитных свойств древесины, их добавление в состав фосфорсодержащего покрытия в ряде случаев способствует повышению этих свойств. При этом важным

оказался порядок нанесения компонентов покрытия. Лучшие результаты достигались когда фосфорсодержащий компонент составлял его внутренний слой. В целом по результатам испытаний лучшие результаты показало покрытие состава НТФ, 40% + (Магнофлок + SiO<sub>2</sub>, 20%).

Таблица 3. Результаты оценки водопоглощения опытных образцов по ГОСТ 16483.20-72

№	Состав образца	Водопоглощение, %							
		1 час	1 сутки	4 суток	5 суток	6 суток	7 суток	18 суток	20 суток
1	немодифицированная древесина (контроль).	33,0	49,0	71,9	78,8	84,2	87,9	106,3	109,0
2	SiO <sub>2</sub> , 10%	19,4	53,2	62,0	66,0	69,2	72,9	93,5	94,9
3	SiO <sub>2</sub> , 20%	18,1	50,8	59,5	63,5	67,8	70,0	90,6	91,8
4	SiO <sub>2</sub> , 40%	16,3	47,6	56,5	60,2	64,0	67,5	87,8	88,9
5	Магнофлок	9,2	25,5	36,9	41,6	46,9	51,0	78,4	79,9
6	Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%	8,0	22,7	31,5	34,4	38,9	41,0	68,2	69,6
7	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10%	6,0	21,0	30,9	33,5	38,4	41,0	65,7	66,6
8	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 20%	6,0	20,6	30,7	33,5	37,5	40,0	63,8	64,5
9	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 10%	21,1	46,9	56,5	62,4	66,3	70,0	96,4	97,9
10	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 20%	16,8	42,0	52,6	57,9	62,3	67,0	91,1	93,0
11	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 40%	16,9	42,5	51,8	55,9	58,0	60,4	80,3	81,2
12	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + Магнофлок	6,6	20,4	31,8	34,6	38,4	41,9	62,4	64,0
13	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	5,8	18,5	28,7	32,0	35,2	38,5	58,0	59,4
14	НТФ, 10%	22,1	54,0	64,8	70,6	75,9	80,0	99,5	101,1
15	НТФ, 10% + SiO <sub>2</sub> , 40%	15,5	40,2	51,5	57,9	62,5	65,6	89,4	90,0
16	НТФ, 10% + Магнофлок	13,1	46,9	56,9	60,6	63,0	66,5	83,4	84,9
17	НТФ, 10% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	7,0	23,8	34,6	38,5	41,4	44,5	71,0	72,9
18	НТФ, 20% + SiO <sub>2</sub> , 40%	17,5	42,6	50,3	55,7	59,0	62,9	78,7	79,0
19	НТФ, 40% + SiO <sub>2</sub> , 20%	5,6	19,4	28,3	30,0	33,7	36,3	57,9	58,2
20	НТФ, 40% + SiO <sub>2</sub> , 40%	5,8	20,7	31,8	34,5	38,4	38,7	62,0	63,8
21	НТФ, 40% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	4,8	15,4	25,6	28,9	31,0	33,5	49,6	50,2

Таблица 5. Результаты оценки микологической стойкости опытных образцов по ГОСТ 9.048-89

№	Состав образца	Внешний вид после испытаний	Биостойкость	
			Балл	%
1	немодифицированная древесина (контроль).	Мицелий и спороношение грибов на 80-85% площади образца	5	0
2	SiO <sub>2</sub> , 20%	Отсутствие конидий и проросших спор грибов	0	100
3	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + SiO <sub>2</sub> , 10%	Отсутствие конидий и проросших спор грибов	0	100
4	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 10% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	Отсутствие конидий и проросших спор грибов	0	100
5	НТФ, 10%	Отсутствие конидий и проросших спор грибов	0	100
6	НТФ, 10% + (Магнофлок + SiO <sub>2</sub> , 20%)	Отсутствие конидий и проросших спор грибов	0	100
7	НТФ, 20% + SiO <sub>2</sub> , 40%	Отсутствие конидий и проросших спор грибов	0	100
8	SiO <sub>2</sub> , 20% + НТФ, 20%	Отсутствие конидий и проросших спор грибов	0	100



*Водопоглощение*

Как следует из полученных данных, любое модифицирование древесины в той или иной степени снижало её водопоглощение. При этом модифицирование древесины сосны нанодисперсным золев кремнезёма во всех исследованных концентрациях;  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% +  $\text{SiO}_2$ , 10%;  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% +  $\text{SiO}_2$ , 20%; 10% раствором НТФ; НТФ, 10% +  $\text{SiO}_2$ , 40% снизило водопоглощение не более, чем на 20% относительно немодифицированной древесины. Модифицирование составами Магнофлок; Магнофлок +  $\text{SiO}_2$ , 20%;  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10%;  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% +  $\text{SiO}_2$ , 40%; НТФ, 10% + Магнофлок; НТФ, 10% + (Магнофлок +  $\text{SiO}_2$ , 20%) и НТФ, 20% +  $\text{SiO}_2$ , 40% обеспечило снижение водопоглощения до 40%. Использование в качестве модификаторов  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 20%;  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% + Магнофлок;  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , 10% + (Магнофлок +  $\text{SiO}_2$ , 20%); НТФ, 40% +  $\text{SiO}_2$ , 20%; НТФ, 40% +  $\text{SiO}_2$ , 40% и НТФ, 40% + (Магнофлок +  $\text{SiO}_2$ , 20%) позволило снизить водопоглощение более, чем на 40%, причем последнее покрытие обеспечило снижение водопоглощения более, чем в два раза.

*Краевой угол смачивания*

Как следует из полученных результатов, к повышению краевого угла смачивания приводит поверхностное модифицирование образцов соединением магнофлок, а также фосфорсодержащими соединениями. При этом покрытие поверхности образца коллоидным раствором нанодисперсного кремнезёма, наоборот, приводило к уменьшению краевого угла смачивания, а, следовательно, и гидрофобных свойств покрытия. Таким образом, целесообразно поверх слоя нанодисперсного кремнезёма наносить слой, состоящий из гидрофобизаторов.

*Микологическая стойкость*

Как следует из полученных результатов, исследованные покрытия на основе азотсодержащих соединений и нанодисперсного кремнезёма обеспечивают высокую степень защиты древесины от микологических повреждений.

**Заключение**

Проведёнными исследованиями показано, что сэндвичевые покрытия на основе фосфорорганических соединений, нанодисперсного золя кремнезёма и полиакриламида при поверхностном модифицировании огнезащитные, биозащитные и гидрофобные свойства. При этом из исследованных образцов лучшими характеристиками обладал образец с покрытием нитрилотриметилфосфоновой кислотой, 40% + (полиакриламид состава  $(\text{CH}_2\text{CHCONH}_2)_n$  + нанодисперсный золь кремнезёма, 20%). По своим характеристикам это покрытие соответствует первому классу огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292-2009, является грибостойким по ГОСТ 9.048-89, а также снижает водопоглощение древесины по ГОСТ 16483.20-72 в два раза.

*Список источников*

1. *Страхов, В.Л.* Огнезащита строительных конструкций / В.Л. Страхов, А.М. Крутов, Н.Ф. Давыдкин. – Москва : ТИМР, 2000. – 433 с. – Текст : непосредственный.

2. *Покровская, Е.Н.* Получение биостойких материалов при поверхностной модификации древесины / Е.Н. Покровская. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 636–640.

3. *Покровская, Е.Н.* Сэндвичевые покрытия по древесине с использованием нанокмозитов / Е.Н. Покровская, И.Н. Чистов, Р.А. Шепталин. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2010. – № 7. – С. 78–83.

4. *Покровская, Е.Н.* Возможности применения фосфор-, кремнийсодержащих защитных составов для древесины / Е.Н. Покровская, Т.Г. Бельцова, Н.В. Великанова. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Защита древесины и целлюлозосодержащих материалов от биоповреждений». Рига, 27 октября 1989. – Рига : Институт химии древесины АН Латвийской ССР, 1989. – 266 с.

5. *Покровская, Е.Н.* Использование олигофурфурилоксисилоксана для повышения прочности деградированной древесины / Е.Н. Покровская, И.Н. Мельникова, В.И. Сидоров. – Текст : непосредственный // Химия древесины. – 1994. – № 1. – С. 42–45.

6. *Балакин, В.М.* Азот-фосфоросодержащие антипирены для древесины и древесных композиционных материалов (литературный обзор) / В.М. Балакин, Е.Ю. Полищук. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17, № 2. – С. 43–51.

7. *Ermeidan, M.* The Combined Effects of Boron and Polymer Modification on Decay Resistance and Properties of Wood / M. Ermeidan, D.E. Tomak. – Текст : электронный // Proceedings of the 16th International Material Symposium. – Denizli, 2016. – pp. 1574–1581. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/312096054\\_The\\_Combined\\_Effects\\_of\\_Boron\\_and\\_Polymer\\_Modification\\_on\\_Decay\\_Resistance\\_and\\_Properties\\_of\\_Wood](https://www.researchgate.net/publication/312096054_The_Combined_Effects_of_Boron_and_Polymer_Modification_on_Decay_Resistance_and_Properties_of_Wood) (дата обращения 25.08.2023).

8. Low Fluorinated Oligoamides for Use as Wood Protective Coating / Y. Zhang, L. Vespignani, M.G. Balzano [и др.]. – Текст : электронный // Coatings MDPI. – 2022. – № 12 (7). – p. 927. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/361723529\\_Low\\_Fluorinated\\_Oligoamides\\_for\\_Use\\_as\\_Wood\\_Protective\\_Coating](https://www.researchgate.net/publication/361723529_Low_Fluorinated_Oligoamides_for_Use_as_Wood_Protective_Coating) (дата обращения 25.08.2023).

9. Fixation of Chromium in Wood from Trivalent Chromium Salt Solutions / F. Jorge, T. Santos, J.P. Jesus, W.B. Banks. – Текст : электронный // Holzforschung. – 1999. – № 53. – pp. 465–473. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/240749855\\_Fixation\\_of\\_Chromium\\_in\\_Wood\\_from\\_Trivalent\\_Chromium\\_Salt\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/240749855_Fixation_of_Chromium_in_Wood_from_Trivalent_Chromium_Salt_Solutions) (дата обращения 25.08.2023).

10. *Humphrey, D.* The Chemistry of chromated Copper Arsenate Wood Preservative / D. Humphrey. – Текст : электронный // Reviews in Inorganic Chemistry. – 2002. – № 22. – pp. 1–40. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/280014814\\_The\\_chemistry\\_of\\_chromated\\_copper\\_arsenate\\_wood\\_preservative](https://www.researchgate.net/publication/280014814_The_chemistry_of_chromated_copper_arsenate_wood_preservative) (дата обращения 25.08.2023).

11. *Покровская, Е.Н.* Получение гидрофобных биостойких материалов при поверхностной модификации древесины /

Е.Н. Покровская. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2008. – № 3. – С. 91–96.

12. Смирнов, А.Н. Определения и классификация нанотехнологий и не только / А.Н. Смирнов. – Текст : непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 1 (83). – С. 78–81.

13. Исследования древокомпозитных конструкций с применением эпоксидных олигомеров, модифицированных углеродными нанотрубками / С.И. Рощина, М.С. Сергеев, А.В. Лукина, М.С. Лисятников. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 2. – С. 189–192.

14. Чернышева, Д.А. Анализ современных огнезащитных средств для деревянных конструкций / Д.А. Чернышева. – Текст : непосредственный // Сборник статей IX Международной научно-практической конференции «Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее»: В 3-х частях : Ч. 1. Пенза, 10 сентября 2017 г. – Пенза : Наука и просвещение, 2017. – 260 с. – С. 101–103.

15. Огнестойкость деревянных конструкций / В.И. Рябова, Н.О. Дериглазова, А.А. Чернышев, А.А. Вершинин. – Текст : непосредственный // Научные вести. – 2018. – № 5. – С. 367–375.

16. Покровская, Е.Н. Разработка наномодифицированных полифункциональных защитных систем для деревянных конструкций / Е.Н. Покровская. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2021. – № 1. – С. 59–66.

17. Шабанова, Н.А. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезёма / Н.А. Шабанова, П.Д. Саркисов. – Москва : Академкнига, 2004. – 208 с. – Текст : непосредственный.

18. Влияние некоторых добавок на характер распределения полиэтиленгидридсилоксана в древесине / П.В. Великанова, Г.Н. Мышелова, Е.Н. Покровская, В.И. Сидоров. – Текст : непосредственный // Химия древесины. – 1989. – № 6. – С. 100–103.

#### References

1. Strahov V.L., Krutov A.M., Davydkin N.F. Ogneshchita stroitel'nykh konstrukttsii [Fire Protection of Building Structures]. Moscow, TIMR Publ., 2000, 433 p. (In Russ.)

2. Pokrovskaya E.N. Poluchenie biostoikikh materialov pri poverkhnostnoi modifikatsii drevesiny [Research of Bioprotective Materials at Superficial Modification of Wood]. In: *Vestnik MGSU*, 2011, no. 7, pp. 636–640. (In Russ., abstr. in Engl.)

3. Pokrovskaya E.N., Chistov I.N., Sheptalin R.A. Sendvichevye pokrytiya po drevesine s ispol'zovaniem nanokompozitov [Sandwich Coatings on Wood Using Nanocomposites]. In: *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, 2010, no. 7, pp. 78–83. (In Russ.)

4. Pokrovskaya E.N., Belcova T.G., Velikanova N.V. Vozmozhnosti primeneniya fosfor-, kremniisoderzhashchikh zashchitnykh sostavov dlya drevesiny [Possibilities of Application of Phosphorus-, Silicon-Containing Protective

Compounds for Wood]. In: *Tezisy dokladov Vsesoyuznoi konferentsii «Zashchita drevesiny i tsellyulozosoderzhashchikh materialov ot biopovrezhdenii» [Abstracts of the All-Union Conference "Protection of Wood and Cellulose-Containing Materials from Bio-Damage"]*, Riga, October 27, 1989. Riga Institute of Wood Chemistry of the Academy of Sciences of the Latvian SSR Publ., 1989, 266 p., p. 26. (In Russ.)

5. Pokrovskaya E.N., Melnikova I.N., Sidorov V.I. Ispol'zovanie oligofurfuriloksisiloksana dlya povysheniya prochnosti degradirovannoi drevesiny [The Use of Oligofurfuryloxysiloxanes to Increase the Strength of Degraded Wood]. In: *Khimiya drevesiny*, 1994, no. 1. pp. 42–45. (In Russ.)

6. Balakin V.M., Polishchuk E. YU. Azot-Fosforosoderzhashchie Antipireny dlya drevesiny i drevesnykh kompozitsionnykh materialov (literaturnyi obzor) [Nitrogen-Phosphorus-Containing Flame Retardants for Wood and Wood Composite Materials (literature review)]. In: *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2008, V. 17, no. 2, pp. 43–51. (In Russ.)

7. Ermeydan M., Tomak D.E. The Combined Effects of Boron and Polymer Modification on Decay Resistance and Properties of Wood. In: *Proceedings of the 16th International Material Symposium*. Denizli, 2016. pp. 1574–1581. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/312096054\\_The\\_Combined\\_Effects\\_of\\_Boron\\_and\\_Polymer\\_Modification\\_on\\_Decay\\_Resistance\\_and\\_Properties\\_of\\_Wood](https://www.researchgate.net/publication/312096054_The_Combined_Effects_of_Boron_and_Polymer_Modification_on_Decay_Resistance_and_Properties_of_Wood) (Accessed 08/25/2023). (In Engl.)

8. Zhang Y., Vespignani L., Balzano M.G., Bellandi L., Camaiti M., Lubin-Germain N., Salvini A. Low Fluorinated Oligoamides for Use as Wood Protective Coating. In: *Coatings MDPI*, 2022, no. 12 (7), pp. 927. URL: [https://www.researchgate.net/publication/361723529\\_Low\\_Fluorinated\\_Oligoamides\\_for\\_Use\\_as\\_Wood\\_Protective\\_Coating](https://www.researchgate.net/publication/361723529_Low_Fluorinated_Oligoamides_for_Use_as_Wood_Protective_Coating) (Accessed 08/25/2023). (In Engl.)

9. Jorge F., Santos T., Jesus J.P., Banks W.B. Fixation of Chromium in Wood from Trivalent Chromium Salt Solutions. In: *Holzforschung*, 1999, no. 53, pp. 465–473. URL: [https://www.researchgate.net/publication/240749855\\_Fixation\\_of\\_Chromium\\_in\\_Wood\\_from\\_Trivalent\\_Chromium\\_Salt\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/240749855_Fixation_of_Chromium_in_Wood_from_Trivalent_Chromium_Salt_Solutions) (Accessed 08/25/2023). (In Engl.)

10. Humphrey D. The Chemistry of Chromated Copper Arsenate Wood Preservative. In: *Reviews in Inorganic Chemistry*, 2002, no. 22, pp. 1–40. URL: [https://www.researchgate.net/publication/280014814\\_The\\_chemistry\\_of\\_chromated\\_copper\\_arsenate\\_wood\\_preservative](https://www.researchgate.net/publication/280014814_The_chemistry_of_chromated_copper_arsenate_wood_preservative) (Accessed 08/25/2023). (In Engl.)

11. Pokrovskaya E.N. Poluchenie gidrofobnykh biostoikikh materialov pri poverkhnostnoi modifikatsii drevesiny [Producing Hydrophobic Biostable Materials under Surface Wood Modification]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal [Russian Forest Journal]*, 2008, no. 3, pp. 92–97. (In Russ., abstr. in Engl.)

12. Smirnov A.N. Opredeleniya i klassifikatsiya nanotekhnologii i ne tol'ko [Definitions and Classification of Nanotechnologies and Not Only]. In: *Vestnik Kubanskogo*

*gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, no 1 (83), pp. 81–84. (In Russ.)

13. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V., Lisyatnikov M.S. Issledovaniya derevokompozitnykh konstruksii s primeneniem epoksidnykh oligomerov, modifitsirovannykh uglerodnymi nanotrubkami [Study of Composite Structures with Modified Epoxy Oligomers Carbon Nanotubes]. In: *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya [Scientific and Technical Volga Region Bulletin]*, 2013, no 2, pp. 189–192. (In Russ., abstr. in Engl.)

14. Chernysheva D.A. Analiz sovremennykh ogneshchitnykh sredstv dlya derevyannykh konstruksii [Analysis of Modern Flame Retardants for Wooden Structures]. In: *Nauka i obrazovanie: sokhranyaya proshloe, sozdaem budushchee [Science and Education: Preserving the Past, We Create the Future]*, Collection of articles of the IX international scientific and practical conference, in 3 parts, Part 1, Penza, September 10, 2017. Penza, Nauka i prosveshchenie Publ., 2017, Part 1, pp. 101–103. (In Russ.)

15. Ryabova V.I., Deriglazova N.O., Chernyshev A.A., Vershinin A.A. Ognestojkost' derevyannykh konstruksij [Fire Resistance of Wooden Structures]. In: *Nauchnye vesti*, 2018, no 5, pp. 367–375. (In Russ.)

16. Pokrovskaya E.N. Razrabotka nanomodifitsirovannykh polifunktsionalnykh zashchitnykh sistem dlya derevyannykh konstruksij [Development of Nanomodified Multifunctional Protective Systems for Wooden Structures]. In: *Vestnik MGSU*, 2021, no. 1, pp. 59–66. (In Russ., abstr. in Engl.)

17. Shabanova N.A., Sarkisov P.D. Osnovy zol-gel tekhnologii nanodispersnogo kremnezema [Fundamentals of Sol-Gel Technology of Nanodispersed Silica]. Moscow, Akademkniga Publ., 2004, 208 p. (In Russ.)

18. Velikanova P.V., Myshelova G.N., Pokrovskaya E.N., Sidorov V.I. Vliyanie nekotorykh dobavok na kharakter rapredeleniya poliehtilengidridsiloksana v drevesine [The Effect of Some Additives on the Nature of the Distribution of Polyethylene Hydride Siloxane in Wood]. In: *Khimiya drevesiny*, 1989, no 6. pp. 100–103. (In Russ.)