

Особенности модифицирования древесных волокон, используемых для заполнения деревянных конструкций

А.А. Леонович^а, М.Г. Глазунова^б

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

a wood-plast@mail.ru, ^б rita.mg.1212@yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-6971-9644>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-0778-6205>

Статья поступила 26.04.2022, принята 14.05.2022

В статье рассматривается модифицирование эковаты — материала из древесного волокна, задуваемого в пустоты конструкции, с чрезвычайно низкой плотностью (30...70 г/м³) для улучшения тепло- и звукоизоляции. Приводятся сведения о снижении горючести при обработке водным раствором амидофосфата, биозащитной буры и борной кислоты. Для диапазона плотности фиксировались потеря массы при огневом испытании, дымообразование и тление. С использованием метода затухания образца на приборе «полукруг» установлено влияние соотношений модифицирующих компонентов. Отмечена особенность поведения эковаты из древесных волокон при огневых испытаниях, состоящая в том, что горючесть по мере снижения плотности уменьшается в изученном диапазоне плотности. Расхождение с традиционными древесными материалами обосновывается с позиции колориметрической оценки горючести.

Ключевые слова: огнезащита; биозащита; древесное волокно; эковата.

Features of modifying wood fibers used to fill wooden structures

A.A. Leonovich^а, M.G. Glazunova^б

St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

a wood-plast@mail.ru, ^б rita.mg.1212@yandex.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-6971-9644>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-0778-6205>

Received 26.04.2022, accepted 14.05.2022

The article discusses the modification of ecowool – a material made of wood fiber blown into the voids of the structure with an extremely low density of (30...70 g/m³) to improve heat and sound insulation. The information is given on the reduction of flammability by treatment with an aqueous solution of amidophosphate and bioprotective borax and boric acid. For the density range, mass loss during a fire test, smoke generation and smoldering are recorded. Using the sample attenuation method on the device "semicircle", the influence of the ratios of the modifying components is established. A feature of the behavior of ecowool made of wood fibers during fire tests is noted, which consists in the fact that combustibility decreases with decreasing density in the studied density range. The discrepancy with traditional wood materials is justified from the standpoint of a colorimetric assessment of combustibility.

Keywords: fire protection; biosecurity; wood fiber; ecowool.

Введение. Материалоемкость древесно-волоконистых плит определяется главным образом расходом древесного волокна, рецептурная доля которого задается в соответствии с назначаемой плотностью продукции. Стандарты предусматривают выработку плит в широком диапазоне плотности. По мере ее снижения в общем случае снижается и прочность, но улучшаются тепло- и звукоизолирующие параметры плит, носителем которых является древесное волокно. При плотности 200...400 кг/м³ плиты относятся к мягким и используются как изоляционный прокладочный материал в различных строительных конструкциях. В каких пределах возможно снижение плотности, чтобы продукция, изготавливаемая с минимальным расходом древесного волокна, сохраняла потребительскую перспективу?

Анализ областей конкретного применения древесно-волоконистой продукции показал, что древесные волокна

в виде минимально возможной плотности материала могут эффективно использоваться в качестве заполнителя пустот, предусмотренных в конструкциях деревянно-домостроения (и не только деревянного). Мы говорим о деревянных конструкциях как наиболее опасных в пожарном отношении [1]. Из-за неправильной геометрической формы пространства пустот и действующей технологии строительства эти пустоты не могут качественно монолитизироваться мягкими древесно-волоконистыми плитами или другими плитными материалами и остаются незаполненными, а воздушные лакуны нарушают уровень теплового режима и служат нежелательным проводником звука.

В США в рамках утилизации бумажной макулатуры вначале была создана так называемая «целлюлозная вата», используемая для заполнения строительных пустот. Позже рецептура, технология и оборудование для вду-

вания массы в такие пустоты были доработаны в Германии и Финляндии. Особенно широко эковата используется в Японии [2]. Вместе с тем, возникла проблема пожаробезопасности и биостойкости, которую решают введением в массу эковаты, в частности, смеси тетрабората натрия (буры) и борной кислоты [3; 4].

В силу отсутствия нормативов на огневые испытания эковаты степень ее горючести оценивают по смежным стандартам или сводят к прямому кратковременному зажиганию образца произвольных размеров. По многим данным, относящимся к огнезащите древесины, бура и борная кислота не могут обеспечить достаточную огнезащиту, хотя обязательное свойство в отношении биостойкости древесины данная рецептура обеспечивает [5].

Целью данной работы явилось изучение огнезащитности древесного волокна, используемого в минимальной насыпной массе для заполнения пустот в строительных конструкциях. Поскольку эковата приобретает форму и служит материалом наравне с насыпной массой, используют термин «плотность», и единицей измерения параметра в обоих вариантах служит масса, отнесенная к объему — $г/м^3$.

Исходный посыл состоит в том, что у твердых древесно-волоконистых плит по мере снижения плотности материала горючесть возрастает [6; 7]. Согласно calorиметрической оценке горючести материалов, самостоятельное горение невозможно при условии:

$$K_r = q_{т30} / q_n, \text{ если } K_r \leq 1,$$

где $q_{т30}$ — тепловой эффект образца; q_n — количество тепла, подводимого к образцу для максимального выделения тепла при его испытании. Для трудногорючих принято $K_r \leq 0,5$, для трудновоспламеняющихся — $K_r \leq 2,1$ [8].

Собственно $q_{т30}$ определяется массой образца и теплотой сгорания его как вещества [9]. Огнезащитная обработка сокращает теплоту сгорания, а минимальная масса уменьшает тепловой эффект. В результате у эковаты за определенным пределом плотности в силу резкого сокращения горючего вещества в объеме испытываемого образца горючесть может изменяться неопределенным образом. И опыт огнезащиты древесных плит не может быть перенесен без коррекции на поведение эковаты в условиях ее зажигания, тем более на поиск оптимальной рецептуры. Исследование в этом направлении актуально.

Методическая часть. В качестве древесного волокна использовался полуфабрикат со степенью помола 18...20 ДС, получаемый на рафинере размолот древесины в производстве древесноволокнистых плит средней плотности. Анализировали выдержавшие антипирены для целлюлозы и древесины [10], и в качестве антипирена выбрали амидофосфат КМ [11]. Для биозащиты взяли известную смесь ББ (тетраборат натрия и борная кислота) [12]. Водные растворы КМ и ББ наносили распылением на волокно, подсушивали, из воздушно-сухой массы формировали образцы переменной плотностью 30...70 $кг/м^3$ в виде куба с гранью

50 мм. Закрепляли образец и поджигали в течение 2,5 мин пламенем спиртовой горелки высотой 55 мм.

Фиксировали продолжительность выделения дыма (u_d) и тление (u_t). Пламенное горение отсутствовало, кроме контрольного образца. После охлаждения регистрировали потерю массы при огневом испытании (u_m).

Вклад КМ и ББ в подавление горения изучали с использованием прибора «полукруг» [13; 14]. Пропитанный образец крафт-бумаги поджигали, условия по мере прохождения фронта пламени из-за изменения угла горения на полукруге от $+90^\circ$ до -90° приводили к затуханию по мере проявления огнезащитности. Контроль (без добавок) не затухал до полного сгорания.

Результаты и их обсуждение. Огневые испытания образцов в виде куба показали, что пламенное горение во всех вариантах волокна, обработанного КМ, отсутствовало, в отличие от контроля, активно сгоравшего полностью. Помимо потери массы при огневом испытании u_m , фиксировали два менее четких параметра: выделение дыма u_d и тление u_t . Для образцов различной рецептуры интенсивность дыма была различной, время выделения дыма не строго связано с его интенсивностью, поэтому этот параметр при данном испытании имеет относительное значение для оценки пожароопасности. Для достоверности нужно снимать стандартную кривую по кинетике плотности дымообразования. По прекращению образования дыма проверяли наличие тления в центре образца через проделываемое отверстие по признакам слабого свечения.

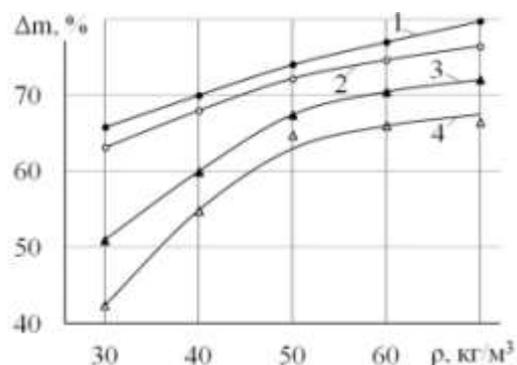


Рис. 1. Потеря массы при огневом испытании образцов древесного волокна, содержащего в массовых частях КМ 15 (1; 3) и 25 (2; 4) и смесь ББ 2 (1; 2) и 3 (3; 4)

Как видно на рис. 1, потеря массы при зажигании образцов по мере снижения исходной плотности (насыпной массы) образца обнаруживает важную зависимость, отличную от поведения твердых древесно-волоконистых плит. Суть ее состоит в уменьшении относительной потери массы при огневом испытании, т. е. по мере снижения плотности образца в пределах низких значений его горючесть уменьшается. Практическая значимость этого факта состоит в том, что для огнезащиты эковаты можно снижать расход антипирена на единицу продукции по мере снижения ее плотности.

Таблица 1. Результаты факторного эксперимента типа 2³

Номер опыта	Параметры образцов			Огневые испытания		
	содержание КМ, масс.ч.	содержание ББ, масс.ч.	плотность, кг/м ³	потеря массы, %	дым, мин	тление, мин
1	15	2	30	65,8±2,0	6,4±0,2	7,8±0,4
2	25	2	30	51,0±3,7	8,4±0,2	8,4±0,2
3	15	3	30	63,2±0,9	6,9±0,7	7,5±0,4
4	25	3	30	45,2±1,7	8,4±0,2	8,4±0,2
5	15	2	70	79,7±0,4	10,2±0,1	17,4±0,8
6	25	2	70	72,1±0,1	13,5±0,2	18,3±0,2
7	15	3	70	76,4±0,6	12,0±0,2	18,6±0,3
8	25	3	70	66,5±0,6	16,0±0,2	20,2±0,2

Заданные уровни содержания компонентов приняты в расчете на традиционные значения рецептуры для древесных плит, когда примерный расход антипирена со-

ставляет порядка 15...25 масс.ч. на 100 древесного вещества. Адекватные уравнения регрессии в натуральных координатах по трем функциям отклика следующие:

$$\begin{aligned}
 y_M &= 21,6 - 0,434 \cdot m_{KM} + 26,85 \cdot m_{BB} + 0,171 \cdot \rho - 0,189 \cdot m_{BB} \cdot \rho \\
 y_D &= 6,21 - 0,362 \cdot m_{KM} - 0,67 \cdot m_{BB} - 0,046 \cdot \rho + 0,192 \cdot m_{KM} \cdot m_{BB} + 0,045 \cdot m_{BB} \cdot \rho \\
 y_T &= -7,105 - 0,368 \cdot m_{KM} + 7,08 \cdot m_{BB} - 0,0255 \cdot \rho + 0,176 \cdot m_{KM} \cdot m_{BB}
 \end{aligned}$$

При воздействии источника зажигания у образцов во всех изученных вариантах расхода модифицирующего состава пламенное горение не возникает. Реакция образца на зажигание проявляется в виде дыма, происходит частичное обугливание. Горение в виде тления распространяется за пределы источника зажигания с обязательным затуханием. Идет процесс твердофазного горения (обугливания), но экзотерма значительна, что обуславливает некоторое горение на самоподдерживающейся основе, однако полного сгорания образцов не происходит. Конкретные значения для переменных условий можно получить подстановкой исходных данных в приведенные уравнения регрессии.

Интенсивность выделения дыма резко снижается с повышением расхода огнезащитного компонента. Одновременно снижается токсичность дымообразования [15].

Потеря массы образцов из сформированного насыпного материала при огневом испытании обнаруживает зависимость от плотности, причем, как видно на рис. 1, эта зависимость нелинейна. Компоненты КМ и ББ, обеспечивая выполнение своих функций, не только не проявляют антагонизма, но усиливают огнезащитное

действие, проявляют синергизм. Это позволяет назначить расход биозащитного компонента согласно классификации условий службы материала по скорости расконсервирования, определяемого по источникам и особенностям увлажнения при конкретных условиях службы, без опасения снизить уровень огнезащитности.

При подборе подходящей по огнезащитной эффективности рецептуры удобно воспользоваться методом полукруга и интерпретацией полученной экспериментальной кривой в отношении вклада изучаемых компонентов в подавление процесса горения [16]. Метод обеспечивает получение сравнительных данных для выбора наилучшего варианта антипирена.

На образцах крафт-бумаги как модели будущей эковаты из древесных волокон методом полукруга получена серия кривых. Расчет показателей образцов 800×56 мм и их значения для изучаемых рецептур приведен в табл. 2. Для обсуждения рассмотрим данные для двух рецептур (таблица и график). При этом учли результаты ранее приведенной необходимой огнезащитности по мере снижения плотности (см. рис. 1) и назначили сокращенный расход антипирена.

Таблица 2. Рецептура и результаты испытаний на полукруге

Номер образца на рисунке	Массовая доля, %		Уровень обработки по привесу, %	Результаты огневых испытаний			
	КМ	ББ		L, мм	α	$\tau_{сг}$, с	M'
2	10	2	12,1	340	13,27	33,5	16,37
Контроль	0	0	0	800	-90	296	1,7

Поясним приведенные обозначения: L — длина сгоревшей части образца; R — радиус дуги полукруга, образованного образцом, R = 255 мм; α — угол затухания, на половине длины в верхней точке полукруга

$\alpha = 0$, а затем становится отрицательным; оценочный индекс распространения пламени M' находится из продолжительности самостоятельного горения $\tau_{сг}$ и величины L.

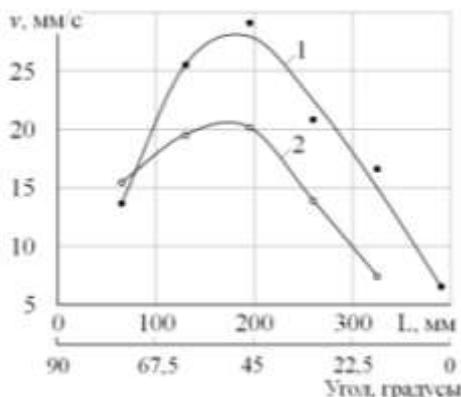


Рис. 2. Кинетика распространения горения по образцам на полукруге (номера кривых в табл. 2)

На рисунке отсутствует кривая контрольного образца, так как она меняет размер рисунка и не несет никакой информации: образец сгорает полностью, горит даже в самом трудном свечеобразном положении ($\alpha = -90$), имеет низкий оценочный индекс. Данные по контрольному образцу приведены в табл. 2.

Если анализировать полученные результаты (рис. 1 и 2), то следует вывод, что вклад антисептического компонента ББ в огнезащитное действие хотя и положителен, но все же меньше, чем вклад КМ. Нельзя использованием только плохо растворимого тетрабората натрия и борной кислоты получить рентабельно однородный материал, соответствующий задаваемому уровню пожарной безопасности.

Поставщик технологии [3] предусматривает испытание эковаты на горючесть кратковременным воздействием пламени горелки порядка 5 с. Это характеризует условия воспламенения материала. При отсутствии появления пламени требование огнезащитности считается выполненным.

В случае длительного, в течение 2,5 мин, зажигания мы воспроизводим поведение в условиях развившегося горения для оценки вклада эковаты в пожарную обстановку. По всей вероятности, следует проводить оценку

Литература

1. Olawoyin R. Nanotechnology: The future of fire safety // Safety Science. 2018. V. 110, Part A. P. 214-221.
2. Есо строй. Строительство домов из двойного бруса [Электронный ресурс]. URL: <https://ecostroymk.ru/stati/ekovata-uteplitel-dlya-doma.html> (дата обращения: 16.05.2022).
3. Эковата GreenWool [Электронный ресурс]. URL: <https://ecovata21.ru/nanesenie-ekovaty-vlazhnyj-i-suhoj-sposoby/> (дата обращения: 16.05.2022).
4. Spear M.J. Preservation, protection and modification of wood composites // Wood Composites. 2015. P. 253-310.
5. Cuff G., Mindeguia J.-Ch., Dréan V., Breyse D., Auguin G. Experimental and numerical study of the thermomechanical behaviour of woodbased panels exposed to fire // Construction and Building Materials. 2018. V. 160. P. 668-678.
6. Леонович А.А. Теория и практика изготовления огнезащитных древесных плит: моногр. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 176 с.
7. Mark H.F. Combustion of polymers and its retardation // Polymer News. 1975. V. 2. № 5-6. P. 3-12.

по обоим методам. По условиям службы эковаты (установки и эксплуатации) нужно определять факторы риска и выбирать уровень огнезащиты. При этом нельзя забывать о способности эковаты к водопоглощению в тяжелых условиях службы. Точка равновесного водопоглощения имеет тенденцию к сдвигению в сторону повышения, а от этого зависят и теплоизолирующие свойства. Если не обеспечивается закрепление модифицирующего состава, то циклические увлажнения могут способствовать миграции водорастворимых соединений по объему с нарушением однородности эковаты и, как следствие, ухудшению эксплуатационных параметров изоляции.

Таким образом, перспективный теплоизоляционный материал, эковата с использованием древесного волокна является предельным вариантом в снижении плотности мягких (изоляционных) древесных плит, предельным вариантом в технологии (отпадает надобность в сложном оборудовании), предельным вариантом в себестоимости (отпадают сбор и концентрирование макулатуры, предварительная ее подготовка). Все это открывает возможность широкого внедрения эковаты в строительство.

Заключение. Эковату из древесных волокон чрезвычайно низкой плотности правильнее всего модифицировать комплексным составом с целевым назначением компонентов: для огнезащиты необходим эффективный антипирен, для биозащиты — антисептик из числа хорошо зарекомендовавших себя для древесины.

Комплексный состав из амидофосфата и соединений бора обеспечивает придание заданных свойств, компоненты действуют совместно, выполняя при этом свои специфические функции. Оптимальную рецептуру в отношении снижения горючести и затрат по стоимости рецептурных составляющих можно разрабатывать на достаточно большом числе вариантов с использованием прибора «полукруг» малозатратным методом, и только на одном выбранном варианте в специализированной лаборатории проводить затем дорогостоящую проверку и сертификацию.

8. Андрианов К.А., Киселев В.Ф., Дьяченко Б.И. О совершенствовании метода испытаний полимерных материалов на горючесть // Пожарная защита судов. 1976. Вып. 7. С. 92-98.
9. Yudelson J. The Green Building Revolution // Green Building Council: Washington, Covelo, London. Island press, 2008. P. 5. Fire retardant coating for wood using resouce saving technologies.
10. Hendrix J.E., Drake G.L. Pyrolysis and Combustion of cellolose. J. of Applied Polymer Sci. 1972. V. 16. P. 41-59.
11. Леонович А.А. Антипирен и способ его приготовления: пат. 517491 Россия, МКИ В27 К3/52, В29J5/00. № 2108036/30-15; заявл. 21.02.75; опубл. 05.03.93, Бюл. № 22.
12. Горшин С.Н. Консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1977. 336 с.
13. BS 476-3:2004. Fire tests on building materials and structures. Classification and method of test for external fire exposure to roofs.
14. DIN 54331-1974. Testing of textiles; determination of the burning behavior, method of test by semi-circle.
15. Леонович А.А. Новые древесноплитные материалы. СПб.: Химиздат, 2008. 160 с.

16. Леонович А.А. Физико-химические аспекты создания древесных плит пониженной горючести // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2021. № 235. С. 208-220.

References

1. Olawoyin R. Nanotechnology: The future of fire safety // Safety Science. 2018. V. 110, Part A. P. 214-221.
2. Eco system. Construction of houses made of double timber [Elektronnyj resurs]. URL: <https://ecostroymsk.ru/stati/ekovata-uteplitel-dlya-doma.html> (data obrashcheniya: 16.05.2022).
3. Ecowool GreenWool: [Elektronnyj resurs]. URL: <https://ecovata21.ru/nanesenie-ekovaty-vlazhnyj-i-suhoy-sposoby/> (data obrashcheniya: 16.05.2022).
4. Spear M.J. Preservation, protection and modification of wood composites // Wood Composites. 2015. P. 253-310.
5. Cueff G., Mindeguia J.-Ch., Dréan V., Breysse D., Auguin G. Experimental and numerical study of the thermomechanical behaviour of woodbased panels exposed to fire // Construction and Building Materials. 2018. V. 160. P. 668-678.
6. Leonovich A.A. Theory and practice of manufacturing fire-protected wood boards: monogr. L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1978. 176 p.
7. Mark H.F. Combustion of polymers and its retardation // Polymer News. 1975. V. 2. № 5-6. P. 3-12.
8. Andrianov K.A., Kiselev V.F., D'yachenko B.I. On the improvement of the method of testing polymeric materials for combustibility // Pozharnaya zashchita sudov. 1976. Vyp. 7. P. 92-98.
9. Yudelston J. The Green Building Revolution // Green Building Council: Washington, Covelo, London. Island press, 2008. P. 5. Fire retardant coating for wood using resouce saving technologies.
10. Hendrix J.E., Drake G.L. Pyrolysis and Combustion of cellylose. J. of Applied Polymer Sci. 1972. V. 16. P. 41-59.
11. Leonovich A.A. Anti-pyrene and method of its preparation: pat. 517491 Rossiya, MKI V27 K3/52, V29J5/00. № 2108036/30-15; zayavl. 21.02.75; opubl. 05.03.93, Byul. № 22.
12. Gorshin S.N. Wood preservation. M.: Lesnaya prom-st', 1977. 336 p.
13. BS 476-3:2004. Fire tests on building materials and structures. Classification and method of test for external fire exposure to roofs.
14. DIN 54331-1974. Testing of textiles; determination of the burning behavior, method of test by semi-circle.
15. Leonovich A.A. New wood-based materials. SPb.: Himizdat, 2008. 160 p.
16. Leonovich A.A. Physical and chemical aspects of the creation of wood-based panels of low combustibility // Izvestia SPbLTA. 2021. № 235. P. 208-220.