

А.В. ЛУКИНА¹, М.С. ЛИСЯТНИКОВ¹, В.А. МАРТЫНОВ¹, С.И. РОЩИНА¹
¹ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СЫРЬЕВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПОСЛЕ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация. Изучение древесины со сниженными физико-механическими характеристиками, в том числе древесины подверженной огневому воздействию, является важным шагом к бережливому и рациональному природопользованию. Пожары вызывают изменения физико-механических свойств древесины: влажности, плотности и прочности. Провели испытания на статический изгиб, сжатие и растяжение вдоль волокон. Снижение плотности и прочности в древесине, подверженной пожару происходят по всей высоте ствола. Наблюдается следующая закономерность: в комлевой части плотность выше, чем в срединной части. Снижение прочности в срединной и комлевой частях составляет: при сжатии вдоль волокон 15-18%; при растяжении вдоль волокон до 24%. Самая высокая потеря прочности произошла в испытаниях на статический изгиб: в вершинной части до 42%, в срединной части до 29%, в комлевой части до 23%. Наименьшее снижение прочности по всем испытаниям произошло в образцах, взятых из комлевой части.

Ключевые слова: древесина, деревянные конструкции, прочность, деформации.

A.V. LUKINA¹, M.S. LISYATNIKOV¹, V.M. MARTINOV¹, S.I. ROSCHINA¹
¹Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF RAW WOOD AFTER FIRE EXPOSURE

Abstract. The study of wood with reduced physical and mechanical characteristics, including wood exposed to fire, is an important step towards economical and rational environmental management. Fires cause changes in the physical and mechanical properties of wood: moisture content, density and strength. Conducted tests for static bending, compression and tension along the fibers. Decrease in density and strength in fire-prone wood occurs along the entire height of the trunk. The following pattern is observed: in the butt part, the density is higher than in the middle part. The decrease in strength in the middle and butt parts is: in compression along the fibers 15-18%; when stretched along the fibers up to 24%. The highest loss of strength occurred in tests for static bending: in the top part up to 42%, in the middle part up to 29%, in the buttom part up to 23%. The smallest decrease in strength in all tests occurred in samples taken from the buttom.

Keywords: wood, wooden structures, strength, deformation.

Введение

Все большее число потребителей в разных странах мира при проектировании и строительстве зданий отдают предпочтение древесине. Древесина является экологически чистым, возобновляемым материалом и легким в применении. Однако запасы природного ресурса ограничены. Лесные пожары являются одной из самых страшных и опасных стихий, широко распространенных в мире [1, 2]. С января 2022 года в США лесные пожары охватили площадь размером в 1,3 миллиона акров [3], в России в 2021 выгорело свыше 10 млн. гектаров леса [4]. В 2018 году ущерб от лесных пожаров в Швеции оценивается в сумму, превышающую \$100 млн [5].

© Лукина А.В., Лисятников М.С., Мартынов В.А., Рощина С.И., 2022

Огонь является основным компонентом деградации лесов. Работы [6, 7, 8] посвящены оценке ущерба экосистем и лесных биоценозов.

Авторы [9-12] исследуют физико-механические свойства древесины после теплового воздействия и пожара. Типичной деревянной конструкцией является балка. Исследованиями балочных конструкций занимались многие ученые. Изучению остаточных свойств разрушенных элементов деревянных конструкций посвящены работы [13, 14]. Авторы [15, 16] предлагают способы восстановления деревянных ретроконструкций. Работы [17, 18] посвящены изучению прочности и деформативности деревянных элементов и конструкций при модификации.

Научный интерес представляют свойства древесины, которая подверглась воздействию огня (высоких температур), т.е. дерево частично обуглилось, а оставшаяся часть имеет визуально здоровый внешний вид (рисунок 1). Встает вопрос: можно ли использовать такую (не обугленную) древесину в качестве конструкционного материала?

Изучение древесины со сниженными физико-механическими характеристиками, в том числе древесины подверженной огневому воздействию, является важным шагом к бережливому и рациональному природопользованию. Отсутствие аналогичных современных известных работ обуславливает актуальность тематики исследования.

Метод

Для обоснованного расчета элементов деревянных конструкций необходимо знать прочность древесины при различных видах напряженного состояния. Основными напряженно-деформированными состояниями в строительных деревянных конструкциях являются: сжатие и растяжение вдоль волокон, изгиб.

В несущих строительных конструкциях используется древесина хвойных пород, поэтому исследования проводились на образцах из сосны. Образцы выбирались из комлевой, срединной и вершинной частей дерева, подвергшегося огневому воздействию.

Полученные результаты испытаний по определению физико-механических свойств древесины, подверженной огневому воздействию, сравнивались с эталонной древесиной (сосна), которая не испытывала огневого воздействия. Такой сопоставительный анализ позволит дать более наглядную оценку прочностным свойствам древесины, подверженной огневому воздействию.

Для определения механических свойств древесины применялись разрушающие методы испытаний древесины. Исследования проводились на испытательной машине РЭМ-100-А-1 (Россия, Томск, ООО «Русэнерго»). Универсальная испытательная машина РЭМ-100-А-1 предназначена для механических испытаний на растяжение, сжатие и изгиб образцов и изделий из материалов, разрывная нагрузка которых не превышает 100 кН. Механические испытания образцов проводят путем деформации образца до разрушения с управляемым перемещением активной траверсы.

Для физико-механических испытаний удобно использовать малые чистые образцы уменьшенных размеров. Испытания проводились на древесине срубленных деревьев через 7 месяцев после пожара в 2021 году. Такой небольшой временной промежуток времени является достаточным для установления характера повреждения и исследования остаточных механических свойств древесины.

Испытания проводились на образцах из дерева (сосна), подверженной пожару (рисунок 1). Районы произрастания леса: Намский Едейцы (Якутия). Вид целевого назначения леса – эксплуатационный. Вид пожара - низовой, устойчивый, средний. Степень повреждения древостоев пожаром 15-20% по площади сечения. Кора деревьев частично обуглена в комлевой части.

Деревья для испытания (модели) отбирали следующим образом. Деревья, подверженные огневому воздействию, срубали и делили на кряжи. Удаляли обуглившуюся

часть дерева. Кряж распиливают на доски, а доски на бруски (заготовки), а из заготовок выполняли образцы.

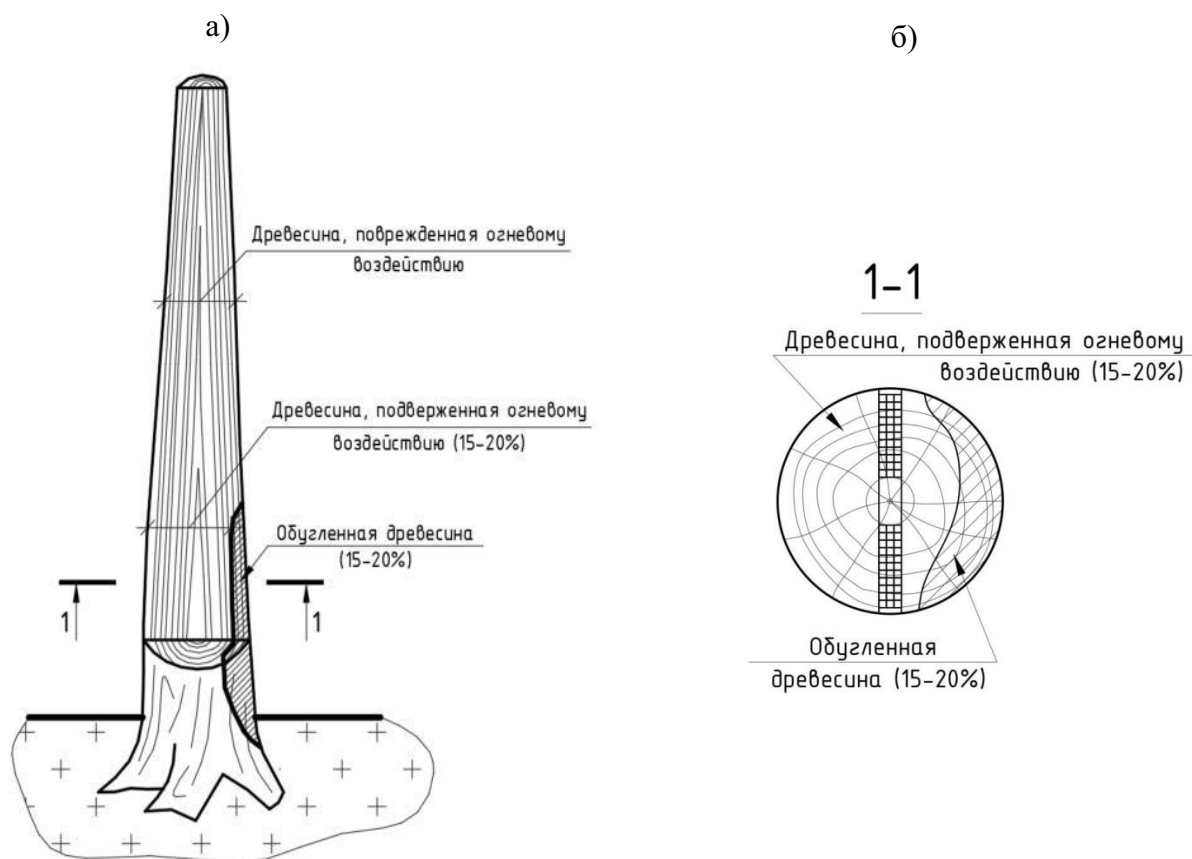


Рисунок 1 – Растущее дерево, подвергшееся воздействию огня:
а) общий вид; б) сечение

Произведены лабораторные испытания древесины по определению прочности при растяжении вдоль волокон по ГОСТ 6483.23-73*, при сжатии вдоль волокон по ГОСТ 16483.10-73 и при статическом изгибе по ГОСТ 16483.3-84.

Рисунок 2 показывает лабораторные испытания древесины по определению прочностных свойств на испытательной машине РЭМ-100-А-1.

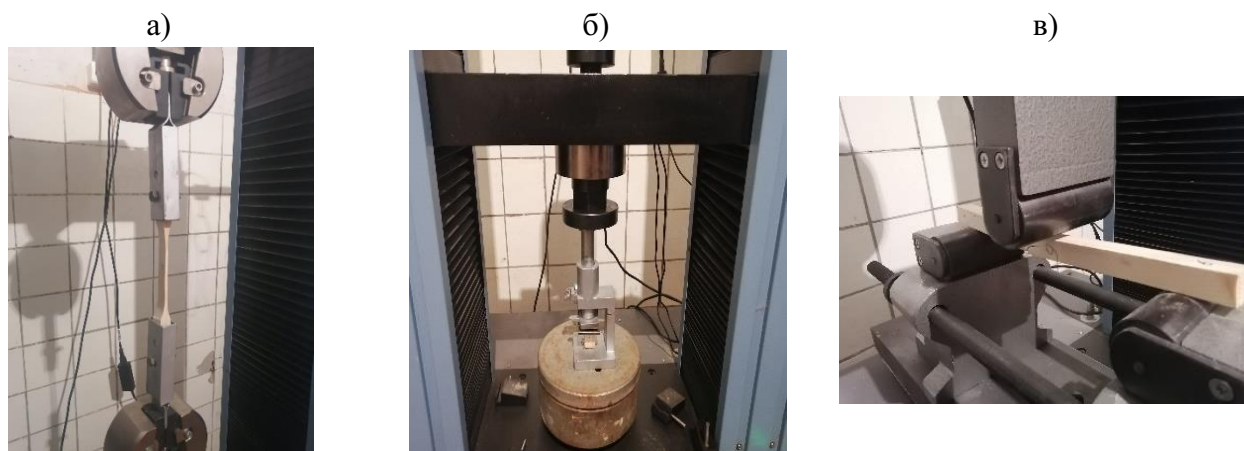


Рисунок 2 – Испытания образцов древесины:
а) на растяжение вдоль волокон; б) на сжатие вдоль волокон; в) статический изгиб

Древесина, подверженная огневому воздействию потеряла часть естественной влаги. Известно, что после пожара лес подвергается санитарной вырубке. В этой связи влажность древесины является крайне важным фактором, показывающим жизнеспособность дерева и его эксплуатационную пригодность. Ставилась задача: определить влажность, усушку и плотность древесины, подверженной огневому воздействию в комлевой, срединной и вершинной частях. Исследование проводили по ГОСТ 16483.7-71, ГОСТ 16483.37-88 и ГОСТ 16483.1-84 соответственно.

Влажность образцов (W) в процентах вычисляли по формуле (1):

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

где m_0 - масса бьюксы, г;

m_1 - масса образца до высушивания, г;

m_2 - масса образца после высушивания, г.

Результаты определения физических свойств древесины представлены в таблице 1.

Результаты исследования и их анализ

Влажность древесины влияет не только на вес, плотность, но и на основные механические и технические свойства древесины. При снижении влажности происходит усушка древесины. Линейные размеры и объём не изменяются при удалении свободной влаги, но уменьшается плотность древесины.

Таблица 1 – Определение влажность в образцах

Марка образца	Сухое состояние образцов после 10 ч сушки, %			Нормальная влажность, %			Масса, гр.	Плотность сухая, кг/см ³
	Тангенциаль- ное направление	Радиальн. направление	Вдоль волокон	Тангенциаль- ное направление	Радиальн. направление	Вдоль волокон		
Вершинная часть	19,15	19,60	30,13	19,90	20,28	30,11	4,23	374,64
Срединная часть	18,93	19,31	30,22	20,04	20,25	30,24	4,3	389,4
Комлевая часть	18,65	19,35	30,43	19,72	20,10	30,58	4,48	408,52
Эталонная (древесина, не подверженная огневому воздействию)	19,45	19,95	32,11	21,09	21,54	32,42	5,63	495,12

Как известно, плотность материала неразрывно связана с прочностными свойствами. Несмотря на тот факт, что пожар был низовой, самая высокая плотность наблюдается в образцах из комлевой части. Усушка вдоль волокон древесины, в радиальном направлении и в тангенциальном направлении весьма невелика (до 0,3%). Можно говорить о равномерности усушки дерева в результате пожара. Коробление и появление трещин при высыхании не будет наблюдаться.

Определив влажность и плотность древесины, авторы провели механические испытания древесины. Принята стандартная влажность 12%.

Отбор образцов из генеральной совокупности производили в одну стадию с использованием систематического отбора [19]. Минимальное количество испытываемых образцов ($n_{\min}$) определяли по формуле (2):

$$n_{\min} = \frac{V^2 \cdot t_{\gamma}^2}{P_{\gamma}^2} \quad (2)$$

где V - коэффициент вариации свойства древесины, %;

γ -требуемая доверительная вероятность;

t_{γ} -квантиль распределения Стьюдента;

P_{γ} - относительная точность определения выборочного среднего с доверительной вероятностью.

Коэффициент вариации принимался для испытаний: сжатие вдоль волокон – 13 % растяжение вдоль волокон 20%, для статического изгиба – 15 % согласно ГОСТ 16483.0-89 «Общие требования к физико-механическим испытаниям». Относительную точность определения выборочного среднего принимали 5 % при доверительной вероятности 0,95. На случай частичной замены или порчи образцов, количество образцов было увеличено на 20 % относительно расчетного количества в каждом виде испытания. Согласно расчетам, было определено количество испытываемых образцов: сжатие вдоль волокон – 29 шт, растяжение вдоль волокон – 33 шт, статический изгиб – 35 шт. По результатам испытаний была проведена статистическая обработка данных и построены диаграммы (рисунки 3-5) зависимостей «напряжение-деформация».

На рисунках 3-5 для сравнения приведены кривые, характеризующие значения предела прочности стандартных малых чистых образцов древесины, неповрежденных огнем (эталонные образцы).

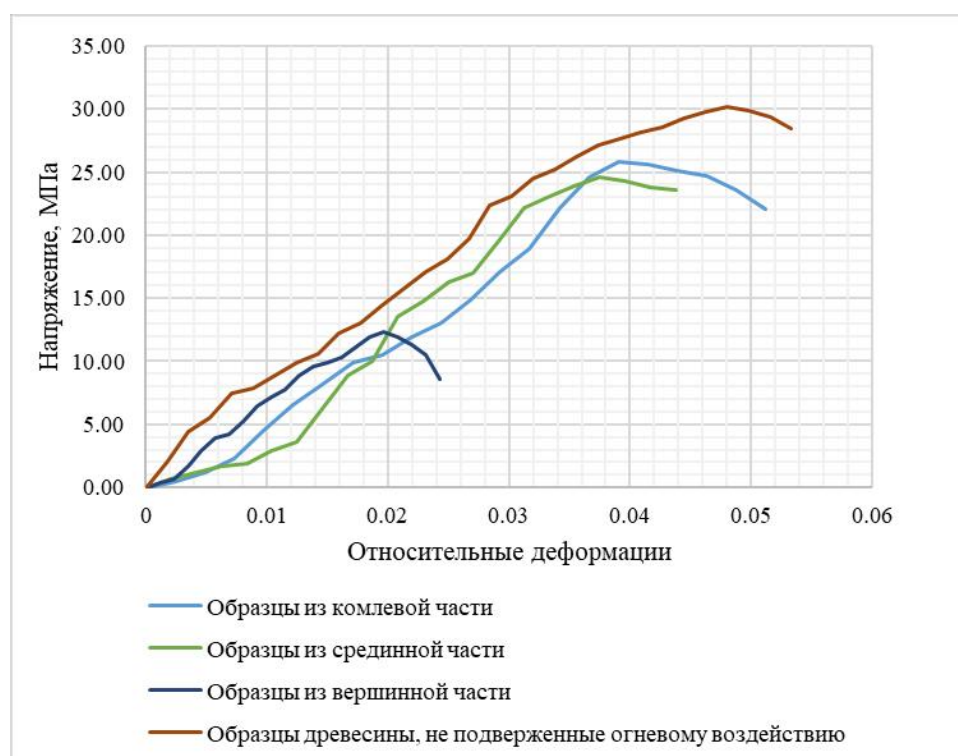


Рисунок 3 – Диаграмма «Напряжение-относительные деформации» при сжатии вдоль волокон

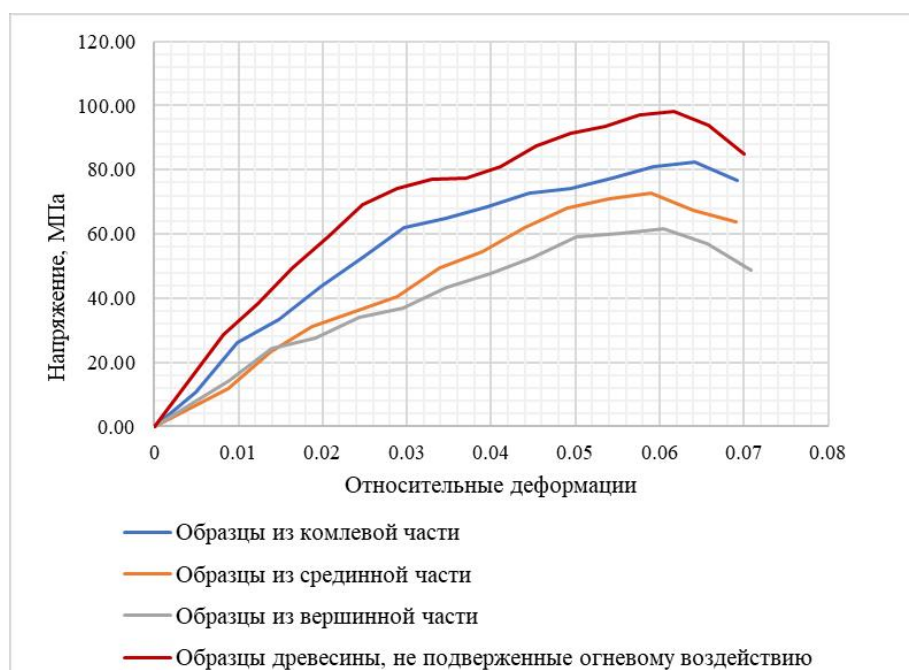


Рисунок 4 – Диаграмма «Напряжение-относительные деформации» при растяжении вдоль волокон

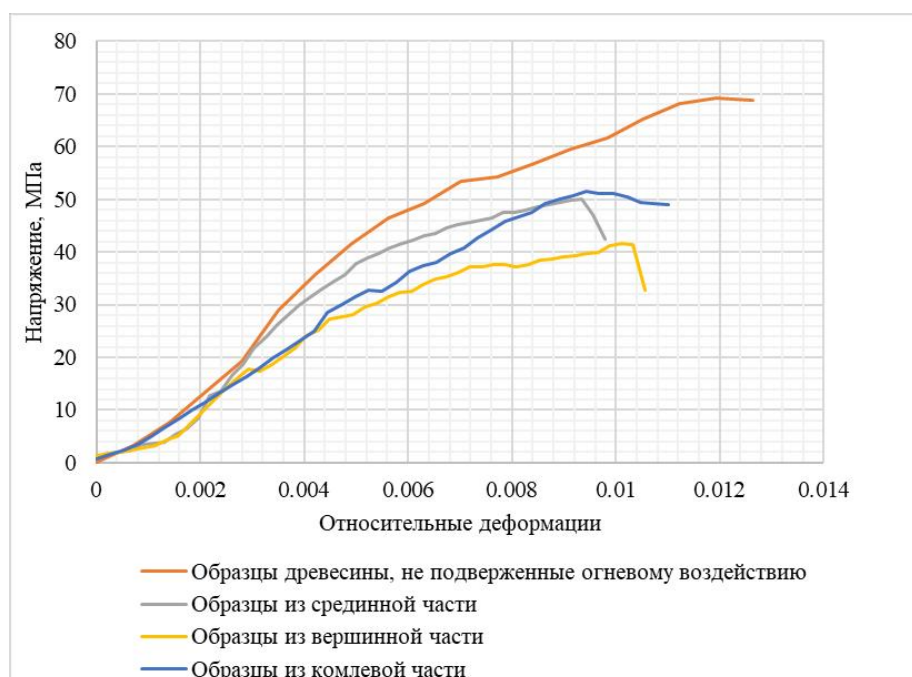


Рисунок 5 – Диаграмма «Напряжение-относительные деформации» при статическом изгибе

Изучив диаграммы «напряжение – относительные деформации» можно заключить, что характер разрушения образцов, подверженных огневому воздействию сопоставим с эталонной древесиной. Диаграмма на рисунке 3 иллюстрирует, что древесина работает на сжатие надежно. Примерно до половины предела прочности рост деформаций происходит по закону Гука, близкому к линейному, т.е. древесина работает упруго. Далее, при росте нагрузки, увеличение деформаций все более опережает рост напряжений, тем самым, указывая на упруго-пластический характер работы древесины. На рисунке 4 закон Гука сохраняется в диаграмме до разрушения, этот факт говорит о том, что древесина при

растяжении вдоль волокон работает подобно хрупким материалам. Диаграмма «напряжение-относительные деформации» при изгибе (рисунок 5) имеет схожий характер механики разрушения диаграммой сжатия вдоль волокон. Можно выделить упругую стадию работы материала, затем происходит ускоренный рост прогибов. Разрушение начинается с появлением складок в сжатой зоне элемента и завершается разрывом крайних нижних растянутых волокон.

Определено, снижение прочностных свойств древесины, подверженной огневому воздействию происходит по всей высоте ствола и по всем видам испытаний. Прослеживается следующая закономерность: самое высокое снижение прочностных свойств наблюдается в вершинной части дерева, самое малое снижение прочности происходит в комлевой части.

Снижение прочности в срединной и комлевой частях составляет: при сжатии вдоль волокон 15-18%; при растяжении вдоль волокон до 24%. Самая высокая потеря прочности произошла в испытаниях на статический изгиб: в вершинной части до 42%, в срединной части до 29%, в комлевой части до 23%.

Причиной снижения прочности древесины является гидролитическая и окислительная деструкция компонентов клеточной стенки во время длительного воздействия высокой температуры. Нарушение связей в надмолекулярной структуре компонентов клеточной стенки снижает сопротивляемость древесины нагрузке [20].

Древесина со сниженными техническими качествами подходит для изготовления конструкций, не воспринимающих высокие нагрузки. Вершинная часть дерева, подвергшаяся огневому воздействию не может применяться как конструкционный материал. Но комлевая и срединная части таких деревьев, а это 2/3 растущего дерева, могут найти применение в деревокомпозитных конструкциях. Такие рекомендации решают многие вопросы в условиях дефицита древесины и бережливого природопользования.

Выводы

1. Влажность древесины влияет не только на вес и плотность, но и на основные механические свойства древесины. Снижение плотности по сбегу к вершинной части происходит из-за анатомического строения дерева, а огневое воздействие усиливает это свойство. Лучшая древесина находится в комлевой части ствола, по мере поднятия по стволу плотность снижается от 17,5% (комлевая часть) до 24,1% (вершинная часть).

2. Изменения влажности и плотности отражаются на ее прочности и деформативности. В ходе испытаний и сопоставительного анализа эталонной древесины и древесины, подверженной огневому воздействию, установлено, что при низовом и среднем пожаре (обугливание до 15-20% по площади сечения ствола) прочностные свойства древесины наиболее снижены в верхушечной части ствола, наименьшее снижение – в комлевой части. Причиной снижения прочности древесины является уменьшение предела прочности и модуля упругости древесины. В свою очередь, снижение модуля упругости древесины влечет хрупкий характер разрушения, что отчетливо наблюдается в испытаниях древесины при растяжении вдоль волокон.

3. Снижение прочности в срединной и комлевой частях составляет: при сжатии вдоль волокон 15-19%; при растяжении вдоль волокон до 24%. Самая высокая потеря прочности произошла в испытаниях при статическом изгибе: в вершинной части до 41%, в срединной части до 29%, в комлевой части до 23%. Наименьшее снижение прочности по всему испытанию произошло в образцах, взятых из комлевой части. Таким образом, древесину со сниженными прочностными свойствами возможно использовать в отдельных элементах деревоклеенных конструкций.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01579, <https://rscf.ru/project/22-29-01579>.

Исследования проводились с использованием оборудования межрегионального многопрофильного и междисциплинарного центра коллективного пользования перспективных и конкурентоспособных технологий по направлениям развития и применения в промышленности/машиностроении отечественных достижений в области нанотехнологий (соглашение №075-15-2021-692 от 5 августа 2021 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xu K., Huang S., He F. Modeling fire hazards for the maintenance of long-term forest inventory plots in Alberta, Canada. *For. Ecol. Manage.* 2022. No. 513. Pp. 650-663. doi:10.1016/j.foreco.2022.120206.
2. Pontes-Lopes A., Dalagnol R., Dutra A.C., De Jesus Silva C.V., De Alencastro Graça P.M.L., de Oliveira e Cruz de L.E. Quantifying Post-Fire Changes in the Aboveground Biomass of an Amazonian Forest Based on Field and Remote Sensing Data. *Remote Sens.* 2022. No. 14. doi:10.3390/rs14071545.
3. Подсчитан ущерб от лесных пожаров в США [Электронный ресурс]. URL: <https://lenta.ru/news/2022/05/13/fiire/> (дата обращения: 15.10.2022).
4. В Минприроды оценили экономический ущерб от лесных пожаров в России в 2021 году [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/13265341> (дата обращения: 15.10.2022).
5. Леса горят... Разрушительные пожары 2018 года – следствие глобального потепления [Электронный ресурс]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5165> (дата обращения: 15.10.2022).
6. Giddey B.L., Baard J.A., Kraaij T. Fire severity and tree size affect post-fire survival of Afrotropical forest trees. *Fire Ecol.* 2022. No. 18. doi:10.1186/s42408-022-00128-5.
7. Shive K.L., Wuenschel A., Hardlund L.J., Morris S., Meyer M.D., Hood S.M. Ancient trees and modern wildfires: Declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia. *For. Ecol. Manage.* 2022. No. 511. doi:10.1016/j.foreco.2022.120110.
8. Peterson D., Finney M., Skinner C., Kaufmann M., Johnson M., Shepperd W., Harrington M., Keane R., McKenzie D., Reinhardt E., Reinhardt E., Ryan K. Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. USDA For. Serv. - Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR. 2004. Pp. 1-49.
9. Hugi E., Wuersch M., Risi W., Ghazi Wakili K. Correlation between charring rate and oxygen permeability for 12 different wood species. *J. Wood Sci.* 2007. No. 53. Pp. 71-75. doi:10.1007/s10086-006-0816-1.
10. Harada T. Charring of wood with thermal radiation II. Charring rate calculated from mass loss rate. *Mokuzai Gakkaishi/Journal Japan Wood Res. Soc.* 1996. No. 42. Pp. 194-201.
11. Martin F. The Hamptons at MetroWest, a case study of structural repairs to rot-damaged wood condominium buildings. Structures Congress 2014 - Proceedings of the 2014 Structures Congress. Pp. 1244-1254. doi:10.1007/978-3-030-42351-3_14.
12. Платонов А.Д., Курьянова Т.К., Снегирева С.Н., Макаров В.А. Изменение плотности древесины сосны, поврежденной пожаром при длительном хранении в различных условиях // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4. № 1 (13). С. 133-135. doi:10.12737/3356.
13. Galyautdinov, A., Chernykh, A., Glukhikh, V., Furman, E., Polozhencev, V. Method of Calculation and Placement of Spring Force Compensators in Log Structures of Wooden Housing Construction. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_12.
14. Sergeev M., Lukina A., Zdravovic N., Reva D. Stress-Strain State of a Wood-Glued Three-Span Beam with Layer-By-Layer Modification. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_43.
15. Lukina A., Roshchina S., Lisyatnikov M., Zdravovic N., Popova O. Technology for the Restoration of Wooden Beams by Surface Repair and Local Modification. 2022. doi:10.1007/978-3-030-96383-5_153.
16. Lukina A., Roshchina S., Gribov A. Method for Restoring Destroyed Wooden Structures with Polymer Composites. 2021. doi:10.1007/978-3-030-72404-7_45.
17. Lisyatnikov M., Lukina A., Chibrikov D., Labudin, B. The Strength of Wood-Reinforced Polymer Composites in Tension at an Angle to the Fibers. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_46.
18. Roshchina S., Gribov A., Lukin M., Lisyatnikov, M., Strekalov, A. Calculation of wooden beams reinforced with polymeric composites with modification of the wood compression area. MATEC Web of Conferences 2018. doi:10.1051/mateconf/201825104029.
19. Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V. [et al.]. Mechanical and Microstructural changes in post-fire raw wood. Architecture and Engineering. 2022. Vol. 7. No 3. Pp. 44-52. doi:10.23968/2500-0055-2022-7-3-44-52.
20. Платонов А.Д., Огурцов В.А., Туркина Ю.О. Изменение плотности древесины сосны после повреждения пожаром // Лесотехнический журнал. 2012. № 3 (7). С. 7-11.

REFERENCES

1. Xu K., Huang S., He F. Modeling fire hazards for the maintenance of long-term forest inventory plots in Alberta, Canada. *For. Ecol. Manage.* 2022. No. 513. Pp. 650-663. doi:10.1016/j.foreco.2022.120206.
2. Pontes-Lopes A., Dalagnol R., Dutra A.C., De Jesus Silva C.V., De Alencastro Graça P.M.L., de Oliveira e Cruz de L.E. Quantifying Post-Fire Changes in the Aboveground Biomass of an Amazonian Forest Based on Field and Remote Sensing Data. *Remote Sens.* 2022. No. 14. doi:10.3390/rs14071545.
3. Estimated damage from forest fires in the US. [Online]. URL <https://lenta.ru/news/2022/05/13/fiire/> (date of application: 15.10.2022).
4. The Ministry of Natural Resources estimated the economic damage from forest fires in Russia in 2021 [Online]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/13265341> (date of application: 15.10.2022).
5. The forests are burning... The devastating fires of 2018 are a consequence of global warming [Online]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5165> (date of application: 15.10.2022).
6. Giddey B.L., Baard J.A., Kraaij T. Fire severity and tree size affect post-fire survival of Afrotemperate forest trees. *Fire Ecol.* 2022. No. 18. doi:10.1186/s42408-022-00128-5.
7. Shive K.L., Wuenschel A., Hardlund L.J., Morris S., Meyer M.D., Hood S.M. Ancient trees and modern wildfires: Declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia. *For. Ecol. Manage.* 2022. No. 511. doi:10.1016/j.foreco.2022.120110.
8. Peterson D., Finney M., Skinner C., Kaufmann M., Johnson M., Shepperd W., Harrington M., Keane R., McKenzie D., Reinhardt E., Reinhardt E., Ryan K. Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. USDA For. Serv. - Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR. 2004. Pp. 1-49.
9. Hugi E., Wuersch M., Risi W., Ghazi Wakili K. Correlation between charring rate and oxygen permeability for 12 different wood species. *J. Wood Sci.* 2007. No. 53. Pp. 71-75. doi:10.1007/s10086-006-0816-1.
10. Harada T. Charring of wood with thermal radiation II. Charring rate calculated from mass loss rate. *Mokuzai Gakkaishi/Journal Japan Wood Res. Soc.* 1996. No. 42. Pp. 194-201.
11. Martin F. The Hamptons at MetroWest, a case study of structural repairs to rot-damaged wood condominium buildings. Structures Congress 2014 - Proceedings of the 2014 Structures Congress. Pp. 1244-1254. doi:10.1007/978-3-030-42351-3_14.
12. Platonov A.D., Kuriyanova T.K., Snegireva S.N., Makarov V.A. Izmenenie plotnosti drevesiny sosny, povrezhdennoj pozharom pri dlitel'nom hranenii v razlichnyh usloviyah [Change in the density of pine wood damaged by fire during long-term storage under various conditions]. *Forestry magazine.* 2014. Vol. 4. No. 1 (13). Pp. 133-135. doi:10.12737/3356. (rus).
13. Galyautdinov A., Chernykh A., Glukhikh V., Furman E., Polozhencev V. Method of Calculation and Placement of Spring Force Compensators in Log Structures of Wooden Housing Construction. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_12.
14. Sergeev M., Lukina A., Zdravovic N., Reva D. Stress-Strain State of a Wood-Glued Three-Span Beam with Layer-By-Layer Modification. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_43.
15. Lukina A., Roshchina S., Lisyatnikov M., Zdravovic N., Popova O. Technology for the Restoration of Wooden Beams by Surface Repair and Local Modification. 2022. doi:10.1007/978-3-030-96383-5_153.
16. Lukina A., Roshchina S., Gribov A. Method for Restoring Destroyed Wooden Structures with Polymer Composites. 2021. doi:10.1007/978-3-030-72404-7_45.
17. Lisyatnikov M., Lukina A., Chibrikov D., Labudin B. The Strength of Wood-Reinforced Polymer Composites in Tension at an Angle to the Fibers. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_46.
18. Roshchina S., Gribov A., Lukin M., Lisyatnikov M., Strekalov A. Calculation of wooden beams reinforced with polymeric composites with modification of the wood compression area. MATEC Web of Conferences 2018. doi:10.1051/mateconf/201825104029.
19. Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V. [et al.]. Mechanical and Microstructural changes in post-fire raw wood. *Architecture and Engineering.* 2022. Vol. 7. No 3. Pp. 44-52. doi:10.23968/2500-0055-2022-7-3-44-52.
20. Platonov A.D., Ogurtsov V.A., Turkina Yu.O. Izmenenie plotnosti drevesiny sosny posle povrezhdeniya pozharom [Change in density of pine wood after fire damage]. *Forestry magazine.* 2012. No. 3 (7). Pp. 7-11. (rus).

Информация об авторах:

Лукина Анастасия Васильевна

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: pismo.33@yandex.ru

Лисятников Михаил Сергеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Мартынов Владислав Алексеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
аспирант кафедры строительных конструкций.
E-mail: martinov3369@gmail.com

Рощина Светлана Ивановна

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций.
E-mail: rsi3@mail.ru

Information about authors:

Lukina Anastasiya V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
candidate of technical science, associated professor of the department of building construction.
E-mail: pismo.33@yandex.ru

Lisyatnikov Mikhail S.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
candidate of technical science, associated professor of the department of building construction.
E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Martinov Vladislav Al.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
assistant of the department of building construction.
E-mail: martinov3369@gmail.com

Roschina Svetlana Iv.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
doctor of technical sciences, professor, head of the department of building structures.
E-mail: rsi3@mail.ru