

Научная статья

УДК 678.046.3:614.84

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДПК С ДОБАВКАМИ БРОМИРОВАННОЙ КАРДАНОЛЬНОЙ НОВОЛАЧНОЙ СМОЛЫ И ПОЛИФОСФАТА АММОНИЯ

Александр Александрович Баев¹, Алексей Евгеньевич Шкуро²,
Татьяна Валерьевна Якубова³, Олег Федорович Шишлов⁴

^{1,3} Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

^{2,4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ rancho.99@inbox.ru

² shkuruae@m.usfeu.ru

³ tatanaaku-bova71723@gmail.com

⁴ o.shishlov@ucp.ru

Аннотация. Древесно-полимерные композиты эстетичны и долговечны, но горючи, что ограничивает их применение. Традиционные антипирены имеют недостатки. Бромированная карданольная новолачная смола (БНКС) снижает горючесть ПЭНД с древесной мукой, и 20 % ее содержания – оптимальный уровень для повышения огнестойкости. Для эффективности важно правильно балансировать концентрации и использовать стабилизаторы.

Ключевые слова: древесно-полимерные композиты (ДПК), полиэтилен высокой плотности (ПЭНД), древесная мука, полифосфат аммония (ПФА), бромированная карданольная новолачная смола (БНКС), огнестойкость, антипирены

Для цитирования: Баев А. А., Шкуро А. Е., Якубова Т. В., Шишлов О. Ф. Исследование огнестойкости ДПК с добавками бромированной карданольной новолачной смолы и полифосфата аммония // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies: материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 430–434.

Original article

INVESTIGATION OF FIRE RESISTANCE OF WPC WITH ADDITIVES OF BROMINATED CARDANOLIC NOVOLACTIC RESIN AND AMMONIUM POLYPHOSPHATE

Alexander A. Baev¹, **Alexey E. Shkuro**², **Tatiana V. Yakubova**³,
Oleg F. Shishlov⁴

^{1,3} Ural Institute of SFS of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Ekaterinburg, Russia

^{2,4} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ pancho.99@inbox.ru

² shkuruae@m.usfeu.ru

³ tatanaaku-bova71723@gmail.com

⁴ o.shishlov@ucp.ru

Abstract. Wood-polymer composites are aesthetically pleasing and durable, but they are flammable, which limits their use. Traditional flame retardants have disadvantages. Brominated cardanol novolactic resin (BCN) reduces the flammability of HDPE with wood flour, and 20 % of its content is the optimal level for increasing fire resistance. For efficiency, it is important to properly balance concentrations and use stabilizers.

Keywords: wood-polymer composites (WPC), high-density polyethylene (HDPE), wood flour, ammonium polyphosphate (APP), brominated cardanol novolactic resin (BNCS), fire resistance, flame retardants

For citation: Issledovanie ognestojkosti DPK s dobavkami bromirovannoj kar-danol'noj novolachnoj smoly i polifosfata ammoniya [Investigation of fire resistance of WPC with additives of brominated cardanol novolactic resin and ammonium polyphosphate] (2026) A. A. Baev, A. E. Shkuro, T. V. Yakubova, O. F. Shishlov. Effective response to modern challenges taking into account the interaction of man and nature, man and technology = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : UGLTU, 2026. P. 430–434. (In Russ).

Древесно-полимерные композиты (ДПК) завоевали широкую популярность в строительстве, отделке и производстве мебели благодаря сочетанию эстетики натуральной древесины с повышенной долговечностью и технологичностью термопластов. Однако высокая горючесть как целлюлозного наполнителя, так и полимерной матрицы (чаще всего полиэтилена или полипропилена) представляет собой критический недостаток, ограничивающий их применение в ответственных конструкциях. Проблема усугубляется синергетическим эффектом при горении:

древесная мука выступает как фитиль, а полимерная фаза выделяет большое количество тепла и легковоспламеняющихся газов [1].

Традиционные подходы к огнезащите ДПК включают применение интумесцентных систем (например, полифосфата аммония, ПФА), галогенированных антипиренов или минеральных наполнителей. Полифосфат аммония (ПФА) эффективен в конденсированной фазе, катализируя образование термостабильного углеродного слоя при дегидратации целлюлозы. Однако для достижения высоких показателей огнестойкости требуются значительные нагрузки ПФА, что ухудшает механические свойства и перерабатываемость композита. Галогенированные антипирены (особенно бромированные) отличаются высокой эффективностью в газовой фазе при низких концентрациях, но их применение сталкивается с проблемами экотоксичности и коррозионной активности продуктов разложения.

В качестве перспективной альтернативы выступают модифицированные биопродукты, такие как бромированная карданольная новолачная смола (БКНС). Ее преимущества включают следующее [2]:

- 1) биооснову сырья (карданол – возобновляемый компонент из скорлупы кешью);
- 2) механизм газофазного ингибирования горения (высвобождение активного брома);
- 3) потенциал коксообразования благодаря ароматической структуре.

Однако комбинирование БКНС с ПФА в ДПК представляет научный и практический интерес, так как их механизмы огнезащиты могут как взаимно усиливать друг друга, так и конфликтовать. С одной стороны, БКНС способна дополнить барьерное действие ПФА радикально-ингибирующим эффектом. С другой стороны, кислотные продукты разложения ПФА могут провоцировать преждевременную деструкцию БКНС, а летучие бромистые соединения – дестабилизировать интумесцентный слой.

Целью данной работы является комплексное исследование влияния системы антипиренов на основе БКНС и ПФА на огнестойкость композитов на основе полиэтилена низкого давления (ПЭНД) и древесной муки.

В качестве полимерной матрицы использовали полиэтилен высокой плотности марки 273 (ПЭНД ГОСТ 16338–85); в качестве наполнителя – древесную муку марки 180 (ДМ, ГОСТ 16361–87); в качестве антипиренов – полифосфат аммония (ГОСТ 12.1.007) и бромированную карданольную новолачную смолу марки Резикард-Б, производства ПАО «Уралхимпласт» (г. Нижний Тагил). Смешение компонентов проводилось методом вальцевания при температуре 180 °С. Рецептуры композитов приведены в таблице.

Рецептуры полученных композитов

№	Содержание компонента, мас. ч.			
	ПЭНД	Древесная мука	Полифосфат аммония	БНКС
1	100	80	20	0
2	100	80	20	10
3	100	80	20	20
4	100	80	20	30
5	100	80	20	40

Огнестойкость полученных композитов определялась следующим образом: образец (150×25×1 мм) закреплялся так, чтобы его продольная ось была направлена вертикально, а нижняя часть находилась на расстоянии 300 мм от слоя гигроскопической хирургической ваты размером 50×50 мм и толщиной 6 мм. Газовая горелка, установленная под углом 45° к вертикально закрепленному образцу композита, зажигалась и регулировалась таким образом, чтобы расстояние от конца горелки до голубого пламени с желтым кончиком составляло 20±1 мм. Пламя горелки подносилось к центру свободного конца образца на 10 с. Затем горелка удалялась от образца на расстояние не менее 150 мм, и регистрировалось время горения и изменение массы образца.

Результаты определения огнестойкости композитов на основе ПЭНД и древесной муки приведены на рис. 1 и 2.

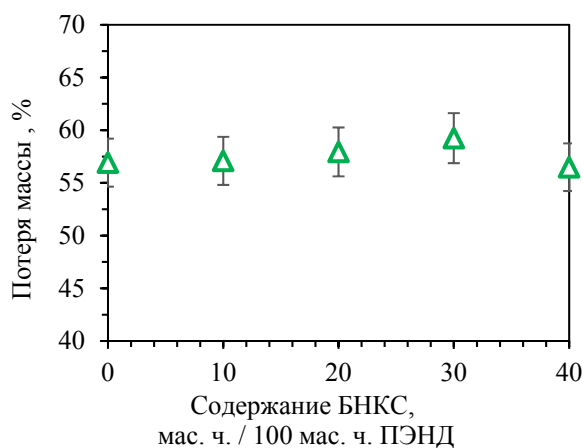


Рис. 1. Потеря массы образцами композитов после проведения испытаний на огнестойкость

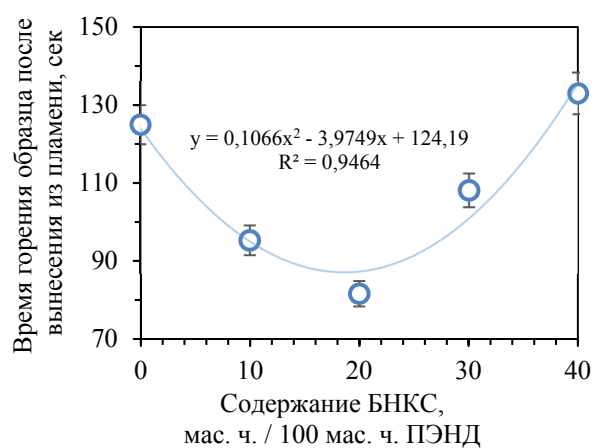


Рис. 2. Время горения образцов композитов после вынесения из пламени

Значения потери массы после испытаний варьируются в узком диапазоне от 56,5 % до 59,2 %, не демонстрируя явной корреляции с содержанием БНКС. Минимальная потеря массы наблюдается при времени воздействия 40 часов БНКС (56,5 %), максимальная – при 30 ч (59,2 %).

Таким образом, в исследованном диапазоне содержание БКНС не оказывает статистически значимого или систематического влияния на потерю массы при горении. Вероятно, данный параметр в большей степени зависит от основного состава материала, включающего полиэтилен низкого давления (ПЭНД), древесную муку и полифосфат аммония.

Добавление БКНС существенно улучшает огнестойкость (снижает время горения после вынесения из пламени) только в диапазоне 10–20 мас. ч. При 20 мас. ч. достигается оптимальный эффект. Дальнейшее увеличение содержания БКНС (30–40 мас. ч.) ухудшает огнестойкость, делая материал даже более горючим, чем без добавки. Эффективность антипирена нелинейна и может быть описана полиномом второй степени (рис. 2).

Причина снижения огнестойкости ДПК с высокими содержаниями БКНС предположительно заключается в антагонизме антипиренов. Огнезащитное действие ПФА требует формирования плотного защитного слоя в конденсированной фазе, а БКНС генерирует большие объемы летучих газов и эффективна в газовой фазе. Избыток этих веществ дестабилизирует и разрушает интумесцентный слой, создаваемый ПФА, сводя на нет его барьерный эффект. Одновременно, кислоты ПФА могут ухудшать работу БКНС. Для максимальной эффективности совместного применения этих антипиренов необходимо тщательное балансирование концентраций и использование специальных добавок, стабилизирующих углеродный слой (например, оксидов сурьмы и цинка).

Список источников

1. Древесно-полимерные композиты – эффективные отделочные строительные материалы / В. А. Ушков, А. Ю. Семочкин, Д. И. Невзоров, Ю. А. Семочкин // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 82–85.
2. Synthesis of bro-minated cardanol derivatives and their efficiency as fire retardants for wood / O. F. Shishlov, S. A. Dozhnikov, O. S. El'tsov [et al.] // Polymer Science, Series D. 2014. Vol. 7(3). P. 238–245. DOI: 10.1134/S1995421214030186.

References

1. Wood-polymer composites are effective finishing construction materials / V. A. Ushkov, A. Yu. Semochkin, D. I. Nevzorov, and Yu. A. Semochkin // Industrial and civil construction. 2014. №. 8. P. 82–85.
2. Synthesis of bro-minated cardanol derivatives and their efficiency as fire retardants for wood / O. F. Shishlov, S. A. Dozhnikov, O. S. El'tsov [et al.] // Polymer Science, Series D. 2014. Vol. 7(3). P. 238–245. DOI: 10.1134/S1995421214030186.