

УДК 674.815

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

© А.А. Леонович<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.

Т.Н. Войтова<sup>1,2</sup>, асп., зам. нач. цеха ДСП

<sup>1</sup>С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: wood-plast@mail.ru

<sup>2</sup>ЗАО «Череповецкий ФМК», ул. Проезжая, 4, г. Череповец, Вологодская обл., Россия, 162604; e-mail: voytova@list.ru

Древесностружечные плиты, а также строительные и отделочные материалы на их основе традиционно широко и в возрастающих объемах используются в строительстве и мебельной промышленности. Ограничения накладываются в связи с предельно-допустимой концентрацией свободного формальдегида в воздухе жилых помещений, принятой в России. Один из путей решения этой проблемы связывают с использованием акцепторов. Целью работы являлось исследование эффективности нового акцептора – модифицированного амидофосфата, в наибольшей степени снижающего содержание формальдегида без потери основных показателей древесностружечных плит. Исследовано влияние акцептора на прочность образцов. Проведен подбор общего расхода этого продукта. Установлено, что использование предлагаемого акцептора позволяет выпускать древесные плиты с содержанием формальдегида менее 4,0 мг/100 г абс. сух. плиты, что соответствует требованиям ведущих зарубежных фирм и допустимо для использования их при производстве детской мебели и мебели для лечебных и учебных заведений. Проведена опытно-промышленная выработка партии плит объемом 250 м<sup>3</sup> в цехе Череповецкого фанерно-мебельного комбината на прессе «Диффенбахер». Получены характеристики выработанной продукции, соответствующей требованиям стандартов по основным показателям и содержанию формальдегида, установлен оптимальный расход акцептора.

*Ключевые слова:* формальдегид, акцептор, древесностружечные плиты, прочность, адгезия, карбамидоформальдегидное связующее.

Экологическую безопасность древесностружечных плит (ДСП) оценивают по эмиссии свободного формальдегида (СН<sub>2</sub>О) как ведущего токсического соединения [4], относя их к определенному классу: Е2; Е1; Е0,5. Последний класс (содержание СН<sub>2</sub>О ≤ 4,0 мг/100 г абс. сухой плиты по перфораторному методу) является обязательным для наиболее ответственных изделий (детская мебель, мебель для лечебных и учебных заведений). Переход на Е0,5 необходим для гармонизации с зарубежными стандартами, по которым работают ведущие фирмы, производящие древесноплитные материалы и фанеру.

Снижение эмиссии СН<sub>2</sub>О достигается введением в композицию реагирующих с ним акцепторов [1, 7]. В качестве акцепторов в промышленности находят применение соединения, образующие

аммиак (карбамид, меламин, аммиачная вода). Сообщается [8] о такой способности амидофосфата – продукта конденсации карбамида с фосфорной кислотой в присутствии специального катализатора, предназначенного для изготовления огнезащищенных древесных плит.

Амидофосфат модифицировали с получением продукта, в наибольшей степени отвечающего целям снижения содержания  $\text{CH}_2\text{O}$ . Аминогруппы ( $-\text{NH}_2$ ) модифицированного амидофосфата (ЛШ) вступают во взаимодействие с  $\text{CH}_2\text{O}$ . Для достижения класса Е0,5 модифицировали амидофосфат, синтезированный по [9], с тем, чтобы включить во взаимодействие со свободным  $\text{CH}_2\text{O}$ , не только  $-\text{NH}_2$  группы, но и остаток фосфорной кислоты, как это показано в работе [6].

Целью настоящей статьи является подбор общего расхода продукта для выполнения функции акцептора  $\text{CH}_2\text{O}$  и условий изготовления ДСП с обеспечением показателей прочности на уровне стандартов.

Скорость отверждения карбамидоформальдегидных смол (КФС) оценивают (ГОСТ 14231–88 [3]) по времени желатинизации на кипящей водяной бане. Поскольку температура отверждения при горячем прессовании составляет 105...180 °С, то использовали масляную баню с температурой 100, 120, 140, 160 и 180 °С. Для приготовления связующего в КФС концентрацией 68 % вводили раствор отвердителя сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (расход 3 %) и акцептора ЛШ (расход 0,5; 1,0 и 1,5 % (здесь и далее расход по абс. сух. веществам)).

*Глубину отверждения* КФС определяли по прочности образцов. Образцы березового лущеного шпона (50 × 50 × 1,2 мм), которые равномерно пропитывали раствором акцептора ЛШ с расходом 0,3 ... 1,5 %, сушили до влажности 2,0...2,5 %. Далее равномерно на обе стороны образца наносили связующее, состоящее из смолы и отвердителя. Расход связующего (от 7 до 10 %) контролировали весовым методом (по массе). Образцы помещали между деревянными колодками, моделируя клеевое соединение. Колодки с образцами закрепляли в струбцинах. Гайки струбцин затягивали динамометрическим ключом с усилием сжатия 0,33 МПа. Струбцины с образцами помещали в сушильный шкаф и выдерживали при температуре 100 °С в течение 5 мин, затем охлаждали и разбирали.

Для определения *эмиссии*  $\text{CH}_2\text{O}$  образцы лущеного березового шпона (размерами 400 × 400 × 1,2 мм) равномерно пропитывали водными растворами амидофосфата ЛШ, содержащими разное количество сухого акцептора. Образцы сушили при температуре 100 °С до влажности 2,0...2,5 % и использовали в качестве среднего слоя при изготовлении фанеры как модельного образца. Все образцы прессовали при одинаковых условиях: температура 120 °С, удельное давление 1,6 МПа, продолжительность 7 мин. Образцы кондиционировали. Эмиссию (выделение)  $\text{CH}_2\text{O}$  ( $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ) определяли при температуре 60 °С методом газового анализа [5] в приборе ПГА 4017-002 с ацетилацетоновым реактивом в качестве поглотительного раствора.

Для оценки *эффективности акцептора* использовали методику [2]. Препараты для анализа изготавливали из образцов березового лущеного шпона (50 × 50 × 1,2) мм. Их равномерно пропитывали раствором акцептора, сушили и наносили связующее из КФС и отвердителя равномерно на одну сторону образца. Расход связующего (10 %) контролировали весовым методом. Полученные образцы нагревали при температуре  $(105 \pm 1)$  °С в течение 15 мин. Содержание  $\text{CH}_2\text{O}$  определяли по методу WK1 [13] иодометрическим титрованием и вычисляли как среднее арифметическое по 6 пробам и относили к 1 г абс. сухой КФС. Контрольным служил образец шпона с нанесенным связующим без пропитки раствором акцептора.

Образцы плит изготавливали на лабораторном прессе марки АКЕ. Акцептор вводили в древесные частицы наружного слоя, внутреннего слоя и в оба слоя. Температура прессования 180 °С, удельное давление 2,5 МПа, продолжительность 0,2 мин/мм толщины готовой плиты. Результаты экспериментов обрабатывали методом вариационной статистики.

Модифицирующие добавки в КФС необходимо анализировать по их влиянию на процесс изготовления ДСП и на свойства конечной продукции.

С этой целью был изучен определяющий продолжительность прессования ДСП показатель – скорость отверждения связующего с последующей оценкой прочности плит.

В табл. 1 приведены данные о влиянии температуры на продолжительность отверждения КФС в присутствии акцептора ЛШ. Желатинизацию, как первую стадию отверждения КФС, фиксировали по потере текучести. С повышением температуры скорость отверждения возрастает при любом расходе акцептора, однако продолжительность отверждения несколько увеличивается.

Полная глубина отверждения КФС этим методом не была достигнута. Косвенно ее оценивали по прочности клеевого шва. Акцептор снижает прочность клеевого шва, особенно, если связующего используют меньше, чем требуется по норме (табл. 2). Сравнивая прочность образцов, изготовленных при предельных расходах связующего 7...10 %, можно сделать заключение,

Таблица 1

#### Продолжительность отверждения КФС

Температура, °С	Без акцептора	С акцептором ЛШ при различном расходе, %		
		0,5	1,0	1,5
100	75 ± 0,5	78 ± 0,9	83 ± 0,4	92 ± 0,5
120	52 ± 0,5	65 ± 0,8	63 ± 0,4	60 ± 0,4
140	47 ± 0,8	50 ± 0,7	54 ± 0,5	56 ± 0,4
160	44 ± 0,6	47 ± 0,5	45 ± 0,4	45 ± 0,4
180	36 ± 0,6	38 ± 0,6	41 ± 0,5	42 ± 0,5

Таблица 2

#### Прочность образцов при нормальном растяжении, МПа

Содержание акцептора в шпоне, %	Расход связующего, масс. %			
	7	8	9	10
0,3	0,28	0,29	0,32	0,35
0,5	0,22	0,29	0,31	0,33
0,7	0,20	0,26	0,30	0,33

1,0	0,18	0,26	0,30	0,32
1,5	0,16	0,26	0,28	0,30
Контроль (без акцептора)	0,30	0,31	0,33	0,36

что при нормативном расходе связующего это влияние будет незаметно. Отсюда следует вывод о целесообразности введения акцептора только в наружные слои ДСП, где нормативный расход составляет 12...14 %. В этом случае негативное влияние акцептора на прочность не должно сказываться. Интерпретировать результаты можно с позиций повышения однородности и монолитности клеевого слоя, когда дефекты, выражающиеся во включении в структуру КФС иного вещества, в частности, близкого по наличию функциональных групп  $-NH_2$ , как это имеет место у акцептора ЛШ, будут меньше.

Проследим влияние расхода акцептора ЛШ на эмиссию  $CH_2O$  ( $mg/(m^2 \cdot ч)$ ), определенную методом газового анализа:

Контрольный образец (без акцептора).....1,15

Образец, содержащий:

0,3 % акцептора.....0,80

0,7 % акцептора.....0,51

Из этих данных следует, что с повышением расхода акцептора его эффективность возрастает. Однако улучшение качественного показателя – повышение уровня экологической безопасности ограничивается, с одной стороны, снижением прочности клеевых швов, с другой – качеством плит в целом. Таким образом, противонаправленное действие акцептора требуется оптимизировать по критериям действующих стандартов: прочность при изгибе – не менее 13 МПа; прочность при растяжении перпендикулярно к пласти – не менее 0,35 МПа; содержание  $CH_2O$  – не более 4,0 мг/100 г плиты.

Для перехода на промышленное изготовление ДСП необходимо установить место введения акцептора ЛШ. Предложено три варианта введения акцептора в древесные частицы при равном для всех вариантов его расходе: только в наружный слой (вариант I), только во внутренний слой (вариант II); в оба слоя – в наружные – 30 %, во внутренние – 70 % от общего расхода (вариант III). Полученные по трем вариантам данные указывают на целесообразность введения акцептора только в наружный слой, так как в этом случае акцептор наиболее эффективен, плиты имеют наибольшую прочность при растяжении перпендикулярно к пласти. Результаты испытания лабораторных образцов ДСП приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Показатели физико-механических свойств лабораторных ДСП,  
изготовленных в различных вариантах введения акцептора**

Показатель	Вариант введения акцептора в слои
------------	-----------------------------------

	I	II	III
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	700 ± 10,9	710 ± 10,9	670 ± 11,3
Прочность при статическом изгибе, МПа	7,3 ± 0,42	8,7 ± 0,60	7,5 ± 0,46
Прочность при растяжении перпендикулярно к пласти, МПа	0,23 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,2 ± 0,03
Содержание CH <sub>2</sub> O, мг/100 г абс. сух. плиты	1,1 ± 0,05	1,4 ± 0,07	1,8 ± 0,08

Результаты исследования были использованы для обоснования возможности промышленного использования акцептора ЛШ для повышения экологической безопасности ДСП до уровня класса эмиссии E0,5. На основании этого выработана опытно-промышленная партия плит общим объемом 250 м<sup>3</sup> (15 625 м<sup>2</sup> при толщине 16 мм) в цехе ДСП ЗАО «Череповецкий ФМК». Плиты производили на технологической линии способом непрерывного прессования на базе прессы «Диффенбахер» длиной 28 180 мм. Условия: начальная температура прессования – 250 °С с понижением до 190 °С, начальное давление прессования – 0,50 МПа с понижением до 0,15 МПа; общая продолжительность прессования – 90 с (пресс-фактор 4,8 с/мм). Показатели полученных плит характеризуются большей однородностью по сравнению с показателями лабораторных образцов (табл. 4).

Изготовленные плиты отвечают требованиям стандарта по прочности, относятся по эмиссии к классу E0,5. Для оценки процесса старения, приводящего к частичному распаду комплекса, образовавшегося при связывании

Таблица 4

**Показатели физико-механические свойств  
и санитарно-гигиеническая характеристика образцов промышленных ДСП**

Показатель	С акцептором	Контроль	Норма
	ЛШ	(без акцептора)	по ГОСТ 10632–2007
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	680 ± 3,7	675 ± 4,0	550...920
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	15,3 ± 0,2	15,8 ± 0,2	Не менее 13,0
Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, МПа	0,42 ± 0,03	0,48 ± 0,03	Не менее 0,35
Содержание CH <sub>2</sub> O, мг/100 г абс. сухой плиты			

(перфораторный метод)			
	3,2 ±0,20	7,9 ±0,23	Не более 8,0
Выделение CH <sub>2</sub> O, мг/(м <sup>2</sup> ·ч) (газоаналитический метод)			
	2,0 ±0,07	2,9 ±0,02	Не более 3,5

Таблица 5

**Изменение во времени содержания CH<sub>2</sub>O (мг/100 г плиты) в образцах ДСП**

Содержание CH <sub>2</sub> O	С акцептором ЛШ (1 %)	Контроль (без акцептора)
Первоначальное	3,2	7,9
Через 5 сут. после изготовления	2,9	5,6
Через 12 мес. после изготовления	2,8	3,6

CH<sub>2</sub>O акцептором ЛШ, образцы плит выдерживали в нормальных условиях в течение 12 мес. (табл. 5). Установлено, что при выдержке CH<sub>2</sub>O мигрирует из контрольных ДСП и через 12 мес. его содержание уменьшается на 53...55 % по сравнению с первоначальным. В случае применения акцептора ЛШ в количестве 1,0 % содержание CH<sub>2</sub>O сокращается в 2,7 раза по сравнению с контрольным (без акцептора) образцом за счет связи акцептора с CH<sub>2</sub>O и прочного удержания во времени. По прошествии 12 мес. содержание CH<sub>2</sub>O снизилось всего лишь на 11...13 % от первоначального значения. Установлено, что комплекс с акцептором более устойчив при эксплуатации изделий. Изменение уровня содержания CH<sub>2</sub>O для образцов контрольных плит составило 4,3 мг/100 г плиты (7,9 – 3,6), для образцов с акцептором – 0,4 мг/100 г (3,2 – 2,8), т. е. выделение CH<sub>2</sub>O из изделий при их эксплуатации у модифицированных ДСП сокращается почти в 10 раз. Следовательно, мебель, изготовленная из ДСП с применением акцептора ЛШ, более экологически безопасна.

Для оценки эффективности акцептора ЛШ в табл. 6 приведены содержащиеся в ряде публикаций стандартные показатели ДСП с различными акцепторами CH<sub>2</sub>O. Минимальное содержание CH<sub>2</sub>O достигается в плитах с карбамидом, однако прочность их сильно падает, несмотря на повышенную плотность, и не соответствует ГОСТ 10632–2007. Промышленно изготовленные ДСП с акцептором ЛШ полностью соответствуют стандарту и характеризуются низким содержанием CH<sub>2</sub>O, отвечающим (с учетом вариабельности показателя) классу эмиссии E0,5.

Таблица 6

**Показатели физико-механических свойств и санитарно-гигиеническая характеристика ДСП, изготовленных с применением различных акцепторов CH<sub>2</sub>O**

Показатель	Карбамид	Меламин	Акцептор	Акцептор	Акцептор ЛШ
------------	----------	---------	----------	----------	-------------

	[11]	[11]	[12]	[10]	(из табл. 4)
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	820	730	750	600	680
Прочность при растяжении, МПа	0,30	0,60	0,37	0,335	0,42
Прочность при изгибе, МПа	9,0	21,6	19,2	18,3	15,3
Содержание СН <sub>2</sub> O, мг/ 100 г плиты (перфораторный метод)	4,0	9,8	5,5	5,6	3,2

#### Выводы

1. Синтезированный на базе модифицированного амидофосфата акцептор ЛШ позволяет изготавливать экологически безопасные ДСП с основными показателями, соответствующими ГОСТ 10632–2007 и относящимися к классу эмиссии формальдегида E0,5.
2. Акцептор ЛШ целесообразно вводить в древесные частицы наружного слоя в количестве 1,0 % с подачей в загрузочную воронку смесителя наружного слоя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анохин А.Е.* Снижение токсичности мебели. М.: МГУЛ, 2002. 111 с.
2. *Гамова И.А., Нгуен Тхи Минь Фьонг.* Использование высокомолекулярных акцепторов формальдегида для снижения токсичности MDF // Состояние и перспективы развития производства древесных плит: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 19–20 марта 2008 г., Балабаново: ЗАО ВНИИДРЕВ, 2008. С. 29–33.
3. ГОСТ 14231–88. Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1988. 3 с.
4. ГОСТ 10632–2007. Плиты древесностружечные. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2007. 15 с.
5. ГОСТ 32155–2013. Плиты древесные и фанера. Определение выделения формальдегида методом газового анализа. М.: Изд-во стандартов, 2013. 5 с.
6. *Долгих О.Л., Леонович А.А.* Использование продуктов синтеза карбамида с ортофосфорной кислотой в качестве акцепторов формальдегида // Биологическое разнообразие, озеленение, лесопользование: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых СПбГЛТА, 11–12 ноября 2008 г. СПб.: СПбГЛТА, 2009. С. 177–182.
7. *Леонович А.А., Шелоумов А.В.* Получение огнезащищенных древесноволокнистых плит с использованием фосфорамиды ФКМ // Лесн. журн. 2014. № 2. С. 101–108. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Леонович А.А., Шпаковский В.Г.* Древесностружечные плиты: огнезащита и технология: моногр. СПб.: Химиздат, 2012. 160 с.
9. Пат. 517491 РФ, МКИ<sup>6</sup> В 27 К 3/52. Антипирен и способ его приготовления / Леонович А.А. № 2108036/15; заявл. 21.02.75; опубл. 05.03.93.
10. Пат. 2059456 РФ, МПК<sup>7</sup> В27 К 3/52, С 08 L 97/02, В 37 N 3/02. Акцептор формальдегида / Хатилович А.А., Белопухова В.Г., Кротова С.А., Рило Р.П., Самохвалов Е.П.. № 92009643/04; заявл. 03.12.92; опубл. 10.05.96.

11. Пат. 2145280 РФ, МПК<sup>7</sup> В 27 N 3/00. Способ производства древесностружечных плит / Дейнеко Д.В., Селиверстов В.Ж., Назаренков А.А., Панкратов Б.А., Бам Б.Д., Матюшин И.Т., Жаравин В.Д., Анохин А.Е.. заявл. 23.08.99; опубл. 10.02.2000.

12. Пат. 2148067 РФ, МПК<sup>7</sup> В 27 К 3/52, С 08 L 97/02, В 37 N 3/02. Акцептор формальдегида / Пучков Б.В., Стрелков В.П., Белопухова В.Г., Кротова С.А., Довгополов М.В.. № 99109676/04; заявл. 30.04.99; опубл. 27.04.2000.

13. *Роффэль Э.* Выделение формальдегида из древесностружечных плит / Пер. с нем. А.П. Штембаха и В.Б. Семеновой; под ред. А.А. Эльберта. М.: Экология, 1991. 159 с.

Поступила 04.03.14

УДК 674.815

### Improvement of the Environmental Safety of Wood Particle Boards

*A.A. Leonovich<sup>1</sup>, Doctor of Engineering, Professor*

*T.N. Voytova<sup>1,2</sup>, Postgraduate Student, Deputy Manager*

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskij lane, 5, Saint-Petersburg, 194021, Russia; e-mail: wood-plast@mail.ru

<sup>2</sup>CJSC «Cherepovetsky Plywood-Furniture Group of Enterprises», Proezhaya str., 4, Cherepovets, Vologda region, 162604, Russia; e-mail: voytova@list.ru

Wood particle boards, as well as the construction and finishing materials based upon wood particle boards are traditionally used in increasing volumes in the construction works and furniture industry. The limitations prescribed in Russia are connected with the maximum permissible concentration of uncombined formaldehyde (CH<sub>2</sub>O) in the living space. One of the possible ways of solutions of this problem is the using of acceptors. The main idea of this paper was researching the effectiveness of new acceptor – modified amidophosphate, serving to reduce CH<sub>2</sub>O content in the wood particle boards products without loss of base indices. The acceptor adhesive interaction influence in wood particle boards has been studied. The selection of overall product consumption is carried out. It has been established that the use of suggested acceptor will make it possible to produce wood particle boards with CH<sub>2</sub>O content less than 4 mg/100 g abs. dry board. This ratio of CH<sub>2</sub>O is permissible to use wood particle boards in the manufacturing of the kids furniture and furniture for medical and educational institutions as well as for the conformance to the requirements of the leading foreign companies. The experimental-industrial output of board batch in volume 250 m<sup>3</sup> is carried out in the department Cherepovetsky PFGE at the press «Dieffenbacher». The characteristics of the manufactured production, corresponded to the standards at the base indices and CH<sub>2</sub>O content are reported. The optimum expense of acceptor is established.

*Keywords:* Formaldehyde, acceptor, particle boards, strength, adhesion, urea-formaldehyde binder.

#### REFERENCES

1. Anokhin A.E. *Snizhenie toksichnosti mebeli* [Reducing of Furniture Toxicity]. Moscow, 2002. 111 p.

2. Gamova I.A., Nghuen Tkhi Min Fiong. Ispol'zovanie vysokomolekuljarnyh akceptorov formal'degida dlja snizhenija toksichnosti MDF [The Use of High-Molecular Formaldehyde Acceptors for MDF Board Toxicity Abatement]. *Sostojanie i perspektivy razvitiya proizvodstva drevesnyh plit: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Conditions and Development Prospect of Particle Board Production: Outline Reports of the Internat. Theor. and Pract. Conf., March 19–20, 2008]. Balabanovo, 2008. pp. 29–33.
  3. *GOST 14231–88. Smoly karbamidoformal'degidnye. Tehnicheskie uslovija* [State Standart 14231 – 88. Urea-Formaldehyde Resins. Technical Standarts]. Moscow, Publ. of Standarts, 1989. 3 p.
  4. *GOST 10632–2007. Plity drevesnostruzhechnye. Tehnicheskie uslovija* [State Standart 10632 – 2007. Particle Board. Technical Standarts]. Moscow, Standartinform, 2007. 15 p.
  5. *GOST 32155–2013. Plity drevesnye i fanera. Opredelenie vydelenija formal'degida metodom gazovogo analiza* [Particle Board and Plywood. Determination of Formaldehyde Release by Gas Analysis Method]. Moscow, Standartinform, 2013. 5 p.
  6. Dolgikh O.L., Leonovich A.A. Ispol'zovanie produktov sinteza karbamida s ortofosfornoj kislotoj v kachestve akceptorov formal'degida [The Use of Carbamide and Phosphoric Acid Synthesis Product as Formaldehyde Acceptors]. *Biologicheskoe raznoobrazie, ozelenenie, lesopol'zovanie: sb. mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh SPbGLTA.* [Biodiversity, Landscaping and Forest Management: Outline Reports of the Inerenat. Theor. and Pract. Conf. of the Young Scientists of SPbSFTA, November 11–12, 2008]. St.-Petersburg, 2009. pp. 172–182.
  7. Leonovich A.A., Sheloumov A.V. Poluchenie ognezashhishennyh drevesnovoloknistyh plit s ispol'zovaniem fosforamida FKM [Obtaining Flame-Resistant Fiberboards Using Phosphoramide FKM]. *Izv. vissh. ucheb. zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2014, no. 2, pp. 101–108.
  8. Leonovich A.A., Shpakovskij V.G. *Drevesnostruzhechnye plity: ognezashhita i tehnologija: monogr.* [Wood Particle Boards: Flame Retardance and Technology: Monograph]. St.-Peterburg, 2012. 160 p.
  9. Leonovich A.A. *Antipiren i sposob ego prigotovlenija* [The Way to Obtain Antipyrène (Fire-Retarding Agent)]. Patent RF, no. 517491.
  10. Hatilovich A.A., Belopukhova V.G., Krotova S.A., Rilo R.P., Samohvalov E.P. *Akceptor formal'degida* [Formaldehyde Acceptors]. Patent RF. no. 2059456, 1996.
  11. Dejneko D.V., Seliverstov V.Zh., Nazarenkov A.A., Pankratov B.A., Bam B.D., Matjushin I.T., Zharavin V.D., Anokhin A.E. *Sposob proizvodstva drevesnostruzhechnyh plit* [The Way of Production of Particle Boards]. Patent RF, no. 2145280, 2000.
  12. Puchkov B.V., Strelkov V.P., Belopukhova V.G., Krotova S.A., Dovgopolov M.V. *Akceptor formal'degida* [Formaldehyde Acceptors]. Patent RF, no. 2148067, 2000.
  13. *Roffael E. Die Formaldehyd-Abgabe von Spanplatten und anderen Werkstoffen.* Stuttgart, 1982. (Russ. ed.: Schtembach A.P., Semyonova V.B. *Vydelenie formal'degida iz drevesnostruzhechnyh plit*). Moscow, 1991. 159 p.
-