

УДК 674.028.9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.127

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ВЛАГОСТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ФАНЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Ф. Замилова, асп.

М.Ф. Галиханов, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Пестова, магистр

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. Карла Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: Alinka-attractive@yandex.ru,
mgalikhanov@yandex.ru, pestovanata@mail.ru

В статье приведены результаты исследования влияния постоянного электрического поля на влагостойкие и адгезионные свойства фанерных материалов. Получены электрические характеристики фанерных материалов из различных пород древесины и клеев. Выявлено, что поляризация фанеры в процессе приготовления или поляризация только клея в постоянном электрическом поле позволяют значительно повысить ее прочностные свойства (прочность сцепления соединения «клей–шпон»). Установлено, что при предварительной поляризации клея предел прочности при скалывании возрастает на 15...350 %; при поляризации фанерных образцов в процессе их изготовления предел прочности при скалывании увеличивается на 15...450 % по сравнению с образцами, на которые не воздействовало электрическое поле. Отмечено, что наибольшие значения предела прочности при скалывании имеют фанерные материалы из березового шпона, который обладает более высокими показателями прочности древесного волокна. Фанерные образцы, поляризуемые в постоянном электрическом поле, более стойки к расслоению, короблению, дольше сохраняют свою целостность во влажной среде. Безусловно, это связано с влиянием поляризованного состояния клея на адгезию к шпону. Воздействие электрического поля повышает влагостойкость фанерных образцов на 0,9...22,0 %, водостойкость – на 3,0...17,0 %. Предлагаемый метод представляет практический интерес и может быть реализован в условиях производства для получения высокопрочной влагостойкой фанеры.

Ключевые слова: фанера, поляризация, карбамидоформальдегидная смола, эпоксидная смола, поливинилацетат, прочность, постоянное электрическое поле, влагопоглощение, водопоглощение.

Для цитирования: Замилова А.Ф., Галиханов М.Ф., Пестова Н.А. Влияние постоянного электрического поля на влагостойкость и прочность фанерных материалов // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 127–138. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.127

Введение

Клееная слоистая древесина в настоящее время составляет значительную долю среди готовой продукции деревоперерабатывающих предприятий [1, 3, 7, 17]. Одним из показателей качества фанерных материалов является их механическая прочность, которая определяется силой адгезии соединения «шпон–клей» [9, 14, 17]. Повышения прочности фанерных материалов можно достичь многими способами: модифицированием существующих технологий склеивания древесины, совершенствованием состава уже существующих смол, разработкой новых клеев с различными добавками [2, 18, 20]. Однако используемые в настоящее время способы и средства повышения качества фанеры не всегда удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к подобным материалам. В этих условиях на первый план выходят методы повышения адгезионной прочности клееной древесины, предполагающие использование интенсивных технологий, например воздействие электрическими и магнитными полями, ультразвуком и др. [5, 8, 9, 12–14, 16–21].

Авторы работ [8, 16] исследовали повышение прочности клеевых соединений древесины под воздействием электрического поля. Для этого они использовали образцы из дуба и березы и карбамидоформальдегидный клей, который предварительно обрабатывали в течение 15 мин электрическим полем напряженностью $E = 0 \dots 2000$ В/см; затем в обработанный клей добавляли отвердитель и производили склеивание. Результаты исследований показали, что воздействие электрического поля на полимерный компонент клея позволяет получить более прочную клееную древесину.

В работе [5] приведены данные по влиянию постоянного электрического поля на гигроскопические свойства фанеры. Было показано, что поляризация фанеры незначительно снижает водо- и влагопоглощение материала.

Цель настоящей работы – исследование воздействия постоянного электрического поля в процессе изготовления фанерных материалов на их сорбционные и прочностные свойства.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – шпон различных пород древесины (береза, орех, эвкалипт, ясень) – ГОСТ 99–96 «Шпон лущеный. Технические условия»; смола карбамидоформальдегидная марки КФ-Ж – ГОСТ 14231–88 «Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия»; поливинилацетатный клей марки ПВА-М – ТУ 2385-002-54824507–04; эпоксидная смола марки ЭД-20 – ГОСТ 10587–84 «Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия»; отвердители: хлористый аммоний для карбамидоформальдегидных смол – ГОСТ 2210–73 «Аммоний хлористый технический. Технические условия»; марки Л-20 для эпоксидных смол – ТУ 6-06-1123–98.

Образцы изготавливали с использованием разных технологий.

Первая технология (ПФ – *поляризация фанеры*) заключалась в следующем. Фанерные образцы с жидким (неотвержденным) клеевым слоем устанавливались в поляризующую ячейку, которая в свою очередь являлась и прессом, создающим давление до 0,5 МПа (см. рисунок).

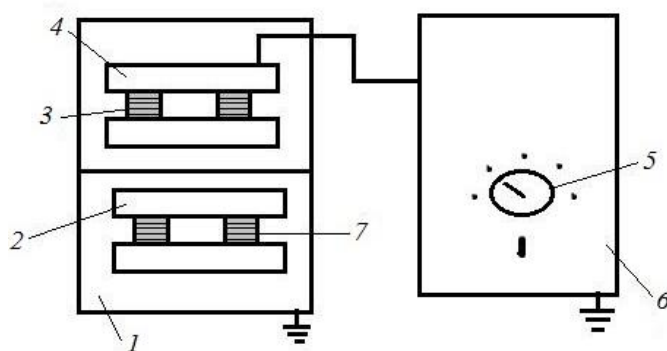


Схема отверждающей и поляризующей установки:
 1 – термошкаф; 2 – отверждающая ячейка; 3 – поляризующие образцы; 4 – отверждающая и поляризующая ячейка; 5 – регулятор подаваемого генератором напряжения; 6 – генератор высокого напряжения; 7 – контрольные образцы

Ячейку помещали в термошкаф, нагретый до температуры 60...120 °С (в зависимости от вида используемого клея). Поляризацию фанерных образцов с одновременным отверждением клея осуществляли в постоянном электрическом поле с напряжением на электродах 10 кВ в течение 20...40 мин (в зависимости от вида используемого клея).

По второй технологии (ПК – *поляризация клея*) поляризации подвергали только клей до его применения для приготовления фанерных образцов. Для этого стеклянную емкость (чашку Петри) с клеем помещали на 10 мин между поляризующими электродами ячейки при напряжении на электродах 10 кВ и комнатной температуре. При необходимости добавляли отвердитель и осуществляли склеивание фанерных образцов без дальнейшего приложения постоянного электрического поля.

Третья технология (БП – *без поляризации*) предполагала приготовление образцов при тех же температурных и временных режимах, но поляризацию клея и фанеры не проводили (см. рисунок).

Предел прочности при скалывании $\tau_{ск}$ по клеевому слою определяли по ГОСТ 9624–2009 «Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании». Для проведения испытаний на скалывание изготавливали фанерные образцы, состоящие из 5 слоев шпона и 4 слоев клея (в случае березы) или 7 слоев шпона и 6 слоев клея (в случае ореха, эвкалипта, ясеня). Шпон нарезали на заготовки размерами 95×40 мм. Каждый лист шпо-

на соединяли соседними при соблюдении условия перпендикулярного направления волокон.

Испытания проводили на разрывной машине Т-42, соответствующей ГОСТ 28840–90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования».

Косвенно о прочности адгезионного соединения «шпон–клей» судили по внешнему виду фанерных образцов, испытываемых на водо- (ГОСТ 16483.20–72 «Древесина. Метод определения водопоглощения») и влагопоглощение (ГОСТ 16483.19–72 «Древесина. Метод определения влагопоглощения»).

Электретные характеристики готовых фанерных образцов (потенциал поверхности ($V_{эф}$, кВ); напряженность электрического поля (E , кВ/м); эффективная поверхностная плотность заряда ($\sigma_{эф}$, мкКл/м²) измеряли с помощью измерителя параметров электростатического поля ИПЭП-1 на расстоянии 2 см от поверхности образца.

Результаты исследования и их обсуждение

Основным прочностным показателем фанерных материалов, показывающим прочность именно адгезионного сцепления «шпон–клей», является предел прочности при скалывании по клеевому слою. Для испытаний были выбраны наиболее часто используемые в производстве фанеры виды шпона из березы, ореха, эвкалипта и ясеня и карбамидоформальдегидной смолы, обладающей следующими преимуществами [6, 7]:

- высокая адгезионная способность;
- сниженное содержание свободного формальдегида (по сравнению с фенолформальдегидными смолами);
- бесцветный клеевой шов, улучшающий эстетические качества фанерной продукции;
- высокая скорость отверждения;
- возможность сборки пакета без предварительной сушки шпона, что уменьшает затраты на производство и количество производственных операций;
- высокие диэлектрические свойства;
- низкая стоимость.

Однако для производства клееной древесины часто используют и другие адгезивы (эпоксидные, поливинилацетатные). Поэтому в качестве модельных объектов готовили фанерные образцы и на их основе.

Средние значения (по 5 образцам) пределов прочности при скалывании по клеевому слою 4 образцов фанерных материалов различного состава приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Прочность фанерных образцов шпона различного состава,
изготовленных по разным технологиям**

Клей + шпон	Предел прочности при скалывании, МПа		
	ПФ	ПК	БП
Карбамидоформальдегидная смола (температура отверждения – 120 °С, время отверждения – 20 мин):			
береза	3,3	3,0	1,4
орех	1,6	1,1	0,9
эвкалипт	2,0	1,4	0,9
ясень	3,3	2,8	1,7
Эпоксидная смола (температура отвер- ждения – 120 °С, время отверждения – 40 мин):			
береза	4,3	4,1	2,1
орех	3,4	2,9	2,1
эвкалипт	2,9	2,1	1,3
ясень	2,9	2,4	1,4
Поливинилацетатный клей (температура отверждения – 60 °С, время отвержде- ния – 20 мин):			
береза	3,0	3,2	2,9
орех	2,2	2,2	1,6
эвкалипт	1,1	0,9	0,2
ясень	1,3	1,3	1,1

Как видно из табл. 1, наибольшими значениями предела прочности при скалывании обладают фанерные материалы на основе березового шпона. Это объясняется более высокими механическими показателями прочности древесного волокна березы. Сравнение фанерных образцов показало, что предварительная поляризация клея (ПК) в постоянном электрическом поле повышает прочность фанерных материалов на 15...350 %. Лучшие результаты получены для фанерных материалов на основе березового шпона, худшие – из орехового шпона.

Повышение прочности фанерных материалов за счет воздействия постоянного электрического поля можно объяснить структурными изменениями в полимерной матрице клеев, происходящими под энергетическим воздействием. Поляризация приводит к интенсивному упорядочиванию в расположении макромолекул полимера, сближению их между собой [11, 15], формированию новых молекулярных связей в виде сшивок макромолекул [10].

В работе [8] указывается, что обработка карбамидоформальдегидного слоя в электрическом поле значительно снижает его вязкость. Это способствует более глубокому проникновению клея в древесину, более полному

смачиванию и лучшему растеканию его по поверхности древесины и, как следствие, повышению адгезионной прочности клеевого соединения.

При использовании поляризации (электретирования) в процессе приготовления образцов получаемые фанерные материалы еще больше упрочняются: их предел прочности при скалывании на 15...450 % выше, чем у контрольных. В данном случае скорее всего происходит комплексное воздействие постоянного электрического поля как на полимерный компонент фанеры – клей, так и на древесину шпона. Подобное явление отмечено авторами [12] при использовании обработки магнитным полем неотвержденной клеевой прослойки между поверхностями древесины.

В работе [4] показано, что при поляризации изменяется структура полимерных материалов. Ориентация макромолекул, сопровождающаяся упорядочиванием отдельных структурных элементов полимера, ведет к упрочнению материала. Этот факт может иметь место и в изучаемых фанерных образцах.

Для того, чтобы узнать происходит ли электретирование при отверждении клея в процессе обработки фанеры в постоянном электрическом поле, были измерены электретные характеристики сразу после изготовления образцов и через 20 сут (табл. 2).

Таблица 2

**Электретные характеристики фанерных образцов
различного состава**

Шпон + клей	$V_{эф}$, В	E , В/м	$\sigma_{эф}$, мкКл/м ²
Береза + КФ-Ж	48,0/1,0	2861/20	0,025/0,001
Береза + ПВА-М	44,0/1,0	2413/44	0,020/0,001
Береза + ЭД-20	123,0/50,0	6761/2185	0,055/0,020
Орех + КФ-Ж	197,0/3,3	12 800/163	0,131/0,002
Орех + ПВА-М	173,0/1,5	8400/20	0,082/0,001
Орех + ЭД-20	77,0/25,0	4244/1435	0,034/0,010
Эвкалипт + КФ-Ж	191,0/2,0	9500/57	0,088/0,002
Эвкалипт + ПВА-М	114,0/1,0	5900/100	0,052/0,002
Эвкалипт + ЭД-20	76,0/15,0	4772/1100	0,040/0,010
Ясень + КФ-Ж	55,0/1,0	3389/45	0,030/0,001
Ясень + ПВА-М	51,0/1,0	2825/25	0,026/0,001
Ясень + ЭД-20	81,0/10,0	4488/105	0,040/0,002

Примечание. В числителе приведены данные на момент изготовления, в знаменателе – через 20 сут хранения.

Данные табл. 2 иллюстрируют, что на всех фанерных образцах регистрируется электрическое поле, т. е. клеи находятся в поляризованном (электретном) состоянии. Электретные характеристики, снятые через 20 сут хранения у готовых фанерных образцов на основе эпоксидной смолы, показывают более высокие значения $V_{эф}$, E и $\sigma_{эф}$, чем с другими клеями. Это свя-

зано с лучшими электретыными характеристиками эпоксидных полимеров по сравнению с поливинилацетатом или карбамидоформальдегидной смолой.

В работе [4] повышение прочности древесных композиционных материалов на основе эпоксидных смол объясняется тем, что в ее структуре под действием электрического поля происходит образование сильных ОН...ОН связей и увеличение количества С–О–С групп. Это свидетельствует о развитии процесса сшивания через более простую эфирную связь наряду со сшиванием через аминогруппу.

Наилучший эффект повышения прочности при поляризации отмечен для фанеры на основе шпона эвкалипта, что можно объяснить тем, что из всех представленных пород он обладает наименьшими плотностью и удельным объемным электрическим сопротивлением, что благоприятствует обработке фанеры в электрическом поле и лучшему упорядочиванию, сближению молекул клея.

Из изучаемых фанерных образцов лучшими прочностными характеристиками обладают эвкалиптовая фанера на основе ПВА-М и березовая фанера на основе КФ-Ж, полученные по технологии ПФ.

Известно, что в условиях повышенной влажности фанерные материалы расслаиваются. Повышение адгезионного взаимодействия «шпон–клей» должно препятствовать этому процессу. Поэтому на следующем этапе работы полученные фанерные материалы были испытаны на водо- и влагопоглощение с контролем их внешнего вида.

Влияние постоянного электрического поля на сорбционные характеристики (водо- и влагопоглощение) фанерных образцов через 25 сут после изготовления представлено в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты испытания на водо- и влагопоглощение (%)
фанерных образцов, изготовленных по разным технологиям**

Шпон + клей	Водопоглощение		Влагопоглощение	
	ПФ	БП	ПФ	БП
Береза + КФ-Ж	117,0	120,0	18,0	20,0
Береза + ЭД-20	74,8	78,2	21,0	24,8
Береза + ПВА-М	114,0	122,0	20,1	22,0
Орех + КФ-Ж	61,4	70,7	13,0	16,0
Орех + ЭД-20	29,6	31,5	15,4	17,7
Орех + ПВА-М	74,0	81,8	7,7	9,0
Эвкалипт + КФ-Ж	62,7	69,2	13,0	16,0
Эвкалипт + ЭД-20	43,9	56,9	22,4	24,1
Эвкалипт + ПВА-М	48,8	50,1	6,2	7,1
Ясень + КФ-Ж	76,2	80,1	45,8	57,2
Ясень + ЭД-20	39,8	57,0	10,9	18,0
Ясень + ПВА-М	97,0	108,0	31,0	53,0

Необходимо отметить, что у фанеры на основе КФ-Ж и ПВА-М набухание больше, чем на основе ЭД-20, что может быть связано с набуханием самого клея. Судя по полученным данным, разница в набухании поляризованных и неполяризованных (контрольных) образцов незначительна. Это связано с быстрой релаксацией поляризованного состояния фанеры в условиях полного погружения в воду.

При проведении испытаний наблюдались коробление и расслаивание фанерных образцов, не обработанных в электрическом поле. При этом фанерные образцы, в процессе приготовления которых применялось постоянное электрическое поле (технология ПФ), практически не изменили своего первоначального внешнего вида, что также может служить косвенным признаком повышенной адгезии между шпоном и клеем.

Заключение

Таким образом, использование постоянного электрического поля в процессе приготовления фанерных материалов позволяет значительно повысить их адгезионные свойства (прочность сцепления соединения «клей–шпон»). Фанерные образцы, поляризуемые в постоянном электрическом поле, более стойки к расслоению, короблению, лучше сохраняют свою целостность во влажных средах.

Предлагаемый метод получения фанерных материалов представляет практический интерес и может быть реализован в условиях производства для выпуска высокопрочной влагостойкой фанеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васечкин Ю.В. Технология и оборудование для производства фанеры: учеб. для д/техн-в. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 310 с.
2. Вертячих И.М., Гольдаде В.А., Неверов А.С., Пинчук Л.С. Влияние электрического поля полимерного электрета на сорбцию паров органического растворителя // Высокомолекулярные соединения Сер. Б. 1982. Т. 24, № 9. С. 683–687.
3. Волынский В.Н. Технология клееных материалов: учеб.-справ. пособие. М.: Профи, 2009. 392 с.
4. Воронежцев Ю.И., Гольдаде В.А., Пинчук Л.С., Снежков В.В. Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композитов / под ред. А.И. Свириденка. Минск: Наука и техника, 1990. 263 с.
5. Замилова А.Ф., Салдаева О.С., Галиханов М.Ф. Влияние поляризации фанеры в процессе приготовления на ее водо- и влагопоглощение // Вестн. техн. ун-та. 2015. Т. 18, № 13. С. 57–60.
6. Кириллов А.Н., Карасев Е.И. Технология фанерного производства: учеб. для д/техн-в. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 312 с.
7. Куликов В.А., Чубов А.Б. Технология клееных материалов и плит: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 340 с.

8. *Мозговой Н.В.* Прочность клеевых соединений древесины на основе электрообработанных клеев // Науч. журн. КубГАУ. 2012. № 75. С. 484–493.
9. *Попов В.М., Иванов А.В.* Интенсивная технология получения клееной древесины повышенной прочности // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2007. № 4. С. 89–91.
10. *Попов В.М., Латынин А.В.* Метод создания клееной древесины повышенной прочности // Лесотехн. журн. 2015. № 4. С. 145–151.
11. *Попов В.М., Латынин А.В., Григорьев Д.С.* Интенсивная технология создания клеевых соединений повышенной прочности на основе полимерных клеев, подвергнутых совместному воздействию физических полей // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 89–92.
12. *Попов В.М., Латынин А.В., Лушникова Е.Н.* Клеевые соединения древесины повышенной прочности на основе магнитообработанных клеев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2013. № 5. С. 293–296.
13. *Попов В.М., Латынин А.В., Мозговой Н.В., Юдин Р.В.* Влияние магнитоультразвукового поля на качество клеевых соединений из древесины // Современные проблемы науки и образования: электрон. журн. 2013. № 5.
14. *Попов В.М., Новиков А.П.* К созданию клеевых соединений повышенной прочности // Современные инновации в науке и технике: сб. науч. тр. 4-й междунар. науч.-практ. конф. (17 апр. 2014): в 4 т. Курск, 2014. Т. 3. С. 332–334.
15. *Попов В.М., Новиков А.П., Иванов А.В.* Влияние магнитной обработки полимерных клеев на прочность клеевых соединений на их основе // Механика композиционных материалов и конструкций. 2012. Т. 18, № 3. С. 414–421.
16. *Попов В.М., Шендриков М.А., Иванов А.В., Жабин А.В.* Влияние магнитного и электрического полей на прочность клееной древесины // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2009. № 4. С. 122–126.
17. *Фрейдин А.С., Вуба К.Т.* Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 224 с.
18. *Шамаев В.А., Разиньков Е.М., Ищенко Т.Л.* Исследование склеивания фанеры с применением нанокристаллической целлюлозы // Лесотехн. журн. 2014. № 1. С. 151–155.
19. *Zhang M.X., Huang J.W., Wang N.Y.* Modification of Pine-Wood/Formaldehyde-Urea Resin Composites Using Electron-Beam Radiation // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 454. Pp. 187–189.
20. *Park B.-D., Kim J.-W.* Dynamic Mechanical Analysis of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde-to-Urea Molar Ratios // Journal of Applied Polymer Science. 2008. Vol. 108. Pp. 2045–2051.
21. *Zamilova A.F., Galikhanov M.F.* Influence of Polarization of the Walnut Plywood in the Process of Preparation on Its Water and Moisture Absorption // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1767. 020038.

Поступила 22.05.17

UDC 674.028.9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.127

Influence of the DC Field on Moisture Resistance and Strength of the Plywood Materials

A.F. Zamilova, *Postgraduate Student*

M.F. Galikhanov, *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

N.A. Pestova, *Master*

Kazan National Research Technological University, ul. Karla Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: Alinka-attractive@yandex.ru, mgalikhanov@yandex.ru, pestovanata@mail.ru

The article presents data on the influence of the DC field on the moisture resistance and adhesion properties of plywood materials. We have obtained the values of electret characteristics of plywood materials from different types of wood and adhesives. The polarization of plywood in the preparation process or the polarization of only glue in the DC field can significantly increase its strength properties (adhesion strength of the glue-veneer joint). The shear strength increases by 15...350 % at the preliminary polarization of the adhesive; the shear strength increases by 15...450 % when the plywood samples are polarized in the process of their manufacture, compared to the samples that are not subjected to the electric field. The plywood materials from birch veneer possess the greatest values of the shear strength, as this kind of veneer has higher strength factors of wood fiber. The plywood samples polarized in the DC field are more resistant to delamination, creasing, and retain its integrity longer in a humid environment. This is due to the influence of the polarized state of glue on the adhesion to veneer. The effect of the electric field on plywood samples increases the moisture resistance by 0.9...22.0 %, and the water resistance value – by 3.0...17.0 %. The proposed method is of practical interest and can be realized industrially to produce high-density moisture-proof plywood.

Keywords: plywood, polarization, urea formaldehyde resin, epoxide resin, polyvinyl acetate, strength, DC field, moisture absorption, water absorption ability.

REFERENCES

1. Vasechkin Yu.V. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya proizvodstva fanery*: [Technology and Equipment for the Production of Plywood. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 310 p. (In Russ.)

2. Vertyachikh I.M., Gol'dade V.A., Neverov A.S., Pinchuk L.S. Vliyanie elektricheskogo polya polimernogo elektreta na sorbtsiyu parov organicheskogo rastvoritelya [Impact of Electric Field of Polymer Electret to the Organic Solvent Vapor Sorption]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. B* [Polymer Science. Ser. B], 1982, vol. 24, no. 9, pp. 683–687.

For citation: Zamilova A.F., Galikhanov M.F., Pestova N.A. Influence of the DC Field on Moisture Resistance and Strength of the Plywood Materials. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 127–138. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.127

3. Volynskiy V.N. *Tekhnologiya kleenykh materialov* [Technology of Adhesive-Bonded Materials]. Moscow, Profi Publ., 2009. 392 p. (In Russ.)
4. Voronezhstsev Yu.I., Gol'dade V.A., Pinchuk L.S., Snezhkov V.V. *Elektricheskie i magnitnye polya v tekhnologii polimernykh kompozitov* [Electric and Magnetic Fields in the Polymer Composites Technology]. Ed. by A.I. Sviridenok. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1990. 263 p. (In Russ.)
5. Zamilova A.F., Saldaeva O.S., Galikhanov M.F. Vliyanie polarizatsii fanery v protsesse prigotovleniya na ee vodo- i vlagopogloshchenie [The Influence of Polarization of Plywood in the Process of Preparation on Its Water and Moisture Absorption]. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 13, pp. 57–60.
6. Kirillov A.N., Karasev E.I. *Tekhnologiya fanernogo proizvodstva* [Technology of Plywood Production]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 312 p. (In Russ.)
7. Kulikov V.A., Chubov A.B. *Tekhnologiya kleenykh materialov i plit* [Technology of Adhesive-Bonded Materials and Plates]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 340 p. (In Russ.)
8. Mozgovoy N.V. Prochnost' kleevykh soedineniy drevesiny na osnove elektroobrabotannykh klev [Strength of Adhesive Joints of Wood on the Basis of Electrically Treated Glues]. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU)* [Scientific Journal of KubSAU], 2012, no. 75, pp. 484–493.
9. Popov V.M., Ivanov A.V. Intensivnaya tekhnologiya polucheniya kleenoy drevesiny povyshennoy prochnosti [Intensive Technology for Production of High-Strength Laminated Wood]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2007, no. 4, pp. 89–91.
10. Popov V.M., Latynin A.V. Metod sozdaniya kleenoy drevesiny povyshennoy prochnosti [Method for Creating of Laminated Wood of High Strength]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2015, vol. 5, no. 4, pp. 145–151.
11. Popov V.M., Latynin A.V., Grigor'ev D.S. Intensivnaya tekhnologiya sozdaniya kleevykh soedineniy povyshennoy prochnosti na osnove polimernykh klev, podvergnutykh sovmestnomu vozdeystviyu fizicheskikh poley [Intensive Technology for Creating High-Strength Adhesive Compounds Based on Polymer Adhesives Subjected to Joint Action of Physical Fields]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*, 2016, no. 4-4, pp. 89–92.
12. Popov V.M., Latynin A.V., Lushnikova E.N. Kleeveye soedineniya drevesiny povyshennoy prochnosti na osnove magnitoobrabotannykh klev [Adhesive Joints of High-Strength Wood on the Basis of Magnetically Treated Adhesives]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Analysis and Synthesis of Complex Systems in Nature and Technology], 2013, no. 5, pp. 293–296.
13. Popov V.M., Latynin A.V., Mozgovoy N.V., Yudin R.V. Vliyanie magnetoul'trazvukovogo polya na kachestvo kleevykh soedineniy iz drevesiny [Influence of Magnetic Ultra Sound Field on the Quality of Wood Adhesive Joints]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2013, no. 5, pp. 20–26.
14. Popov V.M., Novikov A.P. K sozdaniyu kleevykh soedineniy povyshennoy prochnosti [To the Creation of Adhesive Compounds of Increased Strength]. *Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike: sb. nauch. tr. 4-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern Innovations in Science and Technology: Proc. 4th Inter. Sci. Prac. Conf.], 2014, vol. 3, pp. 332–334.

15. Popov V.M., Novikov A.P., Ivanov A.V. Vliyanie magnitnoy obrabotki polimernykh kleev na prochnost' kleevykh soedineniy na ikh osnove [Influence of Magnetic Treatment of Polymer Adhesive on the Strength of Adhesive Compounds on Their Basis]. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksiy* [Mechanics of Composite Materials and Structures], 2012, vol. 18, no. 3, pp. 414–421.

16. Popov V.M., Shendrikov M.A., Ivanov A.V., Zhabin A.V. Vliyanie magnitnogo i elektricheskogo poley na prochnost' kleenoy drevesiny [Influence of Magnetic and Electric Fields on Glued Wood Strength]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2009, no. 4, pp. 122–126.

17. Freydin A.S., Vuba K.T. *Prognozirovaniye svoystv kleevykh soedineniy drevesiny* [Forecasting the Properties of Glued Wood Compounds]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 224 p. (In Russ.)

18. Shamaev V.A., Razin'kov E.M., Ishchenko T.L. Issledovanie skleivaniya fanery s primeneniem nanokristallicheskoj tsellyulozy [Study of Bonding Plywood Using Nanocrystalline Cellulose]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2014, vol. 4, no. 1, pp. 151–155.

19. Zhang M.X., Huang J.W., Wang N.Y. Modification of Pine-Wood/Formaldehyde-Urea Resin Composites Using Electron-Beam Radiation. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 454, pp. 187–189.

20. Park B.-D., Kim J.-W. Dynamic Mechanical Analysis of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde-to-Urea Molar Ratios. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, vol. 108, pp. 2045–2051.

21. Zamilova A.F., Galikhanov M.F. Influence of Polarization of the Walnut Plywood in the Process of Preparation on Its Water and Moisture Absorption. *AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1767, 020038.

Received on May 22, 2017