

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТПРОЕКТОВ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ\*

### ON THE ISSUE OF INCREASING FIRE SAFETY OF FACILITIES WHEN IMPLEMENTING INVESTMENT PROJECTS IN THE TEXTILE INDUSTRY

A.A. ТИТУНИН<sup>1</sup>, Т.Н. ВАХНИНА<sup>1</sup>, И.В. СУСОЕВА<sup>1</sup>, В.Е. РУМЯНЦЕВА<sup>2</sup>, Е.А. БАРЗЫГИН<sup>2</sup>

A.A. TITUNIN<sup>1</sup>, T.N. VAHNINA<sup>1</sup>, I.V. SUSOEVA<sup>1</sup>, V.E. RUMYANTSEVA<sup>2</sup>, E.A. BARZYGIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Костромской государственный университет,  
<sup>2</sup>Ивановский государственный политехнический университет)

(<sup>1</sup>Kostroma State University,  
<sup>2</sup>Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: a\_titunin@ksu.edu.ru; i.susoeva@yandex.ru

*В статье рассмотрены вопросы развития инфраструктуры в зоне действия промышленных предприятий, в том числе текстильных, и обозначена одна из причин низкого спроса на здания из древесных материалов – их горючесть. Представлены результаты исследования показателей горючести материалов, склеенных из древесины хвойных и мягколиственных пород. Испытания образцов трехслойных клееных конструкций проводились в установке «керамическая труба» по ГОСТ Р 53292-2009. Выявлена закономерность потери массы при горении от средней ширины годичного слоя древесины. Установлено, что наименьшую потерю массы при горении имеют образцы трехслойных клееных материалов с наружными слоями из древесины сосны и внутренним слоем из осины. На основе анализа работ российских и зарубежных ученых выдвинута гипотеза о возможности снижения горючести клееных материалов с ламелями из осины и сосны в сравнении с показателями горючести клееных материалов только из сосны. Намечено направление дальнейших исследований по снижению горючести клееных материалов с наружными слоями из осиновой древесины, обработанной огнезащитными составами.*

*The article considers the issues of infrastructure development in the zone of industrial enterprises, including textile enterprises, and identifies one of the reasons for the low demand for buildings made of wood materials which is their combustibility. The results of combustibility research of materials glued from coniferous and soft-leaved wood are presented. Tests of samples of three-layer glued structures were carried out in the installation "ceramic pipe" according to GOST R 53292-2009. The law-uniformity of mass loss during combustion from the average width of the annual layer of wood has been revealed. It is established that the smallest loss of mass during combustion has samples of three-layer glued materials with outer layers of pine wood and inner layer of aspen. On the basis of the analysis of Russian and foreign scientists' works the hypothesis of the possibility to*

---

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ и администрации Костромской области в рамках научного проекта № 22-29-20267.

*reduce the combustibility of glued materials with lamellas made of aspen and pine in comparison with the combustibility indicators of glued materials made of pine only was put forward. The direction of further research on reduction of combustibility of glued materials with outer layers made of aspen wood treated with fire retardant compositions is planned.*

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, клееная древесина, сосна, осина, ширина годичных слоев, потеря массы при горении, горючесть материалов.

**Keywords:** fire safety, glued wood, pine, aspen, width of annual wood layers, mass loss during combustion, combustibility of building materials.

Современное состояние легкой промышленности характеризуется продолжающимся ростом инвестиций, что показывает стремительное развитие отрасли. По официальным данным, общий объем инвестиционной массы в 2023 г. по сравнению с 2022 г. вырос с 27,6 до 44,8 млрд руб. Во многих регионах России выполняются предпроектные проработки (8 проектов на 12,3 млрд руб.); три проекта с объемом инвестиций 5,4 млрд руб. находятся на стадии проектирования; 23 проекта, на которые выделено 26,7 млрд руб., находятся в стадии подготовки к строительству либо строительства и модернизации [1]. При этом, как отмечают эксперты, перспективы легкой промышленности России напрямую зависят от того, будут ли развиваться текстильные предприятия в регионах [2]. Поэтому в ЦФО ведутся работы по строительству новых и модернизации существующих текстильных предприятий. В сентябре 2021 г. в Ивановской области создана особая экономическая зона промышленно-производственного типа «Иваново», на начальном этапе которой запланировано пять инвестиционных проектов с общим объемом инвестиций 8 млрд руб. Один из проектов – индустриальный парк «Родники», который предполагает расширение и благоустройство территории с целью создания максимально комфортных условий для строительства новых предприятий на территории области. На новых производствах будет создано около 2 100 рабочих мест, что предполагает строительство не только объектов

производственной инфраструктуры, но и современных общественных и жилых зданий [1]. Современное строительство в первую очередь связано с применением экологически безопасных и энергоэффективных материалов из древесины.

Деревянное домостроение пока занимает недостаточный объем в жилищном строительстве – 10 % в общем объеме, причем наибольшая доля производства деревянных домов в Северо-Западном регионе, Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах [3]. Среди прочих причин это связано с сомнениями относительно пожаробезопасности деревянных зданий, возникающими из-за того, что древесина является горючим материалом. Однако пожаробезопасность деревянных зданий в большей степени обусловлена решениями в области материаловедения и инженерными решениями на стадии строительства. Задача проектировщиков и технологов – повышение огнезащищенности древесных строительных материалов с целью обеспечения эксплуатационных характеристик материалов из древесины на уровне остальных материалов, применяемых в строительстве.

Для предприятий текстильной промышленности характерно наличие внутри производственных помещений большого количества веществ растительного происхождения, которые при возникновении пожара внутри зданий способствуют интенсивному росту температуры [4], что может привести к снижению несущей способности элементов конструкций и их об-

рушению. Повысить предел огнестойкости несущих конструкций здания, а значит, и увеличить время, необходимое для эвакуации людей, материалов и оборудования, можно за счет конструктивных мер. Известно, что предел огнестойкости современного строительного материала в виде CLT-панелей (от англ. Cross-Laminated Timber) составляет до 120 мин, что значительно выше, чем у железобетонных или стальных конструкций [5]. Поэтому обоснованный выбор материалов из древесины с учетом особенностей ее макроструктуры и свойств для создания безопасных и экологических конструкций производственных и гражданских зданий является актуальной задачей.

Alastair Bartlett с командой исследователей считает, что действующие руководства по противопожарному проектированию изделий из инженерной древесины в значительной степени носят регламентированный характер. Однако очевидно, что имеющийся большой объем научных знаний может быть использован для решения вопросов пожарной безопасности, связанных с использованием древесины в строительстве. Но существует ключевой пробел в знаниях, и если его ликвидировать, появится возможность повысить эффективность и внедрить инновации при проектировании деревянных клееных строительных конструкций [6].

В России за последние годы уже реализованы несколько инновационных проектов в сфере деревянного домостроения: например, в Новосибирской области возвели первую многоэтажку на 16 квартир с каркасом из LVL-бруса (от англ. Laminated Veneer Lumber – пиломатериал из слоеного шпона); в г. Сокол Вологодской области сданы в эксплуатацию два четырехэтажных 32-квартирных дома из CLT-панелей. Эти два вида строительных материалов наряду с клееным профилированным брусом и деревянными клееными конструкциями являются самыми распространенными как у нас в России, так и за рубежом. Задача обеспечения пожарной безопасности материалов и конструкций из них является одним из условий успешной реализации

инвестиционных проектов, направленных на развитие текстильной промышленности.

Вопросами исследования пожароопасных свойств древесных материалов и разработки эффективных способов снижения их пожарной опасности занимались отечественные и зарубежные ученые: Абдургимов И.М., Асеева Р.М., Баратов А.Н., Бахман Н.Н., Берлин А.А., Бирюков В.Г., Кодолов В.И., Кошмаров Ю.А., Леонович А.А., Молчадский И.С., Покровская Е.Н., Серков Б.Б., Таубкин С.И., Халтуринский Н.А., Хрулев В.М., Di Blasi, Parker W.J., Kashiwagi T., Tran H.C., Hilado C.J., Tewarson A., De Ris J., Roberts A. и др.

К преимуществам использования деревянных клееных материалов можно отнести и то, что элемент деревянной клееной конструкции (клееная балка) имеет предел огнестойкости в 1,4 раза больше, чем деревянный брус такого же сечения [7].

Значительно влияет на показатели горючести деревянной клееной конструкции (ДКК) породный состав древесины. По мнению J.A. Shukors с коллегами, технические характеристики сосновой древесины близки к минимальному критерию при испытании на огнестойкость [8].

По данным Р.М. Асеевой с коллегами, скорость обугливания древесины лиственных пород в условиях стандартного пожара на 10–20 % меньше, чем данный показатель для хвойных пород [9].

Эти данные коррелируют с результатами исследования О.В. Беззапонной с коллегами. Ими определена скорость потери массы при огневом воздействии. По двум первым максимальным ДТГ-пикам для древесины осины и сосны они составляют 1,63; 22,37 и 1,89, 25,83 %/мин соответственно [10].

Основные факторы породного состава древесины, оказывающие существенное влияние на показатели горючести материала, – плотность и химический состав. Плотность древесины сосны и осины сопоставима. Однако плотность ранней и поздней древесины является разной [11], а также возрастная редукция ранней и поздней древесины для данных пород различается.

Для сосны ширина поздней зоны с возрастом изменяется незначительно, находится почти на постоянном уровне, поэтому уменьшение ширины годичного слоя обусловлено уменьшением ранней древесины. Для осины как рассеянно-сосудистой породы возрастная редукция ширины годичного слоя происходит за счет поздней древесины [12].

Доля лигнина в древесине сосны составляет 25,5 %, для осины – 21,8 % [13]. Таким образом, учитывая полученное R.H. White [14] уравнение высшей теплоты полного сгорания древесины, Дж/кг:

$$Q_v = 17612,472 + 85,364X_{л}, \quad (1)$$

где  $X_{л}$  – содержание лигнина, %, можно прогнозировать снижение горючести клееных материалов с ламелями из осины и сосны в сравнении с показателями горючести ДКК из сосны. Учитывая особенности макростроения осиновой древесины, можно также предположить, что при использовании огнезащитных средств деревянные клееные конструкции с наружными слоями из осины позволят снизить пожарную опасность зданий, планируемых к строительству в ходе реализации инвестиционных проектов в сфере промышленности, в том числе текстильной.

Данная научная гипотеза проверена в исследовании, выполненном на кафедре

ЛДП КГУ, г. Кострома. В работе оценено влияние сочетания хвойной и осиновой древесины на показатели горючести материала. Научная проблема, на решение которой направлено исследование, – разработка рационального подбора схем склеивания для деревянных клееных конструкций с ламелями из осины. В производственных условиях были изготовлены клееные балки по трем схемам склеивания:

- схема 1 «сосна – осина – сосна»;
- схема 2 «осина – сосна – осина»;
- схема 3 «сосна – сосна – сосна».

Сырьем служили осиновые и сосновые заготовки сечением 20×100 мм, длиной 2,0 м, которые склеивали меламино-мочевино-формальдегидным клеем с отдельным нанесением смолы и отвердителя. Удельный расход клея составлял 0,24 кг/м<sup>2</sup> на каждую сторону при двустороннем нанесении, давление запрессовки образцов 1 МПа, время до отверждения 5 дней.

Для определения показателей горючести в соответствии с нормативными требованиями [15] испытания проводились в установке «керамическая труба» по ГОСТ Р 53292-2009. Из балок по каждой схеме склеивания были вырезаны по 10 образцов размером 30×30×150 мм. Для каждого образца замерялась средняя ширина годичных слоев. Результаты определения средней ширины годичных слоев  $b$ , мм, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Схема	Средняя ширина годичных слоев $b$ , мм
1 «сосна – осина – сосна»	4,5; 3,0; 1,2; 4,6; 4,0; 3,1; 2,2; 1,9; 1,5; 2,0
2 «осина – сосна – осина»	2,7; 1,9; 3,5; 2,2; 1,4; 1,7; 1,9; 3,8; 3,8; 2,2
3 «сосна – сосна – сосна»	3,2; 3,5; 3,0; 4,2; 1,7; 3,8; 2,2; 1,9; 2,1; 3,4

При испытаниях образцы кондиционировались, взвешивались, помещались в установку с фиксированной температурой (200 ± 5) °С. Образцы держали в пламени горелки 120 с; в ходе опытов отмечалась максимальная температура дымовых газов. После выключения газа фиксировали

время самостоятельного горения, тления и определяли массу образца после горения и тления.

Результаты определения показателей горючести приведены в табл. 2. Зависимости потери массы от средней ширины годичных слоев приведены на рис. 1-3.

Таблица 2

Образец	Температура дымовых газов, °С	Время самостоятельного горения, с	Время тления, с	Потеря массы, %
Схема 1 «сосна – осина – сосна»				
1.1	245	45	30	14,17
1.2	216	16	28	9,13
1.3	252	45	60	13,32
1.4	300	105	20	17,70
1.5	227	73	15	10,37
1.6	218	35	60	7,44
1.7	218	90	60	12,25
1.8	220	105	50	10,40
1.9	227	90	30	14,63
1.10	242	80	40	10,58
Среднее арифметическое			$\bar{Y}$	12,00
Коэффициент вариации			V	25,2
Схема 2 «осина – сосна – осина»				
2.1	215	25	90	8,48
2.2	273	65	120	20,39
2.3	249	123	90	17,65
2.4	238	85	120	14,96
2.5	273	105	30	23,73
2.6	285	80	25	23,92
2.7	307	70	60	17,28
2.8	310	135	90	18,70
2.9	298	130	120	20,71
2.10	306	68	120	18,21
Среднее арифметическое			$\bar{Y}$	18,40
Коэффициент вариации			V	24,3
Схема 3 «сосна – сосна – сосна»				
3.1	264	150	210	15,84
3.2	321	120	120	19,03
3.3	258	130	90	14,80
3.4	292	335	30	21,46
3.5	300	280	50	22,46
3.6	317	140	60	21,38
3.7	306	130	70	18,82
3.8	322	160	60	19,95
3.9	302	130	80	21,95
3.10	310	140	70	16,57
Среднее арифметическое			$\bar{Y}$	19,23
Коэффициент вариации			V	14,1

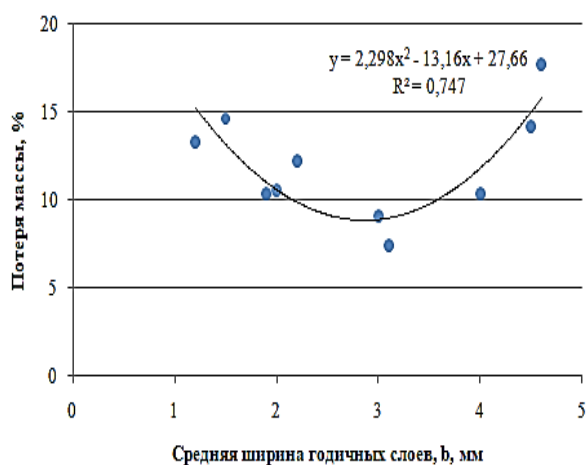


Рис. 1

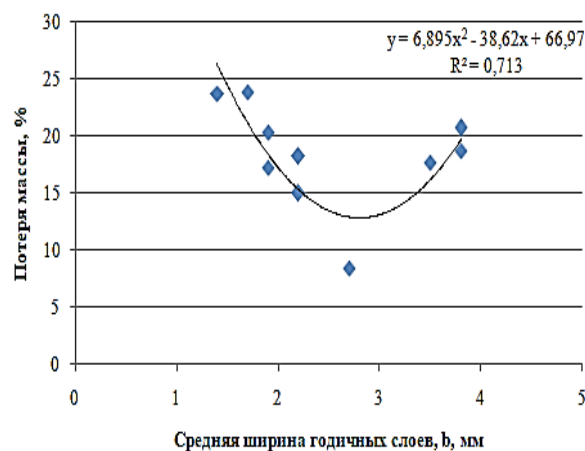


Рис. 2

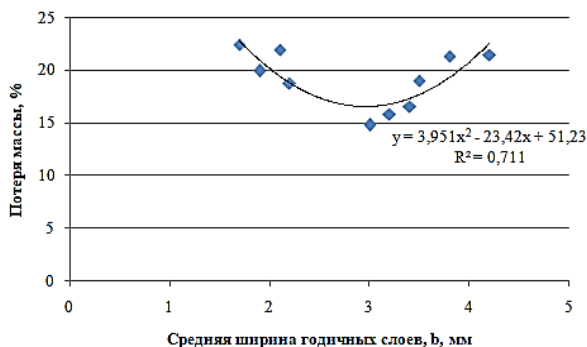


Рис. 3

По показателям горючести материала рациональной является схема склеивания 1 «сосна – осина – сосна». У образцов при такой схеме склеивания среднее значение потери массы при горении составило 12 %, минимальное значение показателя 7,44 %. Время самостоятельного горения образцов материала не превышает 1 мин 45 с, время тления – не более 1 мин. Максимальная температура дымовых газов 300 °С. При уменьшении средней ширины годичных слоев до 1,5 мм потеря массы при огневом воздействии на образец увеличивается. Причиной этого является то, что с уменьшением ширины годичных слоев увеличивается число вертикальных смоляных ходов в древесине сосны и в процессе термического разложения выделяется большее количество летучих продуктов горения. При увеличении ширины годичных слоев до 4,5...4,6 мм потеря массы образцов ДКК при горении растет. Увеличение доли менее плотной ранней зоны древесины сосны, с одной стороны, должно препятствовать продвижению температурного фронта вглубь материала, поскольку менее плотная древесина имеет коэффициент теплопроводности меньше, чем более плотная. Однако в случае огневого воздействия менее плотная древесина, содержащая большее количество пор и пустот, заполненных воздухом, облегчает распространение температурного фронта вглубь материала.

В ходе исследований выявлено нивелирующее воздействие осины в среднем слое, что подтверждается уменьшением потери массы образцов при огневом

воздействии по сравнению с результатами испытаний образцов, полученных из конструкций 2 и 3 схемы склеивания. Коэффициент теплопроводности сосны 0,15...0,24 Вт/(м·К), для осины значение показателя составляет 0,17...0,19 Вт/(м·К).

Таким образом, неоднозначные результаты, полученные в ходе исследований, согласуются с работами других ученых [8-10]. При расположении ламелей осины в наружных слоях ДКК увеличивается время тления материала и соответственно потеря массы при горении. Однако, учитывая, что осина отличается низким тепловыделением при горении [16] и более однородным строением годичных слоев, чем древесина хвойных пород, можно прогнозировать снижение горючести ДКК с наружными слоями из древесины осины при условии их обработки огнезащитными составами. Данное предположение потребует в ближайшей перспективе экспериментальной проверки с использованием нескольких видов огнезащитных составов.

## ВЫВОДЫ

1. В связи с планируемой реализацией инвестиционных проектов в текстильной промышленности и возросшим вниманием проектировщиков к вопросам пожарной безопасности отмечается увеличение объемов строительства промышленных и гражданских зданий с применением современных строительных материалов из клееной древесины. Применение таких материалов в ограждающих и несущих конструкциях благодаря более высокому пределу огнестойкости по сравнению с металлическими или железобетонными конструкциями оправдано как при строительстве гражданских зданий, так и в производственных зданиях текстильных предприятий, в которых очень высока вероятность высокой скорости распространения пожара из-за наличия большого количества горючих материалов растительного происхождения.

2. Исходя из анализа отечественного и зарубежного опыта установлено, что в отличие от цельной древесины деревянные

клееные конструкции в виде LVL-бруса и CLT-панелей имеют более высокий предел огнестойкости (до 120 мин), при этом горючесть деревянных клееных конструкций во многом зависит от породы древесины, чередования хвойной и мягколиственной древесины в многослойных конструкциях, а также макроструктуры древесины.

3. Поскольку древесина осины обладает меньшим тепловыделением и низкой теплопроводностью, ее применение в наружных или внутренних слоях многослойных клееных конструкций может обеспечить снижение их горючести в целом.

4. В ходе экспериментальных исследований установлено, что минимальные значения потери массы при горении имеют образцы клееной древесины со средней шириной годичных слоев 3 мм. При уменьшении средней ширины годичных слоев до 1,5 мм, а также при ее увеличении до 4,6 мм потеря массы при огневом воздействии на образец увеличивается. Данный вывод указывает на необходимость более тщательного контроля качественных параметров древесины, используемой для создания несущих и ограждающих конструкций зданий с повышенной пожарной опасностью, к которым относятся объекты текстильных предприятий.

5. Проведенные исследования подтвердили гипотезу о возможности применения осинового дерева в клееных конструкциях в качестве одного из альтернативных способов повышения пожарной безопасности гражданских и производственных зданий, в том числе планируемых к строительству в ходе реализации инвестиционных проектов в текстильной промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инвестиционные проекты // Цифровая платформа. – [https://investprojects.info/sectors/textiles#investments\\_region\\_container](https://investprojects.info/sectors/textiles#investments_region_container) (дата обращения: 10.10.2023).
2. Жакевич А.Г. Проблемы и перспективы развития легкой промышленности в регионах Российской Федерации // Вестник Международного института экономики и права. 2014. №4 (17). С. 69...71. – <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-legkoj-promyshlennosti-v-regionah-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 05.10.2023).

regionah-rossiyskoy-federatsii (дата обращения: 05.10.2023).

3. Новый взгляд на дом из дерева. Деревянное домостроение в России. – <https://tia.ru/20180907/1510231385.html> (дата обращения: 21.09.2023).

4. Циркина О.Г., Спиридонова В.Г., Салихова А.Х., Сырбу С.А. К вопросу обеспечения пожарной безопасности предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 177...182.

5. Трейбакс Е.А. Использование уникальных свойств клееных деревянных панелей CLT в строительстве общественных зданий // Инновации в науке. Научный журнал. 2017. № 10 (71). С. 68...69.

6. Bartlett A., Hadden R. M., Bisby L. A. A review of factors affecting the burning behaviour of wood for application to tall timber construction // Fire technology. 2018. Vol. 55(5). P. 1...49.

7. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография. М., 2010. 262 с.

8. Shukor J.A., Razak M.Ah.A., Hassan A., Jamian R., Rani A.M.A. Determining the alternative type of wood for class a fire crib test according to UL 2166. – Advanced Materials and Engineering Technologies. Advanced Structured Materials, vol 162. Springer, 2022. Pp 19...27. – DOI:10.1007/978-3-030-92964-0\_3.

9. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings. Dordrecht: Springer, 2014. 280 p.

10. Беззапонная О.В. и др. Исследование пожарной опасности древесины различных пород методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2021. № 3 (32). С. 43...50.

11. Алешина Л.А., Мелех Н.В., Фофанов А.Д. Исследования структуры целлюлоз и лигнинов различного происхождения // Химия растительного сырья. 2005. №3. С. 31...59.

12. Косиченко Н.Е., Киселева А.В., Снегурева С.Н. Закономерности формирования высококачественной древесины // Лесотехнический журнал. 2011. №4. С. 68...72.

13. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.

14. White R.H. Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood // Wood and fiber science. 1987. Vol. 19 (4). P. 446...452.

15. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть. М.: Изд-во стандартов, 2008. 19 с.

16. Марьяндышев П.А. Теплоэнергетические основы использования древесного биотоплива: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбПУ, 2019. 198 с.

#### REFERENCES

1. Investment projects / Digital Platform. Access mode: [https://investprojects.info/sectors/textiles#investments\\_region\\_container](https://investprojects.info/sectors/textiles#investments_region_container) (date of reference: 10.10.2023).

2. Zhakevich A.G. Problems and prospects for the development of light industry in the regions of the Russian Federation // Bulletin of the International Institute of Economics and Law. 2014. №4 (17). С.69...71. – <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-legkoy-promyshlennosti-v-regionah-rossiyskoy-federatsii> (date of reference: 05.10.2023).
  3. A new look at a wooden house. Wooden house construction in Russia. – <https://ria.ru/20180907/1510231385.html> (date of reference: 21.09.2023).
  4. Tsirkina O.G., Spiridonova V.G., Salikhova A.K., Syrbu S.A. On the issue of ensuring fire safety of enterprises textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). P. 177...182.
  5. Treybaks E.A. Utilization of unique properties of glued wood CLT panels in the construction of public buildings // Innovacii v nauke. Nauchnyj zhurnal. 2017. № 10 (71). P. 68...69.
  6. Bartlett A., Hadden R. M., Bisby L.A. A review of factors affecting the burning behaviour of wood for application to tall timber construction // Fire technology. 2018. Vol. 55(5). P. 1...49.
  7. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Wood combustion and its fire hazardous properties: monograph. M., 2010. 262 p.
  8. Shukor J.A., Razak M.A.H.A., Hassan A., Jamian R., Rani A.M.A. Determining the alternative type of wood for class a fire crib test according to UL 2166. – Advanced Materials and Engineering Technologies. Advanced Structured Materials, vol 162. Springer, 2022. – DOI:10.1007/978-3-030-92964-0\_3.
  9. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings. Dordrecht: Springer, 2014. 280 p.
  10. Bezzaponnaya O.V. etc. Study of the fire hazard of wood of various species using thermal analysis methods // Tehnosfernaya bezopasnost. 2021. No. 3 (32). P. 43...50.
  11. Aleshina L.A., Melech N.V., Fofanov A.D. Studies of the structure of celluloses and lignins of various origins // Himiya rastitelnogo sirya. 2005. No. 3. P. 31...59.
  12. Kosichenko N.E., Kiseleva A.V., Snegireva S.N. Patterns of formation of high-quality wood // Lesotekhnicheskii jurnal. 2011. No. 4. P. 68...72.
  13. Ugolev B.N. Wood science with the basics of forest commodity science. M.: MGUL, 2007. 351 p.
  14. White R.H. Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood // Wood and fiber science. 1987. Vol. 19 (4). P. 446...452.
  15. GOST 30244-94. Construction materials. Flammability Test Methods. M.: Izdatelstvo standartov, 2008.
  16. Maryandyshev P.A. Thermal energy fundamentals of using wood biofuels: dis. ... doctor. tech. sciences. St. Petersburg: SPbGLTU, 2019. 198 p.
- Рекомендована кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств КГУ. Поступила 13.11.23.