

Разработка состава клеевой композиции для соединения массивной древесины в условиях Сибири

Г.П. Плотникова^a, С.Х. Симонян^b

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^agalina.pavlovna.plotnikova@yandex.ru, ^bsimon.helokovich.simonyan@gmail.com

Статья поступила 20.08.2017, принята 29.09.2017

Возрастающая популярность деревянного домостроения объясняется прежде всего использованием древесины — экологически чистого материала с приятной на ощупь поверхностью, создающего благоприятную атмосферу внутри помещения. Деревянное домостроение в условиях Сибири все чаще подразумевает применение клееной массивной древесины — CLT-панелей, BSP, X-lam, клееного стенового бруса. Клееные деревянные конструкции должны соответствовать требованиям ГОСТ 20850-2014 «Конструкции деревянные клеенные несущие», базирующегося на стандарте EN 14080:2005. Достаточную тепло- и морозостойкость склеенных панелей обеспечивают клеи поликонденсационного и полимеризационного типов: C3, D3, C4, D4 по EN 204. Согласно ГОСТ 20850-2014 и EN 14080:2005 разрешены к использованию эмульсия полимер-изоцианата (EPI), резорциноформальдегидные клеи (RF), меламино-мочевино-формальдегидные клеи (MUF, MF), полиуретановые клеи (PUR). В России полиуретановые PUR-клеи не допускаются для производства клееных деревянных конструкций даже в малоэтажном домостроении, а в Европе не применяют эмульсию полимер-изоцианатов EPI. Резорциноформальдегидные клеевые системы используются сегодня в очень редких случаях, так как образуют стойкий к воздействию химических агрессивных соединений клеевой шов черного цвета. Исходя из вышесказанного, чтобы обеспечить бесцветный клеевой шов, можно использовать PUR-клеи, MUF, MF-клеи, но они довольно дороги. Поливинил-ацетаты (PVA), как и мочевино-формальдегидные клеи (UF), являются относительно дешевыми общедоступными клеями, но по причине необходимости обеспечения определенного класса ответственности конструкций они не допускаются к производству клееных деревянных строительных изделий. Запрет объясняется самой природой создаваемого ими химического соединения, его неспособностью нести длительную статическую нагрузку. Поэтому актуальным и своевременным представляется поиск модификаторов для недорогих клеевых составов, которые смогут обеспечивать необходимые показатели прочностных свойств клеевых соединений и, главное, тепло-, водо- и морозостойкость.

Ключевые слова: ламели; клеи; модификация; прочность; теплостойкость; морозостойкость; водостойкость.

Development of the adhesive composition for joining solid wood in the conditions of Siberia

G.P. Plotnikova^a, S.H. Simonyan^b

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^agalina.pavlovna.plotnikova@yandex.ru, ^bsimon.helokovich.simonyan@gmail.com

Received 20.08.2017, accepted 29.09.2017

Increasing popularity of wooden housing construction is due primarily to the use of wood - an environmentally friendly material with a pleasant to the touch surface, creating a favorable atmosphere inside the room. Wooden housing construction in Siberia means the use of glued massive wood: CLT-panels, BSP, X-lam, glued wall beam. Glued wooden structures must comply with the requirements of GOST 20850-2014 "Wooden glued bearing structures", based on the standard EN 14080: 2005. Sufficient heat and frost resistance of the glued panels is provided by glues of polycondensation and polymerization types: C3, D3, C4, D4 to EN 204. According to GOST 20850-2014 and EN 14080: 2005, a polymer-isocyanate (EPI) emulsion, resorcinol-formaldehyde adhesives (RF), melamine-urea-formaldehyde adhesives (MUF, MF), polyurethane adhesives (PUR) are allowed in construction. In Russia, polyurethane PUR-adhesives can't be used in the production of glued wooden structures, even in low-rise housing construction, and in Europe EPI emulsion is not allowed for production. Resorcinol-formaldehyde glutinous systems are used today in very rare cases, since they form a glue line of black color, resistant to chemical aggressive compounds. Thus, to provide a colorless glue seam, it is possible to use PUR-adhesives, MUF, MF-adhesives, but they are quite expensive. Polyvinyl acetates (PVA), like urea-formaldehyde glues (UF), are relatively inexpensive public adhesives, but due to the need to provide a certain class of structural responsibility, they can't be used in glued wooden construction products. The prohibition is explained by the nature of the chemical compound created by them and their inability to carry a prolonged static load. Therefore, it is timely to search for modifiers for inexpensive adhesive compositions that will be able to provide the necessary indices of strength properties of glue joints and, most importantly, heat, water and frost resistance.

Keywords: lamellae; glues; modification; durability; heat resistance; frost resistance; water resistance.

Введение

Исследования посвящены решению актуальной научной задачи повышения эффективности технологии склеивания массивной древесины для деревянного домостроения в условиях Сибири путем сокращения стоимости клееных деревянных конструкций без снижения прочностных характеристик композиций.

С целью обеспечения требований по тепло-, морозо- и водостойкости в качестве модификатора клеевого состава был предложен отход — пропитанный кислотой твердый остаток гидролиза древесины, гидролизный лигнин. Содержание этого отхода на полигонах исчисляется сегодня уже миллионами тонн (в Красноярском крае и Иркутской области насчитывается порядка 4 млн т гидролизного лигнина). Под лигнины занимают большие земельные участки, загрязняются воздух и территории, прилегающие к свалкам, при длительном хранении лигнин самовозгорается. Все это наносит серьезный экологический и экономический ущерб окружающему миру.

Технический гидролизный лигнин представляет собой аморфное порошкообразное вещество с плотностью 1,25–1,45 г/см³, от светло-кремового до темно-коричневого цвета, со специфическим запахом, молекулярная масса 5 000 – 10 000, размеры частиц лигнина — от нескольких миллиметров до микронов (и меньше). При повышенных давлении и температуре, особенно во влажном состоянии, лигнин проявляет пластические свойства. Обладая свойствами фенола и резорцина, лигнин способен модифицировать клеи, улучшая их химическую и атмосферостойкость [1–2].

Лигнин склонен к реакциям сшивания цепей, которые принято называть реакциями «конденсации», причем эти реакции могут идти как в кислой, так и в щелочной среде. Реакции конденсации сопровождаются образованием новых углерод-углеродных связей, что приводит к увеличению молекулярной массы и значительному изменению его химического строения. В составе лигнина содержатся метоксильные (–OCH₃), гидроксильные (–OH) как фенольные, так и алифатические (спиртовые) группы, карбонильные (C=O) и хинонные группы, образующиеся при окислении, карбоксильные группы (–COOH), при этом лигнин достаточно инертен.

В связи с вышеизложенным, поиск «активаторов» лигнина также представляется актуальной и значимой задачей.



Целью исследований является совершенствование технологии склеивания массивной древесины для деревянного домостроения в условиях Сибири путем сокращения стоимости клееных деревянных конструкций без снижения качества композиций, осуществляемое за счет модификации клеев.

Вопросам склеивания посвящен ряд исследований таких ученых, как Г.С. Варанкина, В.Н. Волинский, В.И. Азаров, В.Е. Цветков. Вовлечение отходов в производство рассматривалось в различных источниках [3–9], создание двухкомпонентных систем представлено в работах [10–15].

Методика исследования. В качестве метода получения описания процесса изготовления клееных деревянных конструкций (КДК) принят активный эксперимент. Функцией отклика такой модели являются режим изготовления КДК и основные показатели свойств.

Выходные величины были обозначены качественными показателями готовой продукции:

Y_1 — предел прочности КДК при скалывании по клеевому слою (τ), МПа, ГОСТ 15613.1;

Y_2 — морозостойкость КДК, %, ГОСТ 18446;

Y_3 — теплостойкость КДК, %, ГОСТ 18446;

Y_4 — расслаивание КДК (Р), %, ГОСТ 27812-2005.

Были апробированы различные способы «активации» гидролизного лигнина:

для мочевино-формальдегидного клея:

- поливинилацетатной эмульсией (ПВА);
- раствором мочевины 40 %;

для поливинилацетатной эмульсии (ПВА):

- токами сверхвысокой частоты;
- термической активацией при $t = 100$ °С;
- раствором мочевины 40 %.

Основной характеристикой качества клеевого соединения, которая должна постоянно фиксироваться в ходе производственного контроля, является прочность соединения при скалывании по клеевому слою.

На рис. 1 представлены гистограмма зависимости скалывания по клеевому слою ламелей массивной древесины и показателей тепло- и морозостойкости от вида модификатора: ряд 1 — испытания на скалывание по клеевому слою; ряд 2 — испытания на скалывание по клеевому слою после определения теплостойкости; ряд 3 — испытания на скалывание по клеевому слою после определения морозостойкости

Рис. 1. Гистограмма зависимости скалывания по клеевому слою ламелей массивной древесины и показателей тепло- и морозостойкости от вида модификатора: ряд 1 — испытания на скалывание по клеевому слою; ряд 2 — испытания на скалывание по клеевому слою после определения теплостойкости; ряд 3 — испытания на скалывание по клеевому слою после определения морозостойкости

Анализируя гистограмму, можно сделать вывод о целесообразности «активации» гидролизного лигнина поливинилацетатом и раствором карбамида 40 %. Испытания на скалывание по клеевому слою показывают также необходимую морозо- и теплостойкость.

Карбамид — достаточный «активатор» лигнина на химическом уровне: активный водород амидной NH₂ группы карбамида, взаимодействуя с гидроксильными OH группами (алифатическими, ароматическими) и

карбоксильными COOH группами лигнина, образует реакционноспособные метилольные группы.

На рис. 2 представлена гистограмма зависимости расслаивания ламелей клеенной массивной древесины после циклических испытаний (вымачивание – сушка). Испытания на расслаивание в России выполняются по ГОСТ 27812, который соответствует EN391 «Клееная массивная древесина. Испытания клеевых швов на расслаивание». Метод предусматривает интенсивное увлажнение и последующее интенсивное высушивание торцовых срезов многослойного элемента до исходного веса.

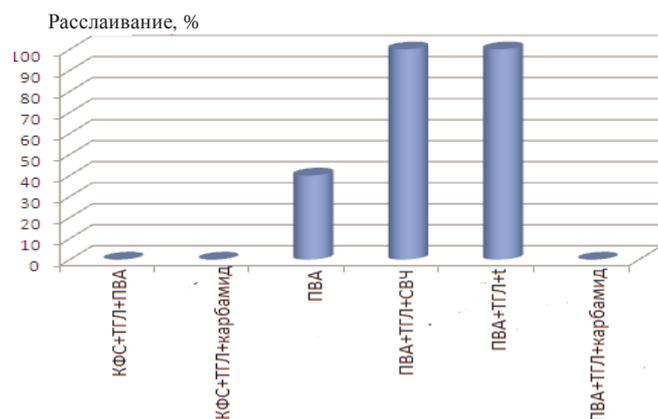


Рис. 2. Гистограмма зависимости расслаивания ламелей клеенной массивной древесины после циклических испытаний (вымачивание – сушка)

Анализируя гистограмму, можно сделать вывод о том, что циклическим испытаниям на расслаивание (вымачивание – сушка) противостоят образцы следующего состава:

- КФС+ТГЛ, активированный ПВА;
- КФС+ТГЛ, активированный раствором карбамида;
- ПВА+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %.

На рис. 3 представлена гистограмма зависимости морозостойкости ламелей клеенной массивной древесины от модификатора.

Анализируя гистограмму, можно увидеть, что самой высокой теплостойкостью, 100 %, обладают клеевые композиции составов:

- КФС, модифицированная ТГЛ, активированным ПВА;
- ПВА, модифицированный ТГЛ, активированным раствором карбамидом 40 %.

На рис. 5 показана зависимость прочности при скалывании по клеевому слою КДК от расхода клея (а) и

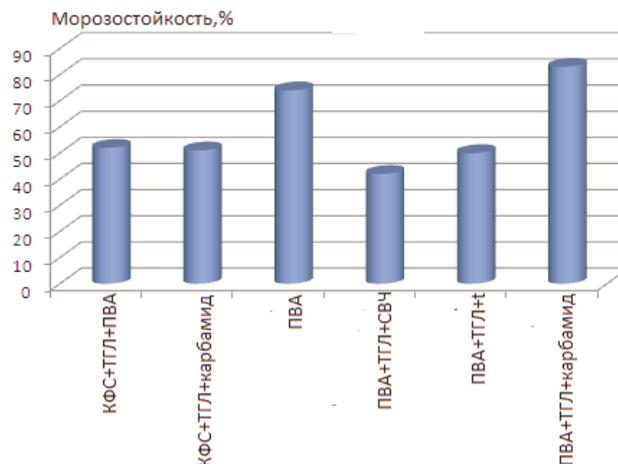


Рис. 3. Гистограмма зависимости морозостойкости ламелей клеенной массивной древесины от модификатора

Анализируя гистограмму, можно увидеть, что наиболее высокой морозостойкостью (испытания на скалывание после выдержки при $t = -40^{\circ}\text{C}$ и влажности 65 % в течение 2-х недель) обладают полимеризационные клеи, в частности полимер винилацетата, но при этом модифицированный ПВА лигнином с активацией его карбамидом имеет более высокий показатель морозостойкости.

На рис. 4 представлена гистограмма зависимости теплостойкости (испытания на скалывание после выдержки при $t = +60^{\circ}\text{C}$ и влажности 65 % в течение 2-х недель) ламелей клеенной массивной древесины от модификатора.

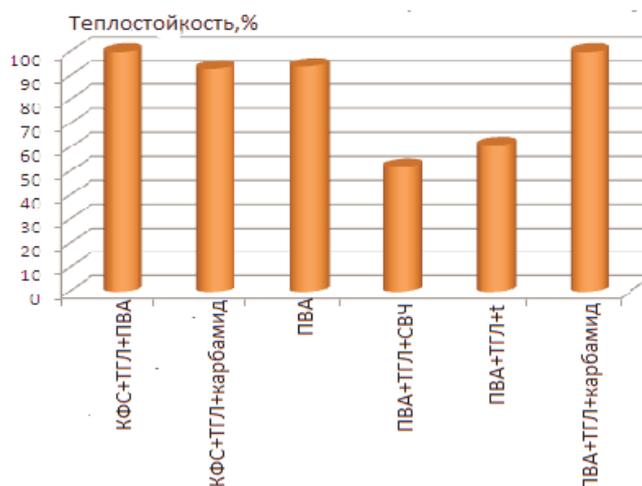


Рис. 4. Гистограмма зависимости теплостойкости ламелей клеенной массивной древесины от модификатора продолжительности выдержки под давлением в холодном прессе (б).

На рис. 6 показана зависимость морозостойкости клеевых соединений КДК от расхода клея (а) и продолжительности выдержки под давлением (б).

На рис. 7 показана зависимость теплостойкости клеевых соединений КДК от расхода клея (а) и продолжительности выдержки под давлением (б).

На рис. 8 показана зависимость расслаивания клеевых соединений КДК от расхода клея (а) и продолжительности выдержки под давлением (б).

Анализируя полученные зависимости, можно увидеть, что наилучшими показателями прочности, морозо- и теплостойкости, стойкости к расслаиванию обла-

дают клеевые системы ПВА, модифицированные ТГЛ, активированным раствором карбамида 40 %. Модифицированный ПВА не теряет прочности при длительной циклической нагрузке при его расходе 300–400 г/м² и продолжительности выдержки клевого соединения под давлением не менее суток.

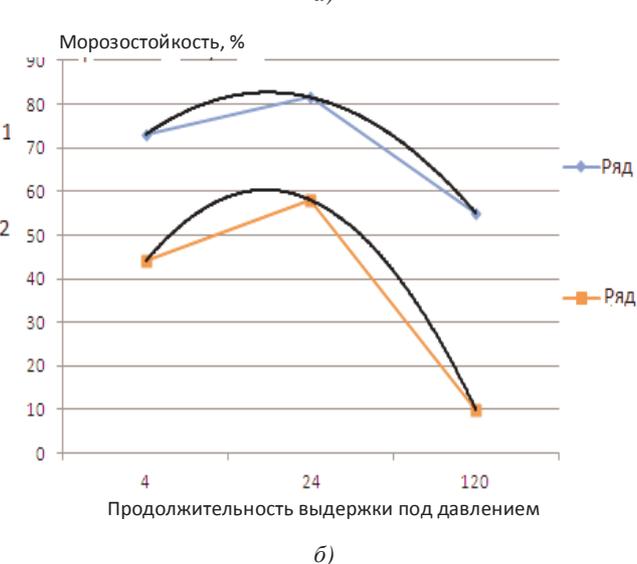
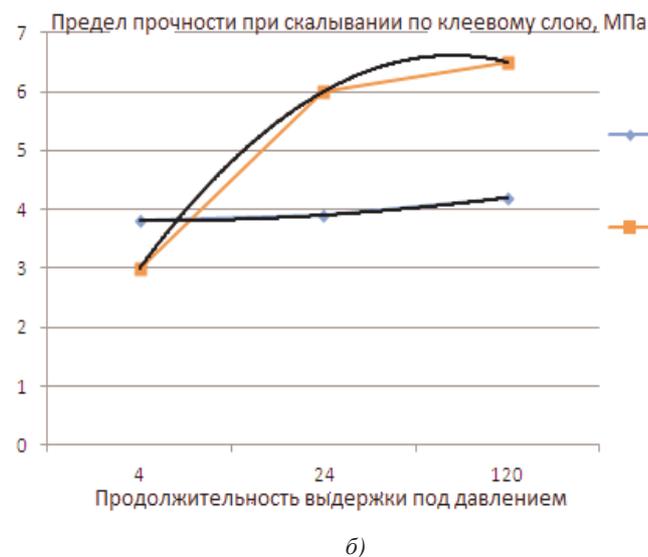
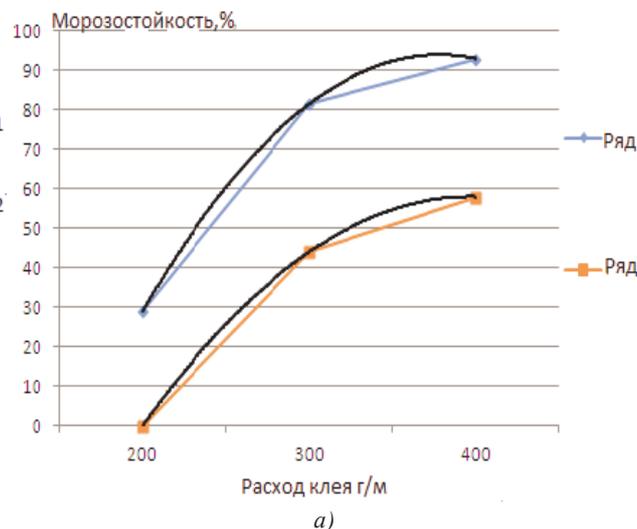
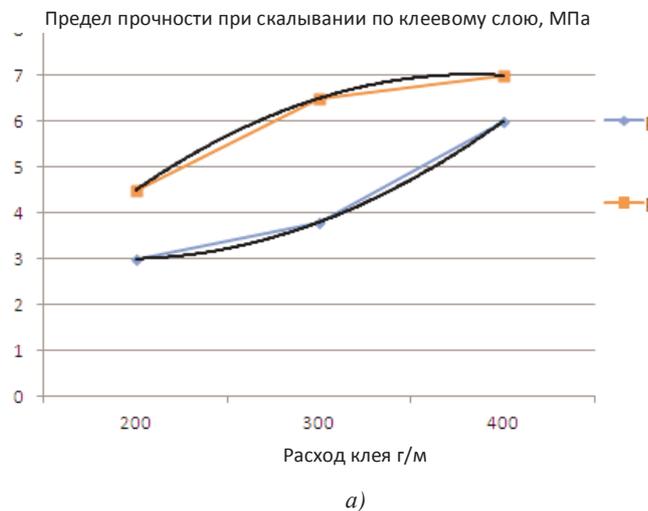


Рис. 5. Зависимость прочности при скалывании по клеевому слою ДКК от расхода клея (а) и продолжительности выдержки под давлением (б): ряд 1 — ПВА+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %; ряд 2 — КФС+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %

Рис. 6. Зависимость морозостойкости клеевых соединений КДК от расхода клея (а) и продолжительности выдержки под давлением (б): ряд 1 — ПВА+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %; ряд 2 — КФС+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %

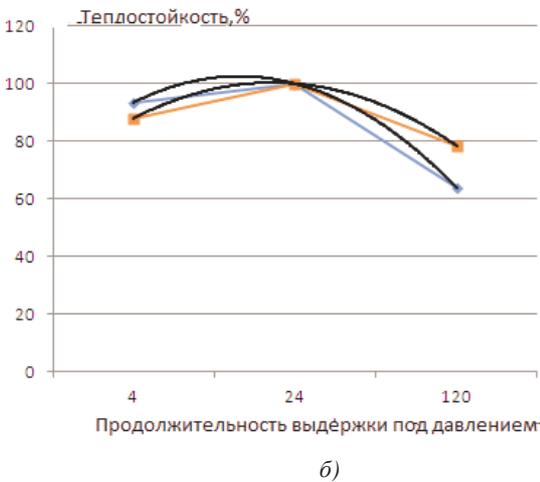
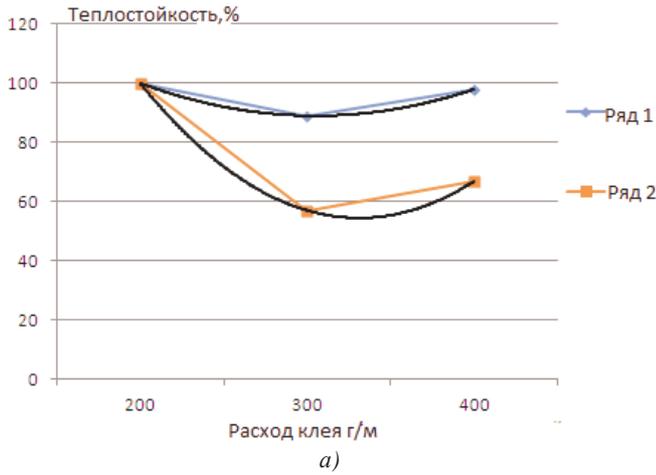


Рис. 7. Зависимость теплостойкости клеевых соединений КДК от расхода клея (а) и продолжительности выдержки под давлением (б): ряд 1 — ПВА+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %; ряд 2 — КФС+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %

Математическое описание зависимости предела прочности КДК при скалывании по клеевому слою от варьируемых технологических параметров представлено в виде уравнения регрессии:

$$Y_1 = 6,2 - 0,75X_1 + 0,45X_2 + 0,37X_3 - 0,75X_1^2 + 0,15X_2^2 - 0,05X_3^2 - 1,2X_1 \cdot X_2 - 0,26X_1 \cdot X_3$$

Математическое описание зависимости расслаивания ламелей склеенной массивной древесины после циклических испытаний (вымачивание – сушка) представлено в виде уравнения регрессии:

$$Y_2 = 52,3 - 15,1X_1 - 12,3X_2 - 6,7X_3 + 8,5X_1^2 + 3,5X_2^2 + 9X_3^2 + 2,9X_1 \cdot X_2 - 10,8X_1X_3 + 1X_2X_3$$

Математическое описание зависимости морозостойкости ламелей склеенной массивной древесины от модификатора варьируемых технологических параметров представлено в виде уравнения регрессии:

$$Y_3 = 84,4 + 9,6X_1 + 3,8X_2 - 0,3X_3 + 6,3X_1^2 + 6,8X_2^2 - 7,7X_3^2 + 1,88X_1 \cdot X_2 - 1,76X_1X_3 - 2X_2X_3$$

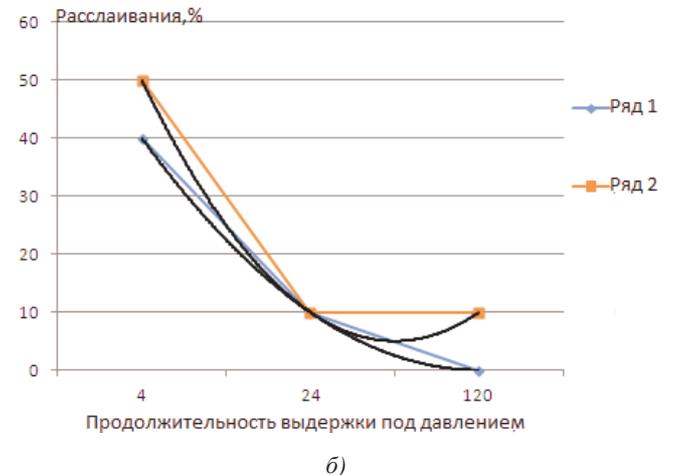
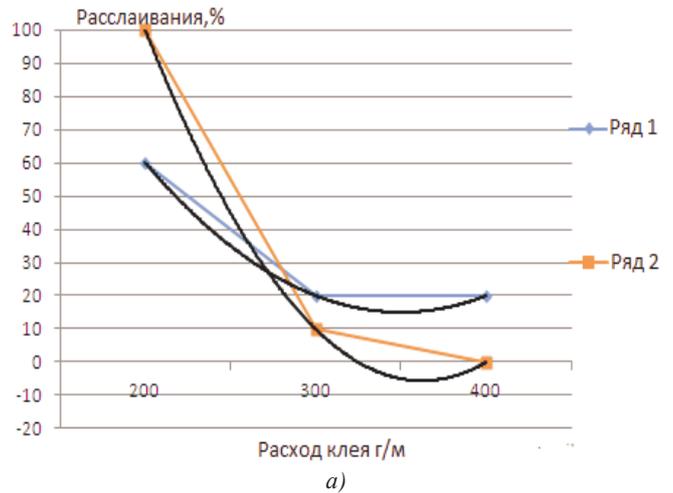


Рис. 8. Зависимость расслаивания клеевых соединений КДК от расхода клея (а) и продолжительности выдержки под давлением (б): ряд 1 — ПВА+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %; ряд 2 — КФС+ТГЛ, активированный раствором карбамида 40 %

Математическое описание зависимости морозостойкости ламелей склеенной массивной древесины от модификатора варьируемых технологических параметров представлено в виде уравнения регрессии:

$$Y_4 = 9,3 + 7,5X_1 + 12,6X_2 - 6,6X_3 + 0,7X_1^2 + 10,8X_2^2 + 4,3X_3^2 + 5,4X_1 \cdot X_2 + 0,25X_1X_3 - 0,25X_2X_3$$

В результате экспериментальных исследований подтверждены основные теоретические предпосылки о более высокой когезионной прочности системы, содержащей группы с высокой энергией взаимодействия, имеющейся в ТГЛ (-ОН, -СООН). Наличие в лигнине групп с высокой энергией взаимодействия повышает когезионную прочность системы и повышает атмосферостойкость клеевых соединений КДК на химическом уровне [17-18].

На основании комплексной оценки влияния управляемых факторов [19] на качественные показатели КДК, сформулированы рекомендации:

- для производства КДК возможно использовать ПВА-системы, модифицированные гидролизным

лигнином ТГЛ, активированным раствором карбамида 40%;

- расход клеевой композиции должен составлять 300-400 г/м²;

- продолжительность выдержки под давлением в холодном прессе при склеивании должна быть не менее суток.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы:

1. Доказана возможность использовать ПВА при производстве КДК при условии его модификации веществами, содержащими группы с высокой энергией взаимодействия: гидроксильные фенольные, карбоксильные.

2. Клеевая система позволяет утилизировать отходы лесохимического комплекса и повысить экологичность территорий Сибири, снизить их пожароопасность.

Литература

1. Плотникова Г.П., Плотников Н.П., Кузьминых Е.А. Применение гидролизного лигнина в производстве древесно-полимерных композитов // Системы Методы Технологии. 2013. № 4 (20). С. 133-138.

2. Плотников Н.П., Симикина А.А., Плотникова Г.П. Исследование структуры модифицированных карбаминоформальдегидных смол методом ЯМР-спектроскопии // Вестн. Крас. гос. аг. ун-та. 2012. № 7. С. 171-174.

3. Чубинский М.А., Федяев А.А. Биостойкость клееной древесины. Современные проблемы переработки древесины. СПб.: СПбГЛТУ, 2011. С. 119-120.

4. Чубинский М.А. Биостойкость древесины лиственницы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2003. 16 с.

5. Чубинский А.Н., Медов В.С., Славик Ю.Ю. К вопросу оценки долговечности клееных деревянных конструкций // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2013. Вып. 203. С. 128-134.

6. Чаузов К.В., Чубинский М.А., Шумякова Н., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Свойства клееного бруса на модифицированном связующем. Современные проблемы переработки древесины. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. С. 55-60.

7. Чаузов К.В., Варанкина Г.С. Исследование процесса склеивания древесины лиственницы композиционным клеем // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2014. Вып. 208. С. 111-120.

8. Чаузов К.В. Формирование клееных деревянных брусков с использованием модифицированных связующих: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 20 с.

9. Тамби А.А., Чубинский А.Н., Варанкин Г.С., Брутян К.Г., Федяев А.А. Способ контроля качества клеевого соединения: пат. 2439538, Рос. Федерация; заявл. 14.10.10; опубл. 10.01.12, Бюл. № 1-3 с.

10. Чубинский А.Н., Тамби А.А. Метод контроля клеевых соединений в процессе производства клееных брусков из цельной древесины // Изв. С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. СПб., 2008. Вып. 185. С. 208-213

11. Плотникова Г.П. Совершенствование технологии производства древесностружечных плит на основе модифицированных связующих с использованием некондиционной древесины: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2011. 149 с.

12. Плотникова Г.П., Плотников Н.П., Аксютенкова Н.Ю. Исследование физико-химических свойств двухкомпонентных лакокрасочных материалов // Системы Методы Технологии. 2013. № 4 (20). С. 129-133.

13. Тамби А.А., Чубинский А.Н., Чаузов К.В., Кульков А.М. Исследование клеевых соединений древесины // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2016. Т. 20, № 2. С. 120-126.

14. Чубинский А.Н., Медов В.С. Обоснование методики испытания клеевых соединений древесины на прочность при скалывании // Изв. С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. СПб., 2015. Вып. 210. С. 180-189.

15. Чубинский А.Н., Ермолаев Б.В., Сосна Л.М. Свойства поверхности древесины во взаимодействии с жидким адгезивом // Деревообрабатывающая промышленность. 2003. № 1. С. 25.

16. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины: моногр. СПб.: СПбГУ, 1992. 168 с.

17. Чубинский А.Н., Федяев А.А., Тамби А.А. Влияние плотности древесины на качество формирования клеевых соединений // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2011. Вып. 195. С. 142-149.

18. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев А.А. Влияние строения и свойств древесины на прочность ее склеивания // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2010. Вып. 190. С. 155-163.

19. Плотникова Г.П., Плотников Н.П. Оптимизация технологического процесса производства древесностружечных плит на модифицированном связующем с использованием некондиционного сырья // Вестн. Крас. гос. аг. ун-та. 2013. № 9. С. 249-256.

References

1. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P., Kuz'minykh E.A. Use of hydrolytic lignin in production of wood and polymeric composites // Systems Methods Technologies 2013. № 4 (20). P. 133-138.

2. Plotnikov N.P., Simikova A.A., Plotnikova G.P. Research of structure of the modified carboamidoformaldehyde pitches by a nuclear magnetic resonance spectroscopy method // The Bulletin of KrasGAU. 2012. № 7. P. 171-174.

3. Chubinskii M.A., Fedyayev A.A. Biological stability of glued wood. Modern problems of processing of wood. SPb.: SPbGLTU, 2011. P. 119-120.

4. Chubinskii M.A. Bioproofness of wood of a larch: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. SPb., 2003. 16 p.

5. Chubinskii A.N., Medov V.S., Slavik Yu. Yu. To a question of assessment of durability of glued wooden designs // Izvestia SPbLTA. 2013. Vyp. 203. P. 128-134.

6. Chauzov K.V., Chubinskii M.A., Shumyakova N., Varankina G.S., Chubinskii A.N. Properties of a glued bar on the mod-

ified binding. Modern problems of processing of wood. SPb.: SPbGLTU, 2015. P. 55-60.

7. Chauzov K.V., Varankina G.S. Larch wood pasting process research composite glue // *Izvestia SPbLTA*. 2014. Vyp. 208. P. 111-120.

8. Chauzov K.V. Formation of glued wooden bars with use of the modified binding: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb.: SPbGLTU, 2015. 20 p.

Tambi A.A., Chubinskii A.N., Varankina G.S., Brutyan K.G., Fedyaev A.A. Way of quality control of glue connection: pat. 2439538, Ros. Federatsiya; zayavl. 14.10.10; opubl. 10.01.12, Byul. № 1-3 p.

Chubinskii A.N., Tambi A.A. A control method of glue connections in the course of production of glued bars from whole wood // *Izvestia SPbLTA*. 2008. Vyp. 185. P. 208-213.

9. Plotnikova G.P. Improvement of the production technology of wood chipboards on the basis of modified binding with use of sub-standard wood: dis. ... kand. tekhn. nauk. Bratsk, 2011. 149 p.

10. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P., Aksyutenkova N.Yu. Research of physical and chemical properties of two-component paints and varnishes // *Systems Methods Technologies* 2013. № 4 (20). P. 129-133.

11. Tambi A.A., Chubinskii A.N., Chauzov K.V., Kul'kov A.M. Reserch of adhesive bond of wood // *Forestry Bulletin*. 2016. V. 20, № 2. P. 120-126.

12. Chubinskii A.N., Medov V.S. Justification of testing method of wood adhesive joints shearing strength // *Izvestia SPbLTA*. 2015. Vyp. 210. P. 180-189

13. Chubinskii A.N., Ermolaev B.V., Sosna L.M. Pine properties of a surface of wood in interaction with liquid adhesive // *Derevoobrabativaushaya promishlennost' (Woodworking industry)*. 2003. № 1. P. 25.

14. Chubinskii A.N. Formation of glue compounds of wood: monogr. SPb.: SPbGU, 1992. 168 p.

15. Chubinskii A.N., Fedyaev A.A., Tambi A.A. Influence of density of wood on quality of formation of glue connections // *Izvestia SPbLTA*. 2011. Vyp. 195. P. 142-149.

16. Chubinskii A.N., Tambi A.A., Fedyaev A.A. Influence of a structure and properties of wood on durability of her pasting // *Izvestia SPbLTA*. 2010. Vyp. 190. P. 155-163.

19. Plotnikova G.P., Plotnikov N.P. Optimization of technological process of production of wood chipboards on modified binding with use of sub-standard raw materials // *The Bulletin of KrasGAU*. 2013. № 9. P. 249-256.