Библиографический список

1. Агапов, А. И. Оптимизация технологических процессов деревообработки [Текст] : учебное пособие для вузов / А. И. Агапов. – Киров : ВятГУ, 2012 – 81 с.
2. Агапов, А. И. Оптимизация брусово-развального способа раскроя пиловочника с выпиливанием двух брусьев [Текст] / А. И. Агапов. – Киров : ВятГУ, 2011 – 77 с.
3. Аксенов, П. П. Теоретические основы раскроя пиловочного сырья [Текст] / П. П. Аксенов. – М. : Лесная промышленность, 1960. – 216 с.
4. Ветшева, В. Ф. Раскрой крупномерных бревен на пиломатериалы [Текст] / В. Ф. Ветшева. – М. : Лесная промышленность, 1976. – 168 с.
5. Рыкунин, С. Н. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств [Текст] : учебное пособие / С. Н. Рыкунин, Ю. П. Тюкина, В. С. Шалаев. – М. : МГУЛ, 2003. – 225 с.

DOI: 10.12737/4518
УДК 674.8: 574

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФАНЕРЫ

аспирант кафедры химии **М. В. Анисимов**
заведующая кафедрой химии, доктор технических наук, профессор **Л. И. Бельчинская**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электротехники, теплотехники и гидравлики **В. М. Попов**
ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»
maxmailwork@gmail.com, chem.@vglta.vrn.ru, etgvglta@mail.ru

При современном производстве древесных плитных материалов (ДПМ) широкое распространение в деревообрабатывающей отрасли получили клеи на основе карбамидоформальдегидных смол (КФС). В Европейских странах доля КФС составляет 83 % от общего количества используемых связующих. Это обусловлено рядом технологических, эксплуатационных и экономических причин. Однако существенным недостатком этих клеев является токсичность, определяемая содержанием свободного формальдегида, выделение которого ведет к загрязнению помещений любого типа, где используются ДПМ.

Учитывая актуальность использования этих клеев при изготовлении ДПМ, для получения экологически безопасной фанеры на их основе проводились исследования влияния предварительного активирования электромагнитными полями (ЭМП) СВЧ и слабыми импульсными магнитными полями (ИМП) наполнителя клеевых композиций на снижение уровня эмиссии свободного формальдегида и улучшение физико-химических свойств

клеевой композиции.

По данным Г.С. Черкасова, отечественные фанерные предприятия переходят на выпуск продукции, отвечающей требованиям евростандарта EN 13986:2002 «Древесные плиты для применения в конструкциях. Характеристика, оценка соответствия и маркировка» и маркировку такой продукции зарубежным знаком соответствия CE. Существенным ограничивающим фактором, препятствующем этому переходу, по мнению А.Н. Ларионова, является использование при производстве фанеры клеев с высокой эмиссией свободного формальдегида, что приводит к превышению допустимой предельной концентрации этого токсиканта в жилых и рабочих помещениях. В настоящее время на деревообрабатывающих предприятиях существует несколько путей решения данной проблемы. Во-первых, отказ от использования КФС смол и замена их другими малотоксичными смолами (полиуретановые клеи). Во-вторых, применение малотоксичных КФС, в-третьих, применение наполнителей, вводимых в состав традиционно используемых клеевых композиций, заменяющих частично (или полностью) регуляторы вязкости, такие как каолин, древесная мука и др. В-четвертых, это введение в клеевую композицию акцепторов формальдегида. Каждый из этих методов имеет существенные недостатки, обусловленные высокой стоимостью применяемых связующих или наполнителей, снижением прочностных характеристик готовой фанеры, малой эффективностью используемых наполнителей.

Наиболее часто применяемыми наполнителями в деревообрабатывающей промышленности являются древесная, пшеничная или ржаная мука, каолин и ряд других материалов. В данной работе, кроме традиционных наполнителей (древесная мука и каолин), использовали природный цеолит клиноптилолит.

Древесная мука является мелко измельченной, высушенной древесиной, обладающей волокнистой структурой. Ее традиционно получают из хвойных пород: ели, сосны, пихты и ряда других мягких пород, однако такой вид наполнителя может содержать древесную смолу. Если ее присутствие нежелательно, тогда используется древесина твердых лиственных пород – ясеня, клена и др. При введении древесной муки в полимерную основу улучшается водостойкость клеевого соединения. Природа данного процесса заключается в адсорбции воды (данный процесс частично обратим) из клеевой композиции перед ее отверждением. В связи с чем обезвоженный клей после отверждения не растрескивается. Однако, согласно исследованиям З. Вирпши и Я. Бжезиньского, данный эффект недолговечен. В отличие от древесной муки при введении в связующее на основе КФС пшеничной и ржаной муки наблюдается уменьшение твердости клеевого соединения, но при этом значительно облегчается процесс механической обработки древесных плитных материалов, изготовленных на его основе. Использование данных наполнителей снижает влагостойкость клеевого шва и устойчивость к биологическим вредителям в виде бактерий и плесени. Как отмечают Н. Старк и К. Клемонс, наличие в клеевой

композиции древесной, пшеничной, ржаной муки в большей степени влияет на вязкость клея и незначительно (на ±10 %) изменяет прочность при изгибе.

Каолин, традиционный наполнитель клеевых композиций на основе КФС, является слоистым глинистым минералом с жесткой каркасной решеткой типа 1:1. Пакеты в структуре минерала прочно связаны друг с другом большим числом водородных связей. Каолин характеризуется только внешней адсорбционной поверхностью, его пористость обусловлена зазорами между контактирующими частицами. В химическом составе каолина большая доля приходится на – SiO_2 (60 %), Al_2O_3 (35 %), в небольшом количестве (~1%) содержатся Fe_2O_3, TiO_2, CaO, MgO, K_2O, Na_2O. По данным А. Клёсова влагосодержание обычно около 3 %, площадь поверхности обычно изменяется от 8 до 70 $м^2$/г. Пористость минерала составляет порядка 13 %. Однако, по полученным нами данным [1], адсорбционная емкость каолина по формальдегиду мала и составляет 2…4 мг/г, что не позволяет использовать его в качестве сорбента формальдегида, улучшающего эксплуатационные показатели клеев. Химическая или температурная активация способны существенно повысить его адсорбционную емкость для ряда токсичных веществ. Однако данный эффект не наблюдается в отношении сорбции формальдегида. Поэтому каолин в клеевых композициях может выполнять только роль наполнителя.

Клиноптилолит является нанопористым каркасным природным минералом, имеющим активные центры различной природы: неэкранированные (или частично экранированные) катионы, комплексы из многозарядного катиона и гидроксильных групп, бренстедовские и льюисовские кислотные центры, мостиковые атомы кислорода, дефекты кристаллической структуры [2]. Для сорбционных процессов определяющим являются размеры и расположение каналов. Кроме каналов цеолитные каркасы содержат пустоты, образующие совместно с каналами полиэдры, внутри которых имеются свободные объемы размерами 0,6…1,1 нм. В структуре клиноптилолита имеется 4 типа каналов эллиптического сечения. Размеры десятичных каналов равны 0,705×0,425, а восьмичленных – 0,46×0,395 нм. Согласно исследованиям Н.Ф. Челищева, матрица клиноптилолита – каркасная открытая, с расположением обменных ионов в открытых полостях и каналах. В нативной форме клиноптилолит (как было установлено нами) обладает малой адсорбционной емкостью (6 мг/г). Для изготовления экологически безопасной фанеры могут быть использованы следующие способы активации наполнителей: термообработка, реагентная модификация (кислотная или щелочная) или совместная. Термическая обработка, описанная в работе [1, 3], затруднительна в силу технологических особенностей изготовления клеевых композиций. Термоактивация наполнителя, вводимого в клей, наряду с уменьшением эмиссии формальдегида при отверждении клеевого слоя, существенно снижает время отверждения связующего за счет введения нагретого до 453К наполнителя. Химическая обработка (кислотная или щелочная) не

экологична, требует постоянного контроля значения pH, является экономически затратной. Кроме того, введение химически активированных наполнителей может приводить к изменению водородного показателя клеев, в результате чего изменяется нормированное время отверждения и жизнеспособность связующего. Этот процесс приводит к ухудшению свойств клеевой композиции.

Анализ существующих методов активации не обнаружил экономически выгодных и эффективных способов и привел к поиску новых, ранее не использованных методов [4, 5, 6] электромагнитной обработки диэлектрических материалов в виде природных алюмосиликатов и искусственного кремнезема.

В качестве сорбента-наполнителя клеевой композиции использовался природный минерал клиноптилолит (К95) словацкого происхождения, с содержанием клиноптилолита 95 % и 5 % гидрослюда, размер частиц 20 мкм.

Ранее в работе [3] на энергодисперсионной приставке к сканирующему электронному микроскопу определен элементный состав используемого сорбента. В образце содержится три неметалла (C, O, Si) и семь металлов (Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Cu) табл. 1.

В группе определенных металлов обнаружено Fe в количестве ~ 1 % (табл. 1), в каолине же, по данным Н.Ф. Солодкого, А.С. Шамрикова, В.М. Погребенкова, содержание железа составляет ~ 0,1 %. Проводилась серия работ по активации поверхности природного сорбента под действием ЭМП СВЧ и ИМП и определяли физико-химические показатели клеевых композиций с активированным наполнителем. Для определения значений каждого показателя проводилось не менее 30 экспериментов. По результатам измерений методом статистического анализа рассчитывали каждое значение физико-химических показателей. Оценку погрешности полученных экспериментальных данных проводили методами математической статистики для малых выборок в соответствии с методиками К. Дерффеля и В.И. Вершинина. С этой целью определяли воспроизводимость и точность измерений. В качестве численной меры воспроизводимости использовали величину стандартного отклонения (S). Точность измерений определяли по величине доверительного интервала (X).

Для активации сорбента использовались следующие приборы: установка СВЧ с максимальной мощностью микроволн 800 Вт и две установки для получения импульсного магнитного поля с величиной магнитной индукции от 1,9 до 120 мТл соответственно (электропитание осуществляется от сети 220 В с частотой 50 Гц). Отличительной особенностью влияния ИМП

Таблица 1

Элементный состав клиноптилолита

Место рождение	Содержание основных элементов, ат. %									
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Cu
$К_{95}$	5,69	54,81	0,19	0,61	5,16	26,90	2,46	1,76	0,99	1,42

является наличие экстремума на кинетической кривой сорбции формальдегида на минеральных сорбентах через 48 часов после обработки в ИМП и длиновременного релаксационного процесса [3, 7]. В связи с этим, обработанный в ИМП клиноптилолит вводили в клеевую композицию через 48 часов после активации.

Режимы предадсорбционной обработки характеризуются следующими параметрами: время обработки, мощность поля СВЧ, величина импульсного магнитного поля (ИМП). Режимы обработки приведены в табл. 2.

В ходе исследований определены максимальные значения сорбционной емкости, являющиеся основным показателем для оптимальных режимов предадсорбционной обработки клиноптилолита. Для ЭМП СВЧ – мощность поля СВЧ – 800 Вт, время обработки – 4 мин. Для ИМП время обработки – 0,5 мин., величина магнитной индукции 71 мТл.

В качестве связующего для изготовления фанеры в работе использовали малотоксичную смолу словацкого происхождения KRONORES CB 1100 и российскую смолу КФ–Н66Ф.

Отвердителем в клеевой композиции являлся хлорид аммония, традиционно применяемый в промышленности при горячем способе отверждения. Вязкость клея KRONORES CB 1100 регулировалась наполнителем (древесная мука), клея КФ-Н66Ф – каолином. В данной работе частично заменяли традиционные наполнители каолин и древесную муку клиноптилолитом. Рецептуры используемых клеев и соотношения наполнителей 1 и 2 приведены в табл. 3.

Отвержденную композицию в течение суток выдерживали при 293 К, затем размельчали до получения фракции 0,5 мм [8].

Исследование эмиссии свободного формальдегида из отвержденного клея проводили фотоколорометрически ацетилацетоновым методом [9].

Полученный порошок в количестве 10 г вводили в колбу (4) и нагревали на водяной бане (3). Колбу герметично соединяли с сосудом (5), в котором находилось 70 мл дистиллированной воды. Этот сосуд помещали в емкость(6) с холодной водой (рис.). Через колбу с порошком пропускали 50 л воздуха со скоростью 1 л/мин. Воздух проходил через детектор давления (1) и газовый счетчик (2), а затем через дистиллированную воду. Через 50

Таблица 2

Режимы активации клиноптилолита

Режим активации	Способ активации			
	Электромагнитное поле СВЧ			Импульсное магнитное поле (ИМП)
Мощность поля СВЧ, Вт	200	400	800	–
Время обработки, мин	4	4	0,5; 1; 2; 4; 5; 6	0,25; 0,5; 0,75; 1
Величина магнитной индукции, мТл	–			1,9; 22; 25; 29; 40; 44; 47; 59; 71; 120

Таблица 3

Рецептуры применяемых клеевых композиций

№ образца	Клей (мас. ч.)	Отвердитель (мас. ч.)	Наполнитель 1 (мас. ч.)	Наполнитель 2 (мас. ч.)
Образец 1	KRONORES CB 1100 (100)	Хлористый аммоний (0,8)	Древесная мука (10)	–
Образец 2	KRONORES CB 1100 (100)	Хлористый аммоний (0,8)	Древесная мука (7,8)	Неактивированный клиноптилолит (2,2)
Образец 3	KRONORES CB 1100 (100)	Хлористый аммоний (0,8)	Древесная мука (7,8)	Клиноптилолит, активированный в СВЧ (2,2)
Образец 4	KRONORES CB 1100 (100)	Хлористый аммоний (0,8)	Древесная мука (7,8)	Клиноптилолит, активированный в ИМП (2,2)
Образец 5	Смола КФ-Н66Ф (100)	Хлористый аммоний (0,6)	Каолин (10)	–
Образец 6	Смола КФ-Н66Ф (100)	Хлористый аммоний (0,6)	Каолин (7,8)	Неактивированный клиноптилолит (2,2)
Образец 7	Смола КФ-Н66Ф (100)	Хлористый аммоний (0,6)	Каолин (7,8)	Клиноптилолит, активированный в СВЧ (2,2)
Образец 8	Смола КФ-Н66Ф (100)	Хлористый аммоний (0,6)	Каолин (7,8)	Клиноптилолит, активированный в ИМП (2,2)

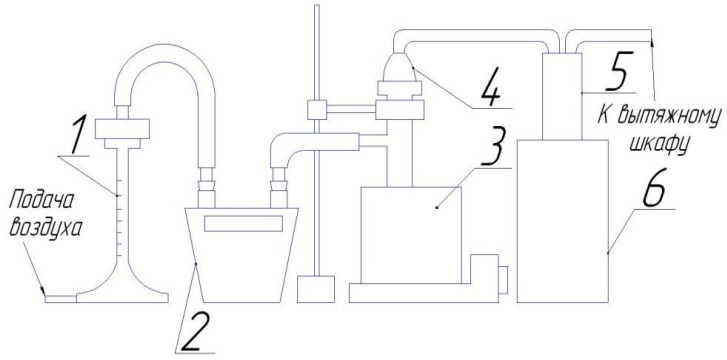

Рисунок. Установка для определения эмиссии формальдегида из клеевой композиции: 1 – детектор давления; 2 – газовый счетчик; 3 – водяная баня; 4 – колба с испытуемым порошком; 5 – колба с дистиллированной водой; 6 – емкость с холодной водой

минут из сосуда с раствором формальдегида отбирали 10 мл раствора, добавляли 10 мл ацетилацетона и 10 мл ацетата аммония. Концентрацию свободного формальдегида определяли фотоколориметрически ацетилацетоновым методом (чувствительностью 0,001 мг/дм^3) при длине волны $\lambda = 412$ нм.

Для полученных клеевых композиций определяли следующие физико-химические показатели: массовая доля сухого остатка, которая устанавливалась гравиметрически при выдержке полученных образцов в термошкафу при температуре (105 ± 2) °С с последующим контролем массы до постоянного значения; водород-

ный показатель измеряли на pH-метре Hanna HI 221; время желатинизации при 100 ^{0}C устанавливали при постоянном перемешивании клея и одновременном нагреве на водяной бане до потери текучести клеевой композиции; время желатинизации при 20 °C – до потери текучести клея при этой температуре; вязкость определяли на вискозиметре ВЗ – 246 [10].

Для образцов 5…8 (табл. 3), а так же при полной замене каолина клиноптилолитом, проводились исследования внутренних напряжений в процессе отверждения клеевого слоя. При реализации задачи непрерывного определения внутренних напряжений, возникающих в процессе отверждения клеевой прослойки, использовалась установка и метод, приведенные в работе [11]. Согласно этому методу величина изгиба клеевой пары постоянно фиксируется путем измерения емкости плоского конденсатора, состоящего из клеевой пары и неподвижной обкладки конденсатора. Клеевая пара представляет собой пластины шпона длиной 10 см и шириной 1 см с соотношением толщин 1:3 и клеевой прослойки нормированной толщины. С одной стороны образца размещается алюминиевая фольга, играющая роль подвижной обкладки конденсатора. Между подвижной и неподвижной обкладками конденсатора создается электрическое поле, замеряемое цифровым измерителем «RLC E7–22», который одновременно регистрирует и емкость плоского конденсатора.

Технология измерения внутренних напряжений клеевой прослойки в процессе ее отверждения заключается в нанесении клеевого слоя нормированной толщины на предварительно подготовленную поверхность шпона, затем наносится другой слой шпона меньшей толщины, обклеенный сверху алюминиевой фольгой. Полученная клеевая пара закрепляется консольно (один край образца не закреплен) в ячейке установки. К неподвижной и подвижной обкладкам конденсатора подсоединяется цифровой измеритель, подающий на обкладки электрический заряд. В процессе отверждения клеевой прослойки происходит деформация (изгиб) свободного конца клеевой пары, что вызывает изменение емкости плоского конденсатора. Непрерывное изменение емкости фиксируется цифровым измерителем.

В результате исследований определены значения основных физико-химических свойств клеевых композиций на основе карбамидоформальдегидных смол. Результаты физико-химических исследований представлены в табл. 4.

Использование клиноптилолита, активированного в ЭМП СВЧ и ИМП, в качестве сорбента-наполнителя позволяет снизить уровень эмиссии свободного формальдегида из отвержденной клеевой композиции и время ее желатинизации (табл. 4), что способствует уменьшению времени прессования фанеры. Уменьшение времени желатинизации при 20 °C находится в пределах допустимых значений (табл. 4). Скорость отверждения возрастает, по-видимому, в результате поляризации кислотных центров SiOH клиноптилолита под действием слабых импульсных полей и увеличения за счет этого кислотности клея (табл. 4). Введение активированного клиноптилолита оказывает такое же влия-

Таблица 4

Основные и физико-химические свойства клеевых композиций

Номер образца	w, %	pH	t1, c	t2, ч	B, c	c, %	ŋ, мг/м^3
Допустимые значения для клеевой композиции на основе KRONORES 1100	65…67	7,2…8,7	35…65	> 8	45…65	0,1…0,2	0,124
Образец 1	66	7,5	45	8,5	45	0,2	0,082
Образец 2	66	7,5	44	8,6	45	0,2	0,08
Образец 3	66	7,2	40	8,6	48	0,17	0,07
Образец 4	67	7,3	39	8,4	46	0,17	0,074
Допустимые значения для клеевой композиции на основе КФ-Н66Ф	65…67	6,5…7,5	40…70	> 8	20…120	0,12	0,124
Образец 5	65	7,5	42	8,5	46	0,15	0,128
Образец 6	65	7,5	42	8,5	45	0,11	0,126
Образец 7	66	7,1	41	9	48	0,1	0,104
Образец 8	65	7,2	40	8,6	46	0,11	0,115

*Примечание – нумерация образцов взята из табл. 3, w – массовая доля сухого остатка, pH –водородный показатель, t1 – время желатинизации при 100 °С, t2 – время желатинизации при 20 °С, В – вязкость (по ВЗ – 246), с – массовая доля свободного формальдегида, ŋ – эмиссия свободного формальдегида.

ние на вязкость клеевой композиции, что и при использовании каолина и древесной муки.

Механизм влияния СИМП обсуждается с привлечением подходов, приведенных в работах А.Л. Бучаченко, А.Ю. Персидской, И.Р. Кузеева, В.А. Антипина, В.Н. Бинги, А.В. Савина, на основании которых при воздействии СИМП происходит активация сложных систем на спиновом уровне. Относительно сложной структуры клиноптилолита, рассматриваемой в данной работе, имеется вероятность поляризации в электромагнитных полях групп SiOH, кислотность которых выше обычных силанольных групп согласно работам Ю.И. Тарасевича. Придерживаясь этих воззрений также вероятно спиновое разупорядочивание в группах AlOH, FeOH, MgOH, гидроксилированных катионах и др., и, как следствие, образование радикальных пар, являющихся активными центрами. Вихревое электрическое поле, индуцируемое переменным импульсным магнитным полем, вероятно, оказывает влияние на ориентацию диполей активных сорбционных центров и стимулирует неравновесное состояние с возбуждением дополнительных активных центров, обладающих высокой адсорбционной активностью.

Воздействие ЭМП СВЧ заключается в поглощении энергии волны в большей степени адсорбционно связанными молекулами воды в составе клиноптилолита. Этот процесс происходит мгновенно (доли

секунды) [12]. При этом разрываются межмолекулярные связи между молекулами воды и структурной матрицей клиноптилолита [3]. Под воздействием поля СВЧ диполи воды непрерывно вращаются перпендикулярно направлению движения электромагнитной волны и при достижении температуры 100 °С происходит ее испарение. Имеющиеся в структуре минерала ионы приобретают направленное положение в сторону действия силовых линий поля и за счет частой смены этого направления происходит достаточно быстрое их взаимодействие с выделением тепла [12]. Движение дипольных молекул и ионов в структуре минерала приводит к быстрому разогреву образца и эмиссии воды из минерала.

Определена прочность клеевого слоя по величине внутреннего напряжения для клеевых композиций с природным наполнителем (образец 6), обработанным в ЭМП СВЧ (образец 7) и в ИМП (образец 8), результаты представлены в табл. 5.

Внутренние напряжения в клеевой композиции, содержащей неактивированный клиноптилолит, снижается на 6 % в сравнении с образцами, изготовленными по традиционной методике [1]. Активация минерала в ЭМП СВЧ повышает прочность клеевого слоя на 20 %, при обработке в ИМП – на 14 %.

Выводы:

1) Определено снижение уровня эмиссии свободного формальдегида из отвержденной клеевой композиции на основе словацкой смолы KRONORES CB 1100 (KR) и российской смолы КФ–Н66Ф (KF).

2) При введении в клеи клиноптилолита, активированного в ЭМП СВЧ, значение эмиссии свободного формальдегида снижается на 15 % для клея KR и на 19 % для KF. Активации в ИМП уменьшает эмиссию свободного формальдегида на 10 % для KR и KF.

3) Определено влияние активированного в ЭМП клиноптилолита на физико-химические свойства клеев:

– снижение времени желатинизации готовой клеевой композиции в пределах допустимых значений, позволяющее уменьшить время прессования готовой фанеры.

– обеспечивается повышение кислотности клеевой композиции в пределах допустимых значений, способствующей уменьшению количества вводимого отвердителя и сокращению экономических затрат.

4) Установлено снижение внутренних напряжений в отвержденом клеевом слое, при введении необработанного клиноптилолита на 6 %, при введении минерала, активированного в ЭМП СВЧ и слабых ИМП – на 20 % и 14 % соответственно.

Таблица 5

Величина внутренних напряжений клеевого слоя в зависимости от способа активации наполнителя клиноптилолита

Номер образца из табл. 3	5	6	7	8
Величина внутренних напряжений (σ), МПа	1,19	1,12	0,95	1,02

Библиографический список

1. Бельчинская, Л. И. Влияние наполнителей клеевой композиции для обеспечения экологической безопасности фанеры [Текст] / Л. И. Бельчинская, М. В. Анисимов // Научный вестник. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1.

2. Бельчинская, Л. И. Природозащитные технологии обезвреживания и утилизации отходов мебельных производств [Текст] / Л. И. Бельчинская; Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2002. – 210 с.

3. Ходосова, Н. А. Снижение концентрации формальдегида в окружающей среде алюмосиликатными сорбентами [Текст] : дис. ... канд. хим. наук: 03.00.16 / Н. А. Ходосова. – Иваново, 2009. – 197 с.

4. Anisimov, M. V. Neutralization of waste water from formaldehyde and heavy metals by activated clinoptilolite in electromagnetic fields [Text] / M. V. Anisimov, L. I. Belchinskaya, K. V. Strokova, J. Sedliačik, G. A. Petuhova // Adhesives in woodworking industry : Zbornic referatov XXI International Sympozium, 26-28.06.2013; Technical University in Zvolen. – Zvolen, 2013. – PP. 80-85.

5. Активация клиноптилолита в электромагнитных полях для очистки сточных вод от формальдегида [Текст] / М. В. Анисимов [и др.] // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды : сборник материалов Всероссийской конференции, Новочебоксарск, 25-26 октября 2012 г.; редкол.: О. Е. Насакин, П. М. Лукин, К. В. Липин (отв. ред.). – Новочебоксарск, 2012. – С. 39-40. – Библиогр.: с. 40 (3 назв.).

6. Анисимов, М. В. Цеолитный наполнитель, активированный в электромагнитных полях, для производства фанеры [Текст] / М. В. Анисимов // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 4. – С. 94-102.

7. Бельчинская, Л. И. Адсорбция формальдегида на минеральных нанопористых сорбентах, обработанных импульсным магнитным полем [Текст] / Л. И. Бельчинская, Н. А. Ходосова, Л. А. Битюцкая // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2009. – Т. 45. – № 2. – С. 218-221.

8. Liptáková, E. Chēmia a aplikāciapomocnych lātok v drevārskom priemysle [Text] / E. Liptáková, M. Sedliačik. – Bratislava, 1989. – 520 c.

9. ГОСТ 9621-94. Древесина слоистая клееная. Методы определения физических свойств [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1994.

10. ГОСТ 14231-88. Смолы карбамидоформальдегидные. ТУ [Текст]. – Введ. с 88.01.01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 28 с.

11. Шендриков, М. А. Повышение прочности клеевых соединений древесины путем модификации клея электрическим полем [Текст] : автореф. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / М. А. Шендриков. – Воронеж, 2011. – 17 с.

12. Побединский, В. С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ, СВЧ и УФ диапазонов [Текст] / В. С. Побединский. – Иваново : ИХР РАН, 2000. – 128 с.