

УДК 614.8:699.8

Ж. К. Макишев, А. С. Айтеев

Кокшетауский технический институт МЧС Республики Казахстан

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования огнестойкости деревянных конструкций продолжительного срока эксплуатации. Установлено, что временной фактор имеет значительное влияние на интенсивность обугливания деревянных конструкций, а также на значение температуры начала данного процесса. Обнаружено, что с увеличением температуры древесина длительного срока эксплуатации теряет свои первоначальные прочностные свойства (до 30 %) уже при температуре 150 °С. С помощью физико-химических методов изучены свойства и структура угольных остатков, их окислительная и теплотворная способность. Проведены крупномасштабные испытания по оценке огнестойкости деревянных конструкций продолжительного срока эксплуатации в соответствии с ГОСТ 30247.0-94 и ГОСТ 30247.1-94.

Ключевые слова: древесина, деревянные конструкции, срок эксплуатации, пиролиз, механическая прочность, огнестойкость, обугливание.

Деревянные конструкции остаются одними из наиболее применяемых и востребованных при строительстве зданий и сооружений жилого, общественного, производственного, складского, животноводческого и сельскохозяйственного назначения. Наиболее динамичное развитие строительной индустрии с применением строительных конструкций из древесины наблюдается в России, бывших странах СНГ, ряде Европейских стран, Австралии, Японии, Канаде и США. Во многом это объясняется эстетической декоративностью, относительно высокой механической прочностью, устойчивостью этих конструкций к воздействию внешней окружающей среды [1].

Уникальными примерами долговечности деревянных конструкций служат такие объекты как: Гринстедская церковь (Гринстед, Эссекс, Великобритания, 1045 год), церковь Воскрешения Лазаря (Кизи, Архангельская область, 1391 год), церковь Святого Николая Чудотворца в Колодном (Закарпатье, Украина, 1470 год), Успенская церковь (с. Нелазкое, Вологодская область, 1694 год), Михаило-Архангельский собор (г. Уральск, Республика Казахстан, 1750 год) и многие другие.

В последние десятилетия большое внимание научного сообщества было обращено на изменение качественных характеристик древесины в результате продолжительной эксплуатации деревянных конструкций зданий и сооружений [2-4]. В этих работах было показано значительное влияние длительного естественного старения на физико-химические, механические и другие свойства древесины в результате трансформации ее структуры и химических превращений, происходящих в древесном материале.

Несмотря на это, малоизученным остается вопрос влияния продолжительного естественного старения на пожароопасные свойства древесины. Анализ происшедших пожаров свидетельствует о необычном поведении объектов продолжительного срока эксплуатации с деревянными конструкциями в условиях воздействия высоких

температур. Характерными особенностями таких пожаров являются: аномально высокая температура, быстрое развитие пожара и значительная степень термического повреждения конструкций из древесины. Примерами деревянных объектов продолжительного срока эксплуатации, утраченных в результате пожаров, являются такие как: Костел Святой Катерины (Острава, Чехия, 1543 год), церковь Богоявления (Воскресенский монастырь Нового Иерусалима (Московская область, 1673 год), церковь Спаса на сваях (Ипатьевский монастырь, г. Кострома, 1713 год), церковь Покрова Пресвятой Богородицы (Узденский район, Минская область, Республика Беларусь, 1898 год), дом тканей «Кызыл-Тан» (г. Алматы, республика Казахстан, 1912 год) и десятки других исторических памятников мирового наследия.

Изучению нестандартного поведения деревянных конструкций длительного срока эксплуатации в условиях пожара и их пожарной опасности были посвящены немногочисленные работы [5-8]. В этих работах авторами впервые установлен факт существования нового вида угрозы для человека, обусловленного спецификой поведения в условиях пожара конструкций из древесины длительного срока эксплуатации.

Одним из главных требований, предъявляемых к конструкциям из древесины с ограждающими или несущими функциями, является обеспечение приемлемой огнестойкости. Изменение в условиях пожара прочностных и геометрических характеристик сечений вызывает снижение несущей способности элементов и узлов деревянных конструкций, выраженной пределом огнестойкости конструкции. Однако, вопрос об изменении показателей огнестойкости деревянных конструкций в результате длительной эксплуатации остается не изученным. Отсутствие научных исследований в этом направлении, а также пренебрежение нормативной и справочной базой в области пожарной безопасности таким фактором как продолжительность эксплуатации конструкций определяет актуальность данных исследований. В работе представлялось важным выяснить не только как количественно изменяется предел огнестойкости деревянных конструкций с увеличением срока их службы, но и параметры их обугливания, а также как оказывает влияние длительное воздействие окружающей среды на интенсивность и особенности формирования обугленного слоя, его физическую структуру в условиях пожара.

Для исследования были взяты цельные деревянные конструкции длиной от 1,5 до 3,5 метров. Основные характеристики исследуемых образцов конструкций представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные характеристики образцов деревянных конструкций

№ обр.	Наименование деревянной конструкции	Место отбора образцов деревянных конструкций	Срок эксплуатации, лет	* ρ , кг/м ³
1	2	3	4	5
0	Деревянная балка (древесина сосны)	Архангельская область	-	452
1	Элементы стропильной части дома (древесина сосны)	Нежилой дом, республика Казахстан, с. Жанажол (Северо-Казахстанская область)	63	477

Продолжение таблицы 1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
2	Внутренние элементы конструкций (древесина сосны) междуэтажного перекрытия (между 1-м и подвальным этажами)	Театр кукол «Гулливер», расположенный по адресу: г. Курган, ул. Советская, д. 104	125	588
3	Деревянные несущие конструкции (древесина сосны)	Церковь Николая Чудотворца, Брянская область	150	643
4	Элементы стропильной части дома (древесина сосны)	Нежилой дом, республика Казахстан, с. Кайынды (Костанайская область)	87	546

* - влажность образцов древесины перед проведением огневых испытаний составляла 12 %.

В работе был привлечен комплекс современных методов исследования: методы термического анализа (ТГ, ДТГ, ДСК), метод сорбции паров, метод определения физико-механических показателей материалов. Для определения параметров обугливания в условиях воздействия стандартного температурного режима пожара была использована экспериментальная маломасштабная огневая печь с возможностью реализации стандартного температурного режима пожара, а также крупномасштабная огневая печь для оценки огнестойкости строительных конструкций в соответствии с требованиями ГОСТ 30247.0-94 и ГОСТ 30247.1-97.

При анализе образцов деревянных конструкций было установлено, что при увеличении срока эксплуатации наблюдается повышение плотности древесины, обусловленное удалением легколетучих низкокипящих компонентов из древесного материала, усушкой и трансформацией морфологической структуры древесного субстрата. Изменение структуры древесины сказывается на ее физико-механических характеристиках, которые являются определяющими при оценке огнестойкости деревянных конструкций. В работе было изучено изменение плотности и прочности образцов древесины естественного старения при воздействии температуры в условиях пожара. Температурное воздействие на образцы осуществлялось в муфельной печи продолжительностью от 30 минут до 2 часов. Оценка изменения предела прочности деревянных конструкций на сжатие вдоль волокон проводилась с помощью электромеханической универсальной испытательной машины TIME WDW-50E.

Полученные результаты показывают, что при повышении температуры воздействия на образцы древесины различного срока эксплуатации наблюдается снижение их плотности и предела прочности на сжатие вдоль волокон (рис. 1).

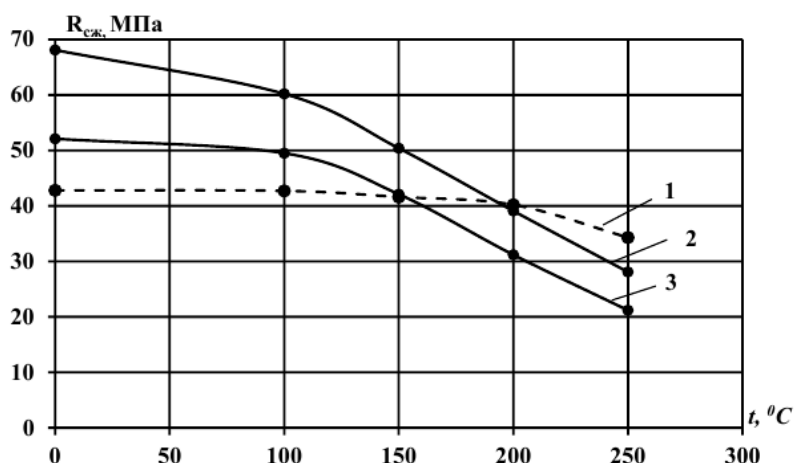


Рисунок 1 - Изменение предела прочности образцов древесины по сжатию вдоль волокон ($R_{сж}$) в зависимости от величины температуры: 1 – древесина сосны (Архангельская область); 2 – древесина сосны (1890 год), элементы деревянного перекрытия, театр кукол «Гулливвер»; 3 – древесина сосны (1865 год), церковь Николая Чудотворца, Брянская область

Интересно отметить, что для древесины длительного естественного старения процесс снижения предела прочности происходит при меньшей температуре по сравнению с современной древесиной. Для деревянных конструкций длительного срока эксплуатации уже при температуре 100 °C наблюдается потеря первоначальных механических свойств на 10 %, а при температуре 250 °C на 60 % и более. Для современной древесины начальное снижение механических свойств древесины происходит только при температурах выше 200 °C, что подтверждается результатами ранее проведенных исследований [9].

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что на значения предела прочности образцов древесины длительного срока эксплуатации при воздействии температур до 250 °C оказывают в большей степени процессы термодеструкции и карбонизации, протекание которых с увеличением продолжительности эксплуатации деревянной конструкции смещается в низкотемпературную зону по сравнению с древесиной современной. Подтверждением этого являются результаты полученные методами термического анализа (ТГ, ДТГ, ДСК). С использованием данных методов были изучены особенности процесса обугливания древесины различного срока эксплуатации. Образцы материалов в виде фрагментов правильной формы помещались в тигель термоанализатора Q600 SDT. Нагрев материалов проводился со скоростью 20 °C/мин в токе азота до 500 °C. Далее проводилась смена газа носителя с азота на воздух. Процесс термодеструкции и термоокисления записывался как по ТГА сигналу, так и по ДСК. Совмещенные ТГ, ДТГ и ДСК кривые представлены на рис. 2.

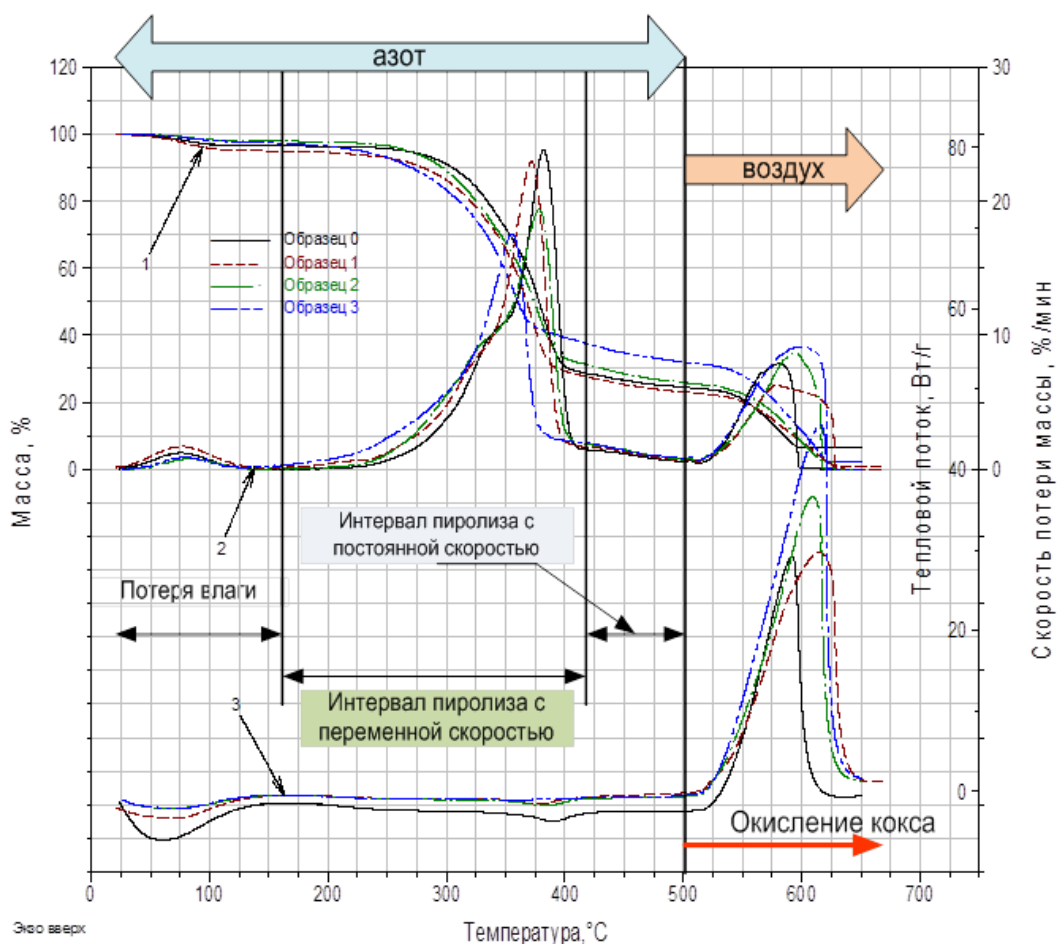


Рисунок 2 - Результаты термического анализа (ТГ, ДТГ, ДСК) исследуемых образцов древесины различного срока эксплуатации (нумерация образцов представлена в таблице 1).

ТГ и ДТГ кривые показывают, что на начальной стадии (температурный диапазон 100 – 250 °С) происходит более интенсивная потеря массы образцов древесины длительного срока эксплуатации по сравнению образцами современной древесины. В этот период, очевидно, начинается образование карбонизованных структур, что отражается на снижении скорости потери массы на основном участке полученных термограмм (температуры 300 – 400 °С). Последующее повышение температуры приводит к более активной стадии окисления образующегося кокса древесины длительного естественного старения. При этом на кривых ДТГ и ДСК зафиксировано значительное повышение скорости потери массы, значений теплового эффекта и скорости тепловыделения окислительного процесса. Расчет кинетических параметров по ДСК кривым осуществлялся по методу Борхардта-Дэниельса. Значения энергии активации процесса окисления кокса указывают на снижение энергетических затрат необходимых для начала данного процесса, а уменьшение значений логарифма предэкспоненты может свидетельствовать об образовании упорядоченного по своей структуре угольного остатка (таблица 2).

Таблица 2 - Характеристики процесса окисления коксового остатка для древесины различных сроков эксплуатации

Обозначение образца	Расчетный параметр по ДСК кривым				
	Тепловой эффект**, Дж/г	Скорость тепловыделения*, Вт/г	Энергия активации, кДж/моль	Логарифм пред-экспоненты, log (1/мин)	Приведенный порядок реакции
0	15318	30.2	331.0	20.15	1
1	25218	28.9	247.9	14.60	1
2	21580	37.3	249.8	14.82	1
3	22176	46.6	240.7	14.23	1

Примечание: - * скорость тепловыделения отнесена к первоначальной массе образца;
 - **тепловой эффект отнесен к массе кокса.

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что на начальной и основной стадии термического разложения образцов древесины длительного срока эксплуатации, вследствие раннего углеобразования, наблюдается снижение скорости потери массы образцов. Однако при дальнейшем повышении температуры проявляется негативная роль коксового остатка, обусловленная его высокой способностью к окислению и выделению значительного количества тепла. Для образца древесины со сроком эксплуатации 150 лет скорость тепловыделения фактически в 1,5 раза выше по сравнению с образцами современной древесины.

Повышение интенсивности процесса обугливания деревянных конструкций длительного естественного старения подтверждается результатами экспериментальной оценки параметров обугливания в условиях стандартного температурного режима пожара. При одностороннем нагреве на маломасштабной установке продолжительность испытаний составила 30 минут. Образец крепился с помощью специального держателя в виде рамки. Для измерения температуры были использованы лепестковые термодатчики типа хромель – алюмель. Термодатчики подсоединялись к контрольно-измерительному прибору «Элемер», подключенному к персональному компьютеру для регистрации показаний. Испытания проводились для каждой серии на 3-х образцах, имеющих форму квадрата, со стороной 150 мм. Толщина образцов составляла 30 – 40 мм. Кроме этого, огневые испытания также проводились на образцах деревянных балок сечением 150х150 мм и длиной 1,5 метра.

В статье представлены результаты исследования огнестойкости деревянных конструкций продолжительного срока эксплуатации. Показано, что с увеличением срока эксплуатации деревянных конструкций до 150 лет повышаются плотность и физико-механические характеристики древесины. Однако с увеличением температуры подобные конструкции существенно теряют свои первоначальные прочностные свойства (до 30 %) уже при температуре 150 °С.

Установлено значительное влияние временного фактора на значения скорости обугливания деревянных конструкций. Так для деревянной балки со сроком эксплуатации 150 лет скорость обугливания повышается в среднем в 2,2 раза по сравнению с современной конструкцией из древесины. Показано, что начало процесса обугливания деревянных конструкций с увеличением срока эксплуатации смещается

в область более низких температур. Специфические свойства и структура угольных слоев способствует снижению скорости потери массы на основном участке термического разложения и повышению устойчивости к воспламеняемости. Однако при дальнейшем возрастании температуры, для подобных угольных слоев характерна высокая окислительная и теплотворная способность, склонность к активному выгоранию и беспламенному (тлеющему) горению.

Расхождение результатов измерений скорости обугливания на экспериментальной маломасштабной огневой печи и крупномасштабной установке составляет не более 11 %, что позволяет проводить прогнозную оценку параметров обугливания на небольших образцах в условиях одностороннего нагрева.

Происходящие изменения физико-химических и механических свойств древесины длительного срока эксплуатации при воздействии высоких температур или пожара приводят в целом к снижению предела огнестойкости деревянной конструкции по потере несущей способности в 2,2 раза.

По результатам проведенного исследования необходимо констатировать факт появления нового вида угрозы, связанной с особенностями поведения деревянных конструкций длительного срока эксплуатации в условиях воздействия повышенных температур или пожара, а также с нестандартными количественными показателями процесса обугливания и огнестойкости этих конструкций.

Список литературы

1. Ковальчук Л. М. Производство деревянных клееных конструкций. 3-е издание переработанное и доп. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. – 336 с.
2. Варфоломеев Ю. А., Потуткин Г. Ф., Шаповалова Л. Г. Изменение свойств древесины при длительной эксплуатации (на примере памятников деревянного зодчества Архангельской обл.) // Деревообрабатывающая промышленность. - 1990. - № 10. – С. 28–30.
3. Варфоломеев А. Ю. Накопление повреждений в деревянных конструкциях при длительной эксплуатации в условиях биологической агрессии: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / ОАО «Научно-исследовательский центр «Строительство». - Москва, 2010. – 157 с.
4. Стрельцов Д. Ю. Исследование несущей способности длительно эксплуатируемых деревянных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01: Москва: ГУП ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко, 2003. — 168 с. РГБ ОД, 61:04-5/476-5.
5. Покровская Е. Н. Прогнозирование долговечности древесины методом термического анализа // Пожаровзрывобезопасность. - 2001. - № 6. – С. 31–32.
6. Тычино Н. А., Федосенко И.Г., Баранов А.В. Особенности строения и огнебиозащиты археологической древесины // Пожаровзрывобезопасность. - 2007. - № 1. – С. 19–25.
7. Альменбаев М.М., Макишев Ж.К., Рахметулин Б.Ж. Особенности процесса обугливания деревянных конструкций продолжительного срока эксплуатации // Вестник Кокшетауского технического института. – 2020. - № 1 (37). – С. 41-45.
8. Aseeva R. M., Serkov B. V., Sivenkov A. B. Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings. Germany: Springer Series in Wood Science, Springer, 2014. – 280 p.
9. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 262 с.
10. Харитонов В.С. Несущая способность изгибаемых клееных деревянных конструкций массивного сечения при тепловом воздействии: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. - Москва, ВНИИПО МВД России. 1992. – 190 с. ОД 61 93-5/2756.

References

1. Kovalchuk L. M. Production of wooden glued structures // 3rd edition reworked and additional - M.: OOO RIF "Stroymaterialy", 2005 – 336 p.
2. Varfolomeev Yu. A., Potutkin G. F., Shapovalova L. G. Change in the properties of wood during long-term operation (on the example of monuments of wooden architecture of the Arkhangelsk region) // Woodworking industry. – 1990 - No. 10. - P. 28-30.
3. Varfolomeev A.Yu. Nakoplenie povrezhdenij v derevyannyh konstrukciyah pri dlitel'noj ekspluatatsii v usloviyah biologicheskoy agressii: dis. ... k.t.n.: 05.23.01 / OAO «Nauchno-issledovatel'skij centr «Stroitel'stvo». - Moskva, 2010. – 157 s.
4. Strel'cov D.Yu. Issledovanie nesushchej sposobnosti dlitel'no ekspluatiruemyh derevyannyh konstrukcij: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01: Moskva: GUP CNIISK im. V.A. Kucherenko, 2003. — 168 s. RGB OD, 61:04-5/476-5.
5. Pokrovskaya E. N. Forecasting the durability of wood by the method of thermal analysis // Fire and explosion safety. - 2001. - No.6. – P. 31-32.
6. Ticino N. A., Fedosenko I. G., Baranov A.V. features of the structure and onebusaway archaeological wood // fire and explosion safety. - 2007. - No. 1. – P. 19-25.
7. Almenbayev M. M., Makishev Zh. K., Rakhmetulin B. Zh. Features of the process of charring wooden structures of a long service life // Bulletin of the Kokshetau Technical Institute. – 2020. - № 1 (37). – Pp. 41-45.
8. R. M. Aseeva, Serkov B. B., A. B. Sivenkov Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings. Germany: Springer Series in Wood Science, Springer, – 2014. – 280 p.
9. R. M. Aseeva, Boris Serkov, in Water A. B. Combustion of wood and its flammable properties. – M.: Academy of state fire service of EMERCOM of Russia, 2010. – 262 p.
10. Haritonov V.S. Nesushchaya sposobnost' izgibaemyh kleenyh derevyannyh konstrukcij massivnogo secheniya pri teplovom vozdejstvii: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.26.01. - Moskva, VNIPO MVD Rossii. 1992. – 190 s. OD 61 93-5/2756.

Ж. Қ. Макишев, А. С. Айтеев

Қазақстан Республикасы ТЖМ Көкшетау техникалық институты

ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ АҒАШ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫҢ
ОТҚА ТӨЗІМДІЛІГІ

Аңдатпа. Мақалада ұзақ қызмет ету мерзімі бар ағаш конструкцияларының отқа төзімділігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Уақыт факторы ағаш конструкциялардың жану қарқындылығына, сондай-ақ осы процестің басталу температурасының мәніне айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Температураның жоғарылауымен ұзақ уақыт жұмыс істейтін ағаш 150 °С температурада өзінің бастапқы беріктік қасиеттерін (30% дейін) жоғалтатыны анықталды. Физика-химиялық әдістердің көмегімен көмір қалдықтарының қасиеттері мен құрылымы, олардың тотығу және калориялық құндылығы зерттелді. МЕСТ 30247.0-94 және МЕСТ 30247.1-94 сәйкес ұзақ қызмет ету мерзімі бар ағаш конструкциялардың отқа төзімділігін бағалау үшін кең ауқымды сынақтар жүргізілді.

Түйінді сөздер: ағаш, ағаш құрылымдары, пайдалану мерзімі, пиролиз, механикалық беріктік, отқа төзімділік, көмір.

Zh. K. Makishev, A. S. Aitiev

Kokshetau Technical Institute of MES of the Republic of Kazakhstan

THE FIRE RESISTANCE OF WOODEN STRUCTURES A LONG LIFE SPAN

Аңдатпа. This article provides findings made by studies of fire resistance of wooden structures for long useful life. It has been shown that time is a major factor for extent, to which the wooden structures may be carbonized, and for initial temperature of the process. It has been found that, as temperature it is exposed to grows, long useful life wood loses its initial durability rates (by up to 30%) – even when temperature is 150°C only. Physicochemical methods used in the study provided insight into the properties and structure of the coal residues and their oxidizing power and heat output rates. Large-scope tests have been made in order to make estimation of fire resistance of the long useful life wooden structures in accordance with State Standard 30247.0-94 (GOST 30247.0-94) and State Standard 30247.1-94 (GOST 30247.1-94).

Keywords: wood, wooden structures, useful life, pyrolysis, mechanical resistance, fire resistance and carbonization.

Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors

Жандос Қуандықұлы Макишев - техника ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы ТЖМ Көкшетау техникалық институты өрттің алдын алу кафедрасының бастығы. Қазақстан, Кокшетау, ул. Акана-серэ, 136. E-mail: makishev_jkkti@mail.ru

Асан Сейтқасымұлы Айтеев - Қазақстан Республикасы ТЖМ Көкшетау техникалық институты күндізгі оқу факультетінің бастығы. Қазақстан, Кокшетау, ул. Акана-серэ, 136. E-mail: assan_kti@mail.ru

Макишев Жандос Куандыкович - кандидат технических наук, начальник кафедры пожарной профилактики Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана-серэ, 136. E-mail: makishev_jkkti@mail.ru

Айтеев Асан Сейтқасымович - начальник факультета очного обучения Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана-серэ, 136. E-mail: assan_kti@mail.ru

Makishev Zhandos Kuandykovich - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Fire Prevention of the Kokshetau Technical Institute of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, Akana-Sere street, 136. E-mail: makishev_jkkti@mail.ru

Aiteev Asan Seitkasymovich - chief of the faculty of full-time education of the Kokshetau Technical Institute of the MES of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, Akana-Sere street, 136. E-mail: assan_kti@mail.ru