

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕЗАЩИЩЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

И.А. Кудряшова, Т.Н. Вахнина, А.А. Титунин

Костромской государственной университет (КГУ), 156005, Костромская область, г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17

kia@msekos.ru

Показана целесообразность вовлечения в производство композиционных материалов отходов в виде вторичного полиэтилентерефталата. Представлены результаты экспериментальных исследований по обоснованию технологических режимов получения древесно-полимерного композита, обладающего требуемой термо- и водостойкостью. Предложен способ снижения его горючести за счет введения антипирена в состав связующего. В ходе экспериментальных исследований по повышению огнезащитности древесных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата получены математические модели, отражающие взаимосвязь управляемых факторов (удельной продолжительности прессования, доли добавки антипирена) и эксплуатационных показателей композита (прочности, водо- и огнестойкости). Статистическая обработка результатов эксперимента подтвердила однородность дисперсий всех выходных величин и адекватность полученных математических моделей процесса производства древесного композита. Показано, что введение в состав композита 17 % алюмохромфосфата при удельной продолжительности прессования 0,53 мин/мм обеспечивает получение водостойкого композита с требуемой прочностью при изгибе и потере массы при огневом воздействии, соответствующей классу горючести Г1. Сделан вывод о том, что дальнейшее увеличение удельной продолжительности прессования нецелесообразно, поскольку происходит снижение прочности древесно-полимерного композита по причине деструктивных явлений, обусловленных длительным нагревом древесной составляющей, и выделением парогазовой смеси из алюмохромфосфата. Установлено снижение до минимума — 4,8 % разбухания композита по толщине за 2 ч при такой продолжительности прессования. Разработаны рекомендации в отношении технологических параметров процесса производства, обеспечивающие получение композита с добавкой полиэтилентерефталата с необходимыми физико-механическими показателями и сниженной потерей массы при горении.

Ключевые слова: древесная стружка, связующее, древесные композиты, полиэтилентерефталат, алюмохромфосфат, прочность, горючесть, повреждение по массе при горении

Ссылка для цитирования: Кудряшова И.А., Вахнина Т.Н., Титунин А.А. Экспериментальное обоснование способа повышения огнезащитности древесных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 118–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-118-125

Наличие изделий из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) потребовало формирования как в Российской Федерации, так и за рубежом различных производств по переработке использованных полимерных изделий. Простая утилизация полимерных отходов в захоронениях малоэффективна [1]. Их сжигание оказывает негативное влияние на экологию, поскольку при этом в атмосферу поступает большое количество вредных веществ [2]. В связи с этим в Европе полностью откажутся от одноразовой пластиковой упаковки уже с 2021 года, в России также планируется рассмотреть возможность введения полного запрета на ее использование с 2025 года.

Одним из возможных направлений утилизации ПЭТФ является получение древесно-полимерных композитов, как основы для создания строительных материалов с требуемым комплексом эксплуатационных свойств [3]. ПЭТФ обладает хорошей термостойкостью при температуре от -40 °C до $+200$ °C [4]. Полимер имеет небольшое водопоглощение, это обуславливает высокую стабильность свойств и размеров изделий из него. Несмотря на

имеющиеся результаты проводимых исследований в этой области, остается нерешенным ряд вопросов, связанных с технологией получения конкурентоспособных композиционных материалов.

Основным недостатком древесных плит, как и других лигноцеллюлозных материалов, является их горючесть, способность легко воспламеняться и распространять пламя с выделением большого количества тепла, дыма и токсичных газообразных продуктов [5–10], что повышает риск возникновения пожароопасной ситуации [11]. Состав композитов из растительного сырья значительно влияет на характеристики пожарной опасности [12], введение в композицию такого термопластичного полимера, как ПЭТФ, также увеличивает горючесть материала [13].

Для использования в строительстве древесно-полимерных композитов необходимо обеспечить их соответствие нормативным требованиям показателей горючести материалов [14, 15]. В первую очередь необходимо решить проблему высокой горючести составляющих композита — полиэтилентерефталата и древесины.

Потеря массы за определенный период горения является важнейшей характеристикой горючести материалов, входящей во многие стандарты в качестве классификационного критерия [9]. Для снижения потери массы при горении композитов с растительными наполнителями и горючими полимерными добавками необходимо проведение огнезащитных мероприятий [16–22]. Чаще всего в качестве замедлителей горения применяют неорганические полимеры. Группа неорганических антипиренов составляет примерно 50 % мирового производства замедлителей горения [23]. Основное действие неорганических антипиренов основано на усилении процессов коксообразования и дегидратации в конденсированной фазе, в результате чего уменьшается формирование горючих летучих продуктов в ходе термического разложения. К эффективным антипиренам относятся фосфорсодержащие замедлители горения [24, 25], поэтому в работе в качестве замедлителя горения был выбран алюмохромфосфат (АХФ).

В зависимости от состава композита для создания материала с заданным комплексом эксплуатационных свойств необходимо определить рациональное сочетание технологических факторов [26].

Цель работы

Целью исследования является разработка рекомендаций для изготовления древесно-полимерных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата, имеющих необходимый комплекс физико-механических показателей и пониженную горючесть.

Материалы и методы

В ходе исследований были изготовлены древесно-полимерные композиты по технологии древесно-стружечных плит. В составе композиции использованы специальная резаная стружка, измельченный вторичный полиэтилентерефталат, фенолоформальдегидное связующее СФЖ-3014 [27] и алюмохромфосфат в качестве замедлителя горения.

Исследования различных способов введения антипирена в композицию древесно-полимерного материала, выполненные авторами, показали, что более перспективным является введение антипирена в рабочий раствор связующего [14, 16].

Для определения рекомендуемых значений технологических факторов производства древесных композитов было проведено экспериментальное исследование по В-плану второго порядка [28].

В ходе исследований были получены экспериментальные данные по потере массы образцов древесного композита при горении. Для определения показателя горючести (потери массы при огне-

вом воздействии) согласно ГОСТ 30244–94 [29] испытания проводились на установке «керамический короб» по ГОСТ Р 53292–2009 [30].

В качестве постоянных факторов были заданы: удельное давление при прессовании — 2,6 МПа; плотность композита — 780 кг/м³; доля добавки АХФ в наружных слоях композита — 1,0 %.

В качестве выходных величин приняты: Y_1 — прочность при статическом изгибе $\sigma_{из}$, МПа; Y_2 — разбухание плит по толщине за 2 ч пребывания в воде P_{W2} , %; Y_3 — разбухание плит по толщине за 24 ч пребывания в воде P_{W24} , %; Y_4 — потеря массы плит при горении Δm , %.

Число дублированных опытов $n = 4$. Переменные факторы и диапазоны их варьирования представлены в табл. 1. Доля АХФ для постоянного и варьируемого факторов рассчитывалась в процентах от массы добавляемой смолы.

Т а б л и ц а 1

Диапазоны варьирования факторов
The ranges of factors variation

| Наименование фактора | Обозначение фактора | | Уровни варьирования | | | Интервал варьирования, Δ_i |
|--|---------------------|--------------|---------------------|-----|-----|-----------------------------------|
| | Натуральное | Кодированное | -1 | 0 | +1 | |
| Удельная продолжительность прессования, мин/мм прессования, мин/мм | τ | X_1 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,1 |
| Доля добавки АХФ, % | Д | X_2 | 5 | 15 | 25 | 10 |

Результаты и обсуждение

План эксперимента и результаты статистической обработки полученных результатов, а именно: среднее значение выходной величины \bar{Y}_i , величина дисперсии S_i^2 и вычисленное по уравнению регрессии значение выходной величины \hat{Y}_i представлены в табл. 2. Регрессионные модели, отражающие взаимосвязь варьируемых факторов и выходных величин, приведены в табл. 3.

Статическая обработка экспериментальных данных с использованием критерия Кохрена G подтвердила однородность дисперсий в выборках выходных величин:

для прочности плит при статическом изгибе ($G_p = 0,26 < G_T = 0,44$);

для разбухания плит по толщине за 2 ч ($G_p = 0,37 < G_T = 0,44$);

для разбухания плит по толщине за 24 ч ($G_p = 0,23 < G_T = 0,44$);

для потери массы плит при горении ($G_p = 0,18 < G_T = 0,44$).

Т а б л и ц а 2

План и результаты статистической обработки экспериментальных данных

Plan and results of statistical processing of experimental data

| Номер опыта | Факторы | | Прочность при статическом изгибе $\sigma_{и}$, МПа | | | Разбухание по толщине за 2 ч P_{W2} , % | | | Разбухание по толщине за 24 ч P_{W24} , % | | | Потеря массы плит при горении Δm , % | | |
|-------------|---------|-------|---|---------|-------------|---|---------|-------------|---|---------|-------------|--|---------|-------------|
| | X_1 | X_2 | \bar{Y}_1 | S_1^2 | \hat{Y}_1 | \bar{Y}_2 | S_2^2 | \hat{Y}_2 | \bar{Y}_3 | S_3^2 | \hat{Y}_3 | \bar{Y}_4 | S_4^2 | \hat{Y}_4 |
| 1 | + | + | 10,7 | 0,05 | 11,81 | 4,2 | 2,04 | 4,89 | 3,5 | 0,61 | 3,03 | 13,8 | 70,8 | 12,47 |
| 2 | - | + | 12,5 | 0,22 | 12,12 | 3,9 | 1,14 | 3,87 | 3,2 | 0,66 | 2,91 | 13,1 | 30,72 | 12,39 |
| 3 | + | - | 15,9 | 0,61 | 14,42 | 4,5 | 3,57 | 4,39 | 6,7 | 0,52 | 4,96 | 11,7 | 22,05 | 11,4 |
| 4 | - | - | 15,8 | 1,35 | 15,7 | 3,5 | 0,58 | 3,22 | 6,5 | 0,51 | 4,92 | 16,8 | 56,31 | 15,91 |
| 5 | + | 0 | 18,9 | 0,86 | 18,6 | 3,4 | 1,04 | 3,10 | 6,2 | 1,14 | 5,03 | 16,9 | 66,68 | 15,98 |
| 6 | - | 0 | 19,3 | 1,23 | 18,92 | 4,3 | 0,35 | 3,97 | 6,6 | 0,29 | 4,99 | 16,9 | 73,93 | 15,64 |
| 7 | 0 | + | 18,2 | 0,4 | 17,47 | 5,1 | 0,05 | 4,86 | 6,5 | 0,63 | 6,09 | 15,8 | 38,18 | 14,93 |
| 8 | 0 | - | 10,9 | 0,46 | 11,06 | 4,7 | 0,82 | 3,95 | 6,45 | 0,51 | 4,94 | 16,4 | 69,39 | 15,87 |

Т а б л и ц а 3

Математические модели взаимосвязи варьируемых факторов и входных величин

Mathematical models of the relationship between variable factors and input quantities

| Математическая модель | Значения критерия Фишера | |
|--|--------------------------|-----------------|
| | расчетные F_p | табличные F_T |
| $Y_1 = 19,925 - 0,350X_1 - 0,200X_2 - 0,825X_1^2 - 5,375X_2^2 - 0,475X_1X_2$ | 1,79 | 8,69 |
| $Y_2 = 4,725 + 0,067X_1 + 0,083X_2 + 0,475X_1^2 - 0,175X_2^2 - 0,175X_1X_2$ | 0,21 | 8,69 |
| $Y_3 = 7,900 + 0,017X_1 + 1,075X_2 - 1,500X_1^2 + 1,425X_2^2 + 0,025X_1X_2$ | 5,93 | 8,69 |
| $Y_4 = 19,150 - 0,733X_1 - 0,367X_2 - 2,250X_1^2 - 3,050X_2^2 + 1,450X_1X_2$ | 3,22 | 8,69 |

Проверки по критерию Фишера F статистической гипотезы об однородности дисперсий адекватности $S_{ад}^2$ и воспроизводимости S_y^2 для разработанных моделей показали, что дисперсии $S_{ад}^2$ и S_y^2 однородны ($F_p < F_T$), математические модели

адекватны и позволяют вычислить значения выходной величины (\hat{Y}_i) с той же точностью, что и среднее по результатам эксперимента (\bar{Y}_i). Результаты проверки адекватности моделей представлены в табл. 3.

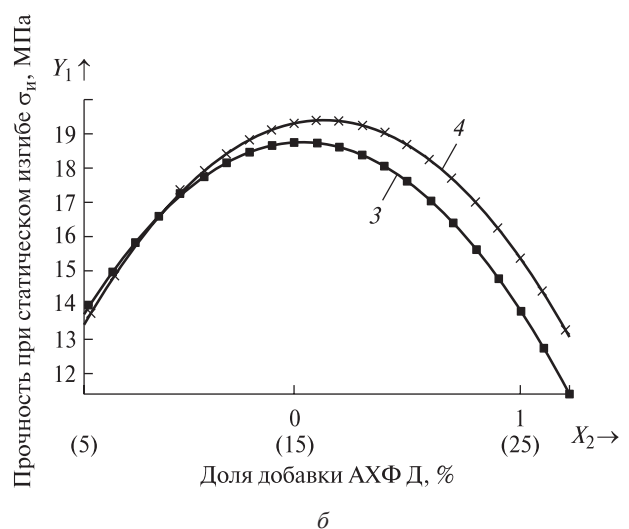
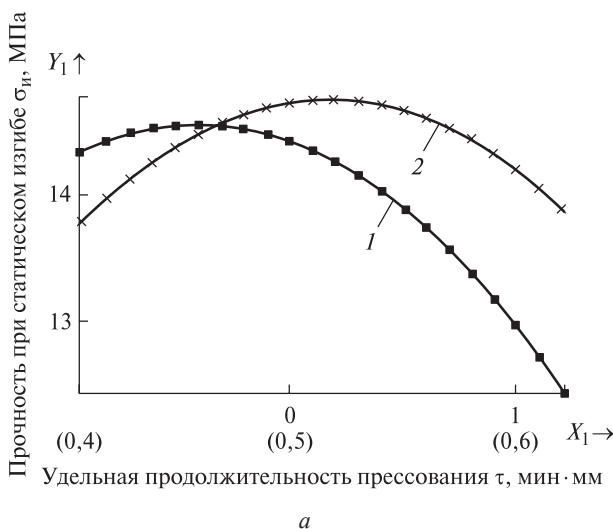


Рис. 1. Зависимость прочности плит при статическом изгибе $\sigma_{и}$: а — от удельной продолжительности прессования τ ; б — от доли добавки алюмохромфосфата Д; 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$
 Fig. 1. The dependence of the strength of the plates $\sigma_{и}$: а — on the specific duration of pressing τ ; б — from the proportion of the addition of aluminochromophosphate Д; 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$

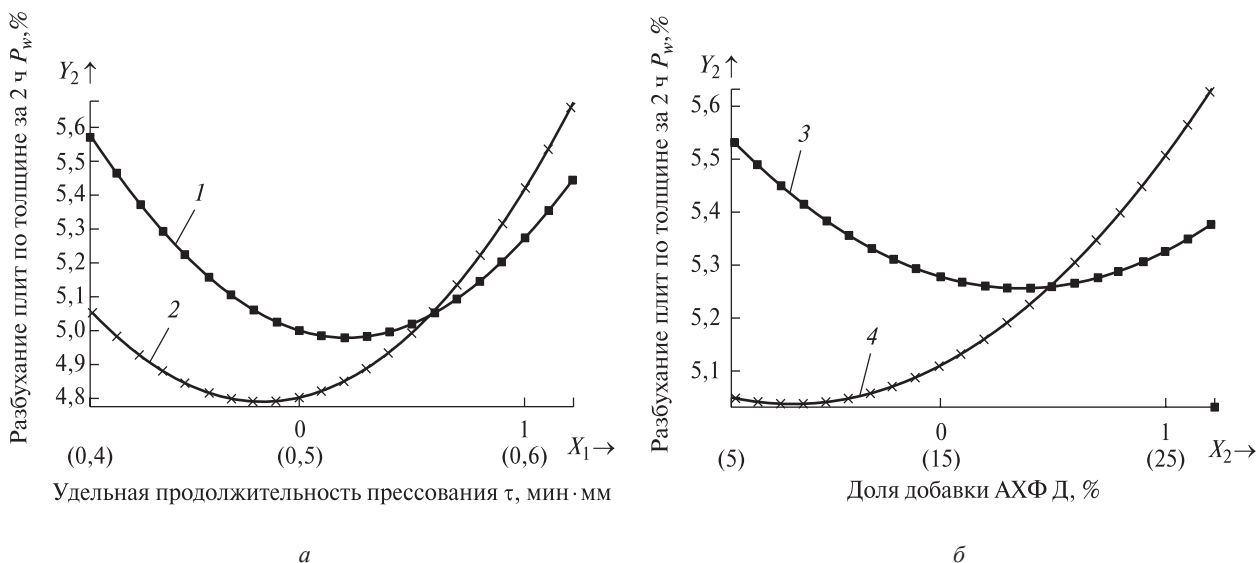


Рис. 2. Зависимость разбухания по толщине за 2 часа P_{w2} : *a* — от удельной продолжительности прессования t ; *b* — от доли добавки алюмохромфосфата Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$
Fig. 2. Dependences of swelling in thickness over 2 hours P_{w2} : *a* — on the specific duration of pressing t ; *b* — from the proportion of the addition of aluminochromophosphate Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$

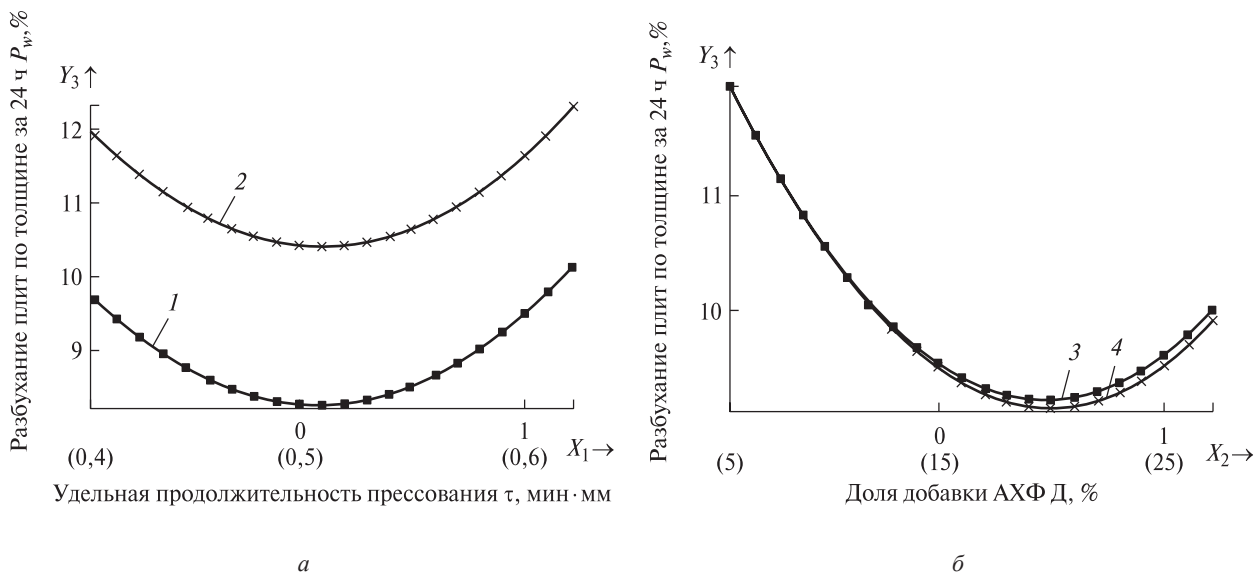


Рис. 3. Зависимости разбухания по толщине за 24 часа P_{w24} : *a* — от удельной продолжительности прессования t ; *b* — от доли добавки алюмохромфосфата Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$
Fig. 3. Dependences of swelling in thickness over 24 hours P_{w24} : *a* — on the specific duration of pressing t ; *b* — from the proportion of the addition of aluminochromophosphate Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$

Для анализа влияния варьируемых параметров технологического процесса на выходные величины были построены графические зависимости, некоторые из которых приведены на рис. 1–4.

Как видно из рис. 1, при любой доле добавки АХФ, с увеличением продолжительности прессования прочность при статическом изгибе сначала растет, это объясняется углублением степени поликонденсации связующего, а затем начинает снижаться.

Причиной снижения прочности при статическом изгибе при увеличении продолжительности

прессования служат деструктивные явления, обусловленные длительным нагревом древесной составляющей, а также то, что при длительном нагреве начинает выделяться парогазовая смесь из АХФ. Максимум прочности при статическом изгибе $\sigma_{и}$ обеспечивается долей добавки АХФ в количестве 17 % и удельной продолжительностью прессования τ — 0,53 мин/мм.

При малой удельной продолжительности прессования и минимальной доле добавки АХФ разбухание по толщине за 2 ч составляет около 5 %.

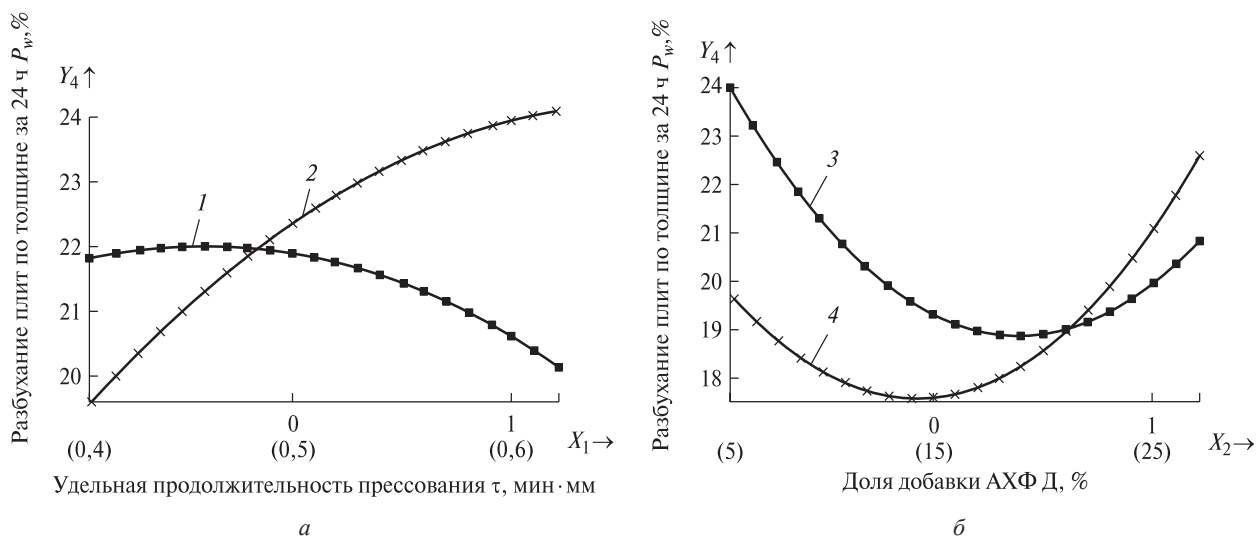


Рис. 4. Зависимости потери массы при горении Δm : а — от удельной продолжительности прессования τ ; б — от доли добавки алюмохромфосфата Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$
Fig. 4. Dependences of the mass loss during combustion Δm : а — on the specific duration of pressing τ ; б — from the proportion of the addition of aluminochromophosphate Д: 1 — $X_2 = 1, X_3 = 1$; 2 — $X_2 = -1, X_3 = -1$; 3 — $X_1 = 1, X_3 = 1$; 4 — $X_1 = -1, X_3 = -1$

При увеличении удельной продолжительности прессования до середины диапазона варьирования разбухание по толщине снижается до минимума и составляет 4,8 %. Это хорошо согласуется с ростом прочности при статическом изгибе в данном интервале. При дальнейшем увеличении удельной продолжительности прессования наряду со снижением прочности при статическом изгибе увеличивается разбухание по толщине за 2 ч. Характер разбухания по толщине за 2 ч, соответствует разбуханию по толщине за 24 ч, однако разбухание за 24 ч больше на 3,5 %.

Выводы

Для получения древесно-полимерного композита с добавкой вторичного полиэтилентерефталата рекомендуемая удельная продолжительность прессования составляет 0,53 мин/мм. При такой продолжительности прессования разбухание композита по толщине за 2 ч снижается до минимума и составляет 4,8 %. При воздействии воды на композит в течение 24 ч разбухание увеличивается до 8,1 %.

Максимум прочности при статическом изгибе обеспечивает доля добавки замедлителя горения алюмохромфосфата в количестве 17 %, что одновременно позволяет достичь минимального значения потери массы при горении древесного композита. Увеличение доли добавки антипирена свыше 17 % приводит к росту значений показателя Δm — потеря массы при горении. Поэтому для дальнейших исследований рекомендуется вводить в состав древесного композита 17 % алюмохромфосфата для придания ему огнезащитности, соответствующей по потере массы при огневом воздействии группе горючести Г1 [30].

Список литературы

- [1] Вахнина Т.Н., Тихомиров Л.А. Повышение огнестойкости древесных композитов // Полимерные материалы пониженной горючести. Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2011. С. 96–98.
- [2] Азаров В.И., Буров А.В., Оболенский А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
- [3] Вахнина Т.Н. Формирование свойств древесных плитных материалов для использования в строительных конструкциях // Жилищное строительство, 2009. № 6. С. 10–12.
- [4] Кудряшова И.А., Вахнина Т.Н., Титуний А.А. Повышение огнезащитности древесно-полимерных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата // Технологии и качество, 2018. № 3 (41). С. 23–25.
- [5] Серков Б.Б. Пожарная опасность полимерных материалов, снижение горючести и нормирование их пожаробезопасного применения в строительстве : дис. ... д-ра техн. наук : 05.26.03. Москва, 2001. 271 с.
- [6] Napuarachchi T.D., Ren G., Fan M. Fire retardancy of natural fibre reinforced sheet moulding compound // Applied Composite Materials, 2007, v. 14, pp. 251–264.
- [7] Kozłowski R., Władyka-Przybylak M. Flammability and fire resistance of composites reinforced by natural fibers // Polymers for Advanced Technologies, 2008, v. 19, pp. 446–453.
- [8] Matko S., Toldy A., Keszei S. Flame retardancy of biodegradable polymers and biocomposites // Polymer Degradation and Stability, 2005, v. 88, pp. 138–145.
- [9] Баратов А.Н., Андрианов П.А., Корольченко А.Я. Пожарная опасность строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 380 с.
- [10] Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. М.: Изд-во Академии ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
- [11] Quintiere J.G., Williams F.A. Comments on the national institute of standards and technology investigation of the 2001 World Trade Center fires // J. of Fire Sciences, 2014, no. 32, pp. 281–291.
- [12] Yao F, Wu Q, Lei Y. Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermo-

- gravimetric analysis // *Polymer Degradation and Stability*, 2008, v. 93(1), pp. 90–98.
- [13] Михайлин Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. СПб.: Изд-во НОТ, 2011. 416 с.
- [14] Вахнина Т.Н., Сусоева И.В., Титунин А.А., Петров А.В. Исследование влияния фторида аммония на горючесть плитных композитов из растительных отходов // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов V Всерос. науч.-практ. конф. Иваново, 19 апреля 2018 г. Иваново: Изд-во Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, 2018. С. 71–75.
- [15] Lataille J.I. Fire protection engineering in building design. Elsevier Science. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003, 133 p.
- [16] Ibragimov A., Titunin A., Vachnina T., Susoeva I. The decline of combustibility of heat-insulating composite plates from plant wastes // *MATEC Web of Conferences*, 2018, p. 01019.
- [17] Puri R.G., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress // *J. of Coatings Technology and Research*, 2017, no. 14 (1), pp. 1–20.
- [18] Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. М.: Химия, 1976. 160 с.
- [19] Bourbigot S., Fontaine G. Flame retardancy of polylactide: an overview // *Polymer Chemistry*, 2010, v. 1, pp. 1413–1422.
- [20] Faruk O., Bledzki A.K., Fink H.-P. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010 // *Progress in Polymer Science*, 2012, v. 37, pp. 1552–1596.
- [21] Jang J.Y., Jeong T.K., Oh H.J. Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly (lactic acid) composites // *Composites Part B Engineering*, 2012, v. 43, pp. 2434–2438.
- [22] Mngomezulu M.E., John M.J., Jacobs V. Review on flammability of biofibresand biocomposites // *Carbohydrate Polymers*, 2014, v. 111, pp. 149–182.
- [23] Ломакин С.М., Заиков Г.Е., Микитаев А.К., Кочнев А.М., Стоянов О.В., Шкодич В.Ф., Наумов С.В. Замедлители горения для полимеров // *Вестник Казанского технологического университета*, 2012. Т. 15. № 7. С. 71–86.
- [24] Ненахов С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония. Литературный обзор // *Пожаровзрывобезопасность*, 2010. № 8. С. 11–58.
- [25] Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести. М.: Химия, 1986. 102 с.
- [26] Глухих В.В., Мухин Н.М. Получение и применение изделий из древесно-полимерных композитов с термoplastичными полимерными матрицами. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2014. 85 с.
- [27] ГОСТ 20907–2016 Смолы фенолоформальдегидные жидкие. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 19 с.
- [28] Вахнина Т.Н. Методы и средства научных исследований. В 2 ч. Ч.2: Расчетно-графические и исследовательские работы. Кострома: КГТУ, 2015. 75 с.
- [29] ГОСТ 30244–94 Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. М.: Стандартинформ, 2008. 19 с.
- [30] ГОСТ Р 53292–2009 Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.

Сведения об авторах

Кудряшова Ирина Алексеевна — аспирант, Костромской государственный университет, kia@msekos.ru

Вахнина Татьяна Николаевна — канд. техн. наук, доцент, Костромской государственный университет, t_vachnina@mail.ru

Титунин Андрей Александрович — д-р техн. наук, доцент, Костромской государственный университет, a_titunin@ksu.edu.ru

Поступила в редакцию 11.01.2021.

Принята к публикации 08.02.2021.

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF METHOD FOR INCREASING FIRE PROTECTION OF WOOD COMPOSITES WITH SECONDARY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

I.A. Kudryashova, T.N. Vakhnina, A.A. Titunin

Kostroma State University (KSU), 17, Dzerzhinsky st., 156005, Kostroma, Kostroma reg., Russia

kia@msekos.ru

The expediency of involvement of the waste in the production of composite materials in the form of secondary polyethylene terephthalate is shown. The results of the experimental researches for justification of technological regimes of production of wood-polymer composite possessing the required thermal and water resistance are presented. The way of its flammability reduction by means of introduction of fire retardant into the binder composition is offered. In the course of experimental studies on increasing fire protection of wood composites with the addition of secondary polyethylene terephthalate, mathematical models reflecting the relationship of controllable factors (specific pressing time, the share of flame retardant addition) and operational indicators of the composite (strength, water and fire resistance) were obtained. Statistical processing of the experimental results confirmed the homogeneity of all output values and the adequacy of the obtained mathematical models of the wood composite production process. It was shown that 17 % aluminochromophosphate introduced into the composite at a specific pressing time of 0,53 min/mm ensures a water-resistant composite with the required bending strength and weight loss during the fire action, corresponding to the flammability class G1. It is concluded that a further increase in the specific pressing time is inexpedient because the strength of the wood-polymer composite decreases due to destructive phenomena caused by prolonged heating of the wood component, and the release of a vapor-gas mixture from the aluminochromophosphate. The reduction to a minimum of — 4,8 % of the swelling of the composite in thickness for 2 hours at such a pressing duration was established. The recommendations for technological parameters of the production process, providing obtaining of composite with polyethylene terephthalate additive with the necessary physical and mechanical indicators and reduced loss of mass during combustion were developed.

Keywords: wood shavings, binder, wood composites, polyethylene terephthalate, aluminochromophosphate, strength, combustibility, damage by weight during combustion

Suggested citation: Kudryashova I.A., Vakhnina T.N., Titunin A.A. *Экспериментальное обоснование способа повышения огнезащитности древесных композитов с добавкой вторичного полиэтилентерефталата* [Experimental substantiation of method for increasing fire protection of wood composites with secondary polyethylene terephthalate]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 118–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-118-125

References

- [1] Vakhnina T.N., Tikhomirov L.A. *Povyshenie ognestoykosti drevesnykh kompozitov* [Increasing fire resistance of wood composites]. *Polimernye materialy ponizhennoy goryuchesti* [Polymer materials of reduced flammability]. Vologda: VoGTU, 2011, pp. 96–98.
- [2] Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskiy A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers]. Saint-Petersburg: Lan', 2010, 624 p.
- [3] Vakhnina T.N. *Formirovaniye svoystv drevesnykh plitnykh materialov dlya ispol'zovaniya v stroitel'nykh konstruktivnykh* [Formation of the properties of wood-based panel materials for use in building structures]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction], 2009, no. 6, pp. 10–12.
- [4] Kudryashova I.A., Vakhnina T.N., Titunin A.A. *Povyshenie ognestoykosti drevesno-polimernykh kompozitov s dobavkoy vtorichnogo polietilenterefalata* [Improving the fire protection of wood-polymer composites with the addition of secondary polyethylene terephthalate]. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies and Quality], 2018, no. 3 (41), pp. 23–25.
- [5] Serkov B.B. *Pozharnaya opasnost' polimernykh materialov, snizhenie goryuchesti i normirovaniye ikh pozharobezopasnogo primeneniya v stroitel'stve* [Fire hazard of polymer materials, reduction of combustibility and regulation of their fire-safe use in construction]. Dis. Dr. Sci. (Tech.). Moscow, 2001, 271 p.
- [6] Hapuarachchi T.D., Ren G., Fan M. Fire retardancy of natural fibre reinforced sheet moulding compound. *Applied Composite Materials*, 2007, v. 14, pp. 251–264.
- [7] Kozłowski R., Władyka-Przybylak M. Flammability and fire resistance of composites reinforced by natural fibers. *Polymers for Advanced Technologies*, 2008, v. 19, pp. 446–453.
- [8] Matko S., Toldy A., Keszei S. Flame retardancy of biodegradable polymers and biocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 2005, v. 88, pp. 138–145.
- [9] Baratov A.N., Andrianov R.A., Korol'chenko A.Ya. *Pozharnaya opasnost' stroitel'nykh materialov* [Fire hazard of building materials]. Moscow: Stroyizdat, 1988, 380 p.
- [10] Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. *Gorenie drevesiny i ee pozharoопасnye svoystva* [Combustion of wood and its fire hazard properties]. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii [SFA of EMERCOM of Russia], 2010, 262 p.
- [11] Quintiere J.G., Williams F.A. Comments on the national institute of standards and technology investigation of the 2001 World Trade Center fires. *J. of Fire Sciences*, 2014, no. 32, pp. 281–291.
- [12] Yao F, Wu Q, Lei Y. Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermogravimetric analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 2008, v. 93(1), pp. 90–98.

- [13] Mikhaylin Yu.A. *Teplo-, termo- i ognestoykost' polimernykh materialov* [Heat, thermal and fire resistance of polymer materials]. Saint-Petersburg: NOT, 2011, 416 p.
- [14] Vakhnina T.N., Susoeva I.V., Titunin A.A., Petrov A.V. *Issledovanie vliyaniya florida ammoniya na goryuchest' plitnykh kompozitov iz rastitel'nykh otkhodov* [Investigation of the influence of ammonium fluoride on the combustibility of plate composites from plant waste]. Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem obespecheniya pozharnoy bezopasnosti ob'ektov: sbornik materialov V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ivanovo, 19 aprelya 2018 goda [Actual issues of improving engineering systems for ensuring fire safety of objects: collection of materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii [Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia,], 2018, pp. 71–75.
- [15] Lataille J.I. Fire protection engineering in building design. Elsevier Science. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003, 133 p.
- [16] Ibragimov A., Titunin A., Vakhnina T., Susoeva I. The decline of combustibility of heat-insulating composite plates from plant wastes. MATEC Web of Conferences, 2018, p. 01019.
- [17] Puri R.G., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress. J. of Coatings Technology and Research, 2017, no. 14 (1), pp. 1–20.
- [18] Kodolov V.I. *Goryuchest' i ognestoykost' polimernykh materialov* [Flammability and fire resistance of polymer materials]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1976, 160 p.
- [19] Bourbigot S., Fontaine G. Flame retardancy of polylactide: an overview. Polymer Chemistry, 2010, v. 1, pp. 1413–1422.
- [20] Faruk O., Bledzki A.K., Fink H.-P. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. Progress in Polymer Science, 2012, v. 37, pp. 1552–1596.
- [21] Jang J.Y., Jeong T.K., Oh H.J. Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly (lactic acid) composites. Composites Part B Engineering, 2012, v. 43, pp. 2434–2438.
- [22] Mngomezulu M.E., John M.J., Jacobs V. Review on flammability of biofibres and biocomposites. Carbohydrate Polymers, 2014, v. 111, pp. 149–182.
- [23] Lomakin S.M., Zaikov G.E., Mikitaev A.K., Kochnev A.M., Stoyanov O.V., Shkodich V.F., Naumov S.V. *Zamedliteli goreniya dlya polimerov* [Gorenie retarders for polymers]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University], 2012, v. 15, no. 7, pp. 71–86.
- [24] Nenakhov S.A., Pimenova V.P. *Fiziko-khimiya vspenivayushchikhsya ognezashchitnykh pokrytiy na osnove polifosfata ammoniya. Literaturnyy obzor* [Physico-chemistry of foaming flame retardant coatings based on ammonium polyphosphate]. Pozharovzryvobezopasnost' [Fire and Explosion Safety], 2010, no. 8, pp. 11–58.
- [25] Berlin A.A. *Gorenie polimerov i polimernye materialy ponizhennoy goryuchesti* [Combustion of polymers and low combustibility polymeric materials]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1986, 102 p.
- [26] Glukhikh V.V., Mukhin N.M. *Poluchenie i primeneniye izdeliy iz drevesno-polimernykh kompozitov s termoplastichnymi polimernymi matritsami* [Production and use of products from wood-polymer composites with thermoplastic polymer matrices]. Ekaterinburg: UGLTU [Ural State Forestry Technician Univ.], 2014, 85 p.
- [27] *GOST 20907–2016 Smoly fenoloformal'degidnye zhidkie. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 20907–2016. Liquid phenol-formaldehyde resins. Technical specifications]. Moscow: Standartinform, 2017, 19 p.
- [28] Vakhnina T.N. *Metody i sredstva nauchnykh issledovaniy. V 2 ch. Ch.2: Raschetno-graficheskie i issledovatel'skie raboty* [Methods and means of scientific research. In 2 h. h. 2: Calculation-graphic and research works]. Kostroma: KGTU, 2015, 75 p.
- [29] *GOST 30244–94 Materialy stroitel'nye. Metody ispytaniy na goryuchest'* [State Standard 30244–94. Construction materials. Methods of test for Flammability]. Moscow, Standartinform, 2008, 19 p.
- [30] *GOST R 53292–2009 Ogneshchitnye sostavy i veshchestva dlya drevesiny i materialov na ee osnove. Obshchie trebovaniya. Metody ispytaniy* [State Standard R 53292–2009. Flame retardants and substances for wood and wood-based materials. General requirements. Test methods]. Moscow: Standartinform, 2016, 20 p.

Authors' information

Kudryashova Irina Alekseevna — Pg. of the Kostroma State University, kia@msekos.ru

Vakhnina Tatyana Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Kostroma State University, t_vakhnina@mail.ru

Titunin Andrey Alexandrovich — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Kostroma State University, a_titunin@ksu.edu.ru

Received 11.01.2021.

Accepted for publication 08.02.2021.