

Раздел IV. Безопасность в техносфере

УДК 699:694

Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков

ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО СТАРЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПОЖАРООПАСНЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Представлены результаты исследования влияния продолжительного естественного старения древесины на ее физико-химические и пожароопасные свойства. Установлено, что изменение характеристик пожарной опасности в ходе естественного старения деревянных конструкций связано с изменениями химического состава и объемной массы (плотности) древесины. При равных условиях теплового воздействия образцы древесины после длительного старения обнаруживают повышенную сопротивляемость воспламенению и критический тепловой поток для воспламенения снижается. Кроме этого, для образцов древесины длительного старения наблюдается снижение максимальной массовой скорости выгорания и общего тепловыделения в начальный период до интенсивного окисления поверхностного угольного слоя. Снижение дымообразующей способности древесины ели в результате ее естественного старения в течение 150 лет во многом обусловлено изменением химического состава древесины, в частности, повышением содержания лигнина. Лигнин в силу своей ароматической природы химического строения обладает повышенной способностью к карбонизации и выходу нелетучего коксового остатка при разложении. Анализ токсичности продуктов горения образцов древесины сосны по регистрации выхода оксида и диоксида углерода показывает снижение токсичности продуктов горения древесины с увеличением срока эксплуатации.

Древесина; химический состав; пожарная опасность; естественное старение.

R.M. Aseeva, B.B. Serkov, A.B. Sivenkov

NATURAL AGEING EFFECT ON PHYSICOCHEMICAL AND FLAMMABLE PROPERTIES OF THE WOOD

The research findings of natural ageing effect on physicochemical and flammable properties of the wood are presented. It has been established that the change in fire characteristics during wood-work natural ageing is associated with changes in chemical composition of the wood and volume timber weight (density). Under equal thermal conditions wooden samples suffered the long-term ageing show the excessive fire resistance; and the critical burning heat flux decreases. On top of that, the wooden samples suffered the long-term ageing show the decrease in maximum mass combustion rate and total heat input during the initial period until the intense oxidization of the coal bed surface. Reduction of sprucewood smoke generation ability as a result of its 150 year-old natural ageing is due to the changes in the chemical composition of the wood, due to lignin concentration in particular. Lignin due to aromatic nature of the chemical structure carries the enhanced capability to carbonization and an nonvolatile carbon residue yield by decomposition. The toxicity analysis of sprucewood sample combustion products recording oxide and carbon dioxide output presents the toxicity reduction of timber combustion products with service life extend.

Wood; chemical composition; fire danger; natural ageing.

Введение. Старение древесины в естественных условиях происходит уже в процессе биологического развития и жизни древесных растений при определенных климатических режимах. Биологический возраст растений отражается на всех

свойствах древесины срубленных деревьев. Как влияет биологический возраст растений на естественное старение деревянной продукции в последующей ее эксплуатации, этот вопрос не ясен и требует специального рассмотрения.

Следует отметить, что в настоящее время изучение естественного старения древесины направлено главным образом на определение и анализ динамики изменения макроскопических характеристик структуры и свойств материала в ходе длительной эксплуатации. Но истинный процесс старения древесной субстанции, механизм и кинетика химических реакций компонента, лимитирующие стадии, возможности эффективного регулирования или торможения не рассмотрены в должной степени. Решение этой проблемы требует создания новых подходов и методов, затраты больших совместных усилий научного сообщества.

Проведенные к настоящему моменту исследования свидетельствуют о том, что в древесине в процессе длительного старения в естественных условиях эксплуатации объектов происходят существенные физико-химические изменения [1–5]. При этом большое внимание исследователей было уделено изучению влияния биоразрушителей древесины на ее долговечность.

На долговечности деревянных сооружений в тех или иных климатических условиях сказывается большая совокупность различных факторов. Как и у синтетических полимерных материалов [6, 7], наиболее существенные физико-химические изменения в этом природном полимерном композите во время эксплуатации происходят в результате фотохимической, гидролитической, термоокислительной деструкции, воздействия механических напряжений и других видов процессов под влиянием солнечной радиации, тепла, дождевых осадков, воздействия ветровых и ураганных нагрузок.

К сожалению, до сих пор четкая взаимосвязь условий и продолжительности естественного старения древесины с характером трансформаций в структуре, изменениями в химическом составе и многими свойствами материала не установлена. Практически полностью отсутствует информация о влиянии старения древесины на поведение при пожаре и показатели пожарной опасности.

Для оценки влияния естественного старения на пожарную опасность деревянных облицовочных и отделочных материалов, элементов деревянных строительных конструкций предпочтительнее опытным путем исследовать образцы древесины существующих старых деревянных строений и памятников деревянного зодчества. При таком подходе необходимо точное знание эксплуатационного возраста объекта и природно-климатических условий, в которых он находился. Поэтому в настоящей работе внимание было обращено на образцы древесины из существующих объектов старых строений из разных регионов России с умеренным климатом (Вологодской, Костромской и других областей). Образцы хвойной древесины в виде спилов были взяты из строений, находящихся в деревнях Демьяново, Левино, Лябзунка и Семигоры (Вологодская область), а также в деревнях Никитино и Шулево (Костромская область). Эксплуатационный возраст деревянных строений согласно зарегистрированным метрикам составлял 60–150 лет. Строения представляли собой деревянные жилые и нежилые дома из хвойной древесины ели и сосны. Образцы были выпилены из бревен северной и южной части строений, неподверженных биодеструктивным процессам гниения, на расстоянии 1,5 метра от поверхности земли [8].

Результаты исследования и обсуждение. Для изучения влияния естественного старения древесины на процессы разложения, стойкость к тепловому и огневому воздействию привлечены частично образцы лиственной и хвойной породы, отобранные из старых культовых сооружений. Из элементов погонажных строительных изделий были отобраны образцы дубовой древесины. В общей сложности

срок эксплуатации элементов деревянных конструкций и изделий составлял от 2 до 370 лет. Чтобы составить представление об исследуемых конкретных образцах, предварительно были определены их плотность, элементный состав, содержание основных компонентов древесины, а также проведен термический анализ. Именно плотность (объемная масса) древесины является показателем, отражающим макроструктуру и влияющим на ее свойства. С плотностью тесно связаны многие характеристики пожарной опасности материалов.

В табл. 1 приведены средние значения плотности ρ_{12} исследованных образцов древесины сосны.

Таблица 1

Значения объемной массы древесины сосны разного срока эксплуатации

№ п/п	Образец древесины, источник пробы, год постройки	Срок эксплуатации, лет	Объемная масса, ρ_{12} , кг/м ³
1	Сосна современная, Вологодская область	-	440
2	Сосна, Дом Толстых, 1830 г.	180	410
3	Сосна, Волкостров, Кижи, Часовня Петра и Павла	330	587
4	Сосна, Церковь Ипатьевского монастыря, Кострома, 1628 г.	375	535
5	Сосна, храм во имя Георгия Победоносца, д. Шулево, Костромская обл., 1898 г.	112	Север – 488 Юг – 537 Восток – 414 Запад – 426
6	Сосна, Деревянное строение д. Никитино, Костромская обл., 1876 г.	130	Север – 505 Восток – 591 Запад – 561

Построенная по этим данным графическая зависимость (рис. 1) имеет сложный нелинейный циклический характер, максимумы и минимумы. Максимальные значения плотности наблюдаются при продолжительности эксплуатации древесины около 100 и 330 лет, а минимальное значение достигается при сроке эксплуатации сосновой древесины 190–200 лет [8–11].

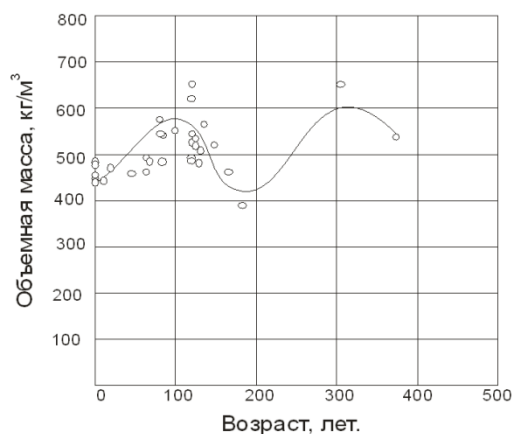


Рис. 1. Зависимость плотности ρ_{12} (объемной массы) древесины сосны от эксплуатационного возраста

Подобное нелинейное изменение плотности древесины в результате ее длительной эксплуатации согласуется с работами [5, 12].

Цикличность процессов естественного старения древесины живых и срубленных деревьев, по мнению И.И. Пищика [12], взаимосвязана с двойными вековыми циклами солнечной активности, которые оставляют свой след на дендрологической шкале древесных растений. Уменьшение значений ρ_{12} объясняется выделением газообразных и водорастворимых продуктов деструкции при сохранении объема древесины, восходящая ветвь кривой обусловлена постепенной усадкой материала.

Обращает на себя внимание неравномерное изменение плотности в разных частях деревянных строений, ориентированных на направление частей света. Особенно высокие значения плотности наблюдаются со стороны южной и восточной частей света. Это, по-видимому, не случайно. Вероятен отклик на влияние солнечного света. К сожалению, точные сведения о биологическом возрасте древесины, пошедшей на строительство деревянных зданий, утеряны. Обычно для культовых сооружений применяли сосну 150–220-летней зрелости [1], для жилых и хозяйственных строений – 60–100-летнюю. Для хозяйственных построек чаще использовали еловую древесину.

О зависимости деструктивных процессов в еловой древесине от расположения взятых проб относительно частей света (влиянии солнечного света) можно судить по результатам химического анализа (табл. 2) [11].

Таблица 2

**Содержание основных химических компонентов древесины ели
в зависимости от ее эксплуатационного возраста**

№ п/п	Место пробы, эксплуатационный возраст образца	Сторона света	Содержание основных химических компонентов,	
			Целлюлоза	Лигнин
1	Ель современная (Вологодская область)	-	54,5	25,4
2	Брусчатое нежилое строение (д. Лябзунка), древесина ели, 60 лет	Север, Юг	55,6 53,4	25,6 27,1
3	Деревянное нежилое строение (д. Левино), древесина ели, 90 лет	Север, Юг	50,6 49,0	27,1 28,2
4	Брусчатое нежилое строение (д. Демьяново), ель, 110 лет	Север, Юг	50,8 48,6	26,9 28,1
5	Деревянное жилое строение (д. Семигоры), ель, 150 лет	Север, Юг	49,5 46,9	27,6 28,8

В работе проведена оценка содержания целлюлозы и лигнина. Оставшаяся часть представляла собой смесь гемицеллюлоз и экстрактивов.

Результаты исследования показывают, что содержание целлюлозы с увеличением срока эксплуатации до 150 лет уменьшается, а содержание лигнина возрастает (см. табл. 2). В южной части деревянного строения наблюдаются более значительные изменения, чем в его северной части. Примерно в равных условиях за 150 лет эксплуатации относительное содержание целлюлозы в элементах деревянных конструкций на южной стороне строения снизилось на 13,9 %, а на северной – на 9,1 %.

В процессе старения большую роль играют гидролитические и термоокислительные реакции разложения древесной субстанции. Реакции, протекающие при старении, затрагивают, прежде всего, олигомерную углеводную и экстрактивную составляющую природного полимерного композита. Разрушение макромолекул

целлюлозы в аморфной части структуры приводит к образованию водорастворимых веществ, их вымыванию из материала под влиянием дождевых осадков, изменению объемной массы материала и собственно его прочности.

Важную информацию о динамике разложения древесины при ее нагревании на воздухе можно получить, используя термические методы анализа. В данном случае для исследования закономерностей термоокислительной деструкции различных пород древесины, а также угольного слоя на ее поверхности применяли автоматизированную модульную термоаналитическую систему TGA/DSC1 фирмы «MettlerToledo» (Швейцария). Установка была обеспечена модулем для программированного расчета кинетических параметров. Образцы готовили в виде тонко измельченного порошка весом 1,0–8,5 мг. Скорость нагрева составляла 5–20 °С/мин.

Для всех разновидностей древесины характерно наличие низкотемпературной стадии, обусловленной присутствием влаги, и двух основных этапов потери массы образца в области 240–400 °С и 400–540 °С. Однако положение и максимальные значения характеристических точек кривых ТГ, ДТГ и ДСК для разных пород древесины заметно отличаются. Увеличение скорости нагрева приводит к закономерному смещению термоаналитических кривых в более высокотемпературную область. Сравнительный анализ кривых приводит к выводу, что хвойные породы древесины при нагревании до температуры 360–400 °С начинают разлагаться раньше и с большей скоростью, чем лиственные разновидности.

Термоокислительное разложение древесины является процессом, протекающим со значительным выделением тепла на всех его основных стадиях. Наличие экзопиков на кривых ДСК служит подтверждением этого факта. Разложение древесины на воздухе сопровождается ее обугливанием. Наибольшее выделение тепла при термоокислительном разложении связано с окислением карбонизованного продукта при высокой температуре.

В результате естественного старения древесины происходит существенное изменение ее термоокислительной стабильности [8, 9, 13]. На примере образцов древесины дуба, отобранных из досок икон Свято-Троицкой Сергиевой Лавры (Подмосковье), было показано влияние длительности эксплуатации объектов на процесс термоокислительного разложения древесной субстанции (рис. 2).

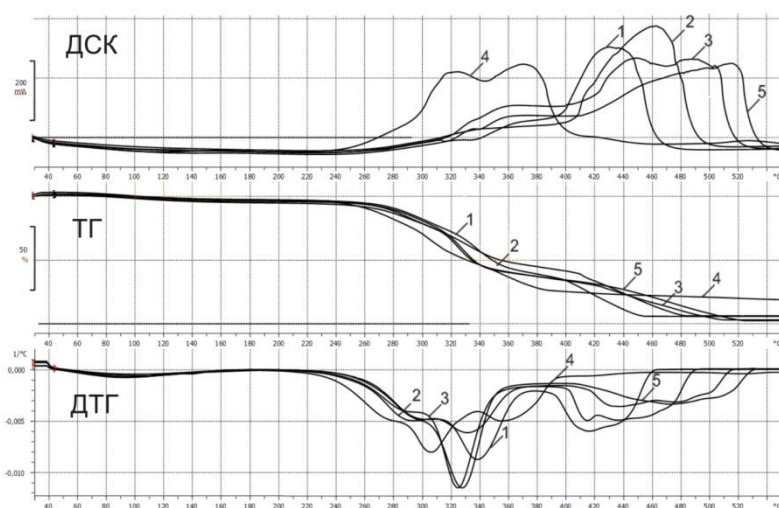


Рис. 2. ТГ, ДТГ и ДСК – кривые образцов дуба разного срока эксплуатации: 1 – 1650 г.; 2 – 1901 г.; 3 – искусственно состарена на 80 лет; 4 – 1540 г.; 5 – современная древесина (среда воздух, скорость нагрева 20 °С/мин)

Видно, что наблюдается значительное снижение термоокислительной стабильности образцов древесины дуба, особенно заметное по ДСК и ДТГ кривым. При естественном старении древесины дуба в период эксплуатации изделия более 460 лет снижаются все температурные показатели: температура начала разложения, температура максимальной скорости потери массы и пр. [8].

Рассмотрение термоаналитических кривых древесины приводит к важному выводу, что в результате естественного старения материала при длительной эксплуатации происходят трансформации, которые благоприятствуют условиям протекания реакции разложения, карбонизации древесины и окисления обуглероженного продукта. Такая ситуация обусловлена в значительной степени увеличением в результате старения содержания лигнина – высокоэнергетической ароматической составляющей древесины, изменением пористой структуры.

Аналогичную картину изменения термоокислительной стабильности древесины наблюдали авторы работы [10], исследуя образцы древесины липы из рам и досок старых икон румынских монастырей. При увеличении срока эксплуатации образцов с 6 до 200 лет термоокислительная стабильность снижалась, уменьшалась энергия активации и на три порядка предэкспоненциальный множитель процесса разложения по сравнению с эталонным образцом липы. Однако древесина с 99-летним сроком эксплуатации была более стабильна, чем эталон и образец двухсотлетней давности (1802 г.). Эффективная энергия активации разложения этого образца древесины была оценена в 105,2 кДж/моль при $\ln Z = 20,8$ (у эталона – 85,5 кДж/моль и 16,6 соответственно).

Особенно большой диапазон по сроку эксплуатации древесины и его влиянию на термическую устойчивость элементов деревянных конструкций был прослежен в работе [11]. Авторы располагали образцами сосновой древесины, которые соответствовали сроку службы в диапазоне до 525 лет. Обнаружен циклический нелинейный характер изменения значений потери массы, а также кинетических параметров процесса разложения древесины.

Минимумы на кривых $E_{эфф} = f(\tau)$ соответствовали времени эксплуатации деревянных сооружений около 100, 300 и 500 лет, максимумы были в области 200 и 400 лет. Почти синхронно изменялись и значения $\lg Z$. В точках максимумов они возрастали на 2–5 порядков. Наиболее склонна к деструктивным процессам древесина в период первых 50–100 лет эксплуатации. Циклы повторяются через 200 лет. По мнению авторов [11] именно в периоды наименьшей стабильности следует ожидать увеличение пожарной опасности древесины. Прежде всего было интересно выяснить влияние естественного старения образцов древесины на низшую теплоту полного сгорания. С этой целью использовали сухие образцы древесины разного эксплуатационного возраста. В табл. 3 приведены полученные результаты.

Таблица 3

Влияние времени эксплуатации деревянных конструкций на низшую теплоту полного сгорания древесины [9]

№ п/п	Образец древесины	Элементный состав, %			Q _{Нз} , кДж/г	Q _{Нр} , кДж/г
		С, %	Н, %	О, %		
1	Сосна	52,14	5,91	41,95	19,6	19,1
2	Ель	52,22	6,04	41,74	18,9	19,25
3	Дуб	50,40	5,77	43,43	18,7	18,2

Окончание табл. 3

4	Дуб, лавра, 1650 г.	47,03	7,25	45,72	18,0	18,3
5	Сосна, Дом Толстых, 1830 г.	49,38	3,88	46,74	15,2	15,52
6	Деревянное нежилое строение (д. Лябзунка), ель, 60 лет, северная сторона	50,3	6,44	43,26	18,4	19,21
7	Деревянное нежилое строение (д. Левино), ель, 90 лет, северная сторона	48,3	7,11	44,6	18,15	18,6
8	Деревянное нежилое строение (д. Демьяново), ель, 110 лет, северная сторона строения	46,7	8,2	45,1	19,8	20,3
9	Деревянное жилое строение (д. Семигоры), ель, 150 лет, северная сторона строения	50,5	8,47	41,03	20,1	20,7
10	Деревянные постройки Храма во имя Георгия Победоносца, д. Шулево (год постройки – 1898), сосна	45,9	8,15	45,95	18,3	18,9
11	Деревянный жилой дом, д. Никитино (год постройки 1876 г.), сосна	48,8	8,34	42,86	19,9	20,4

С увеличением продолжительности старения деревянных сооружений в древесине уменьшается углеродная составляющая, а содержание водорода и кислорода пропорционально друг другу возрастают. Исключением является древесина сосны, датированная 1830 г., у которой содержание водорода снижалось до 3,88 %. Расчетная и экспериментальная оценка низшей теплоты полного сгорания образцов показывает, что с ростом эксплуатационного возраста древесины наблюдается тенденция к повышению значений низшей теплоты полного сгорания. Это происходит вследствие снижения в элементном составе содержания углерода и повышения водорода, который по вкладу в теплоту полного сгорания превышает углерод в 4 раза. Наблюдаемые эффекты вполне согласуются с результатами анализа изменений в химическом составе древесины при старении (см. табл. 2).

Изменения в макроструктуре древесины (объемной массы материала) и химическом составе сказываются на характеристиках ее пожарной опасности. В частности была подтверждена общая закономерность [9]: при одинаковой интенсивности внешнего елового потока с увеличением объемной массы (плотности) древесины независимо от ее вида возрастают время задержки до воспламенения и значение критического теплового потока воспламенения образцов. С увеличением плотности теплового потока время задержки воспламенения снижается.

Влияние продолжительности естественного старения элементов еловых деревянных конструкций на показатели воспламенения демонстрирует табл. 4 [11].

Таблица 4

Показатели воспламеняемости древесины ели в зависимости от срока службы деревянных строений [11]

№ п/п	Порода древесины, возраст	q_e , кВт/м ²	τ_b , с.	$q_{кр}^B$, кВт/м ²	$МСВ_{max}$, г/м ² ·с.
1	Ель современная (Вологодская область)	30	20	11,5	–
		40	7		–
		50	3		30,9
2	Деревянное нежилое строение (д. Демьяново), ель, 110 лет, южная сторона	30	26	13,2	–
		40	12		–
		50	6		31,9
3	Ель (жилой дом, Вологодский район, д. Семигоры), 150 лет, южная сторона	30	21	12,5	–
		40	9		–
		50	4		35,7

Из табл. 4 следует, что время задержки воспламенения каждого из образцов древесины зависит от интенсивности внешнего радиационного теплового потока. В одинаковых условиях испытания древесина ели 110-летнего периода эксплуатации показывает более высокие значения τ_b по сравнению с эталоном и образцом со 150-летним сроком эксплуатации.

Такая же тенденция наблюдается в отношении критической плотности теплового потока воспламенения $q_{кр}^B$. Однако, несмотря на некоторую задержку воспламенения, старение древесины приводит к увеличению максимальной массовой скорости выгорания $МСВ_{max}$, которая определяет максимальную скорость тепловыделения материала при пожаре. Подобный результат был получен также при изучении воспламеняемости древесины сосны сроком эксплуатации до 110 лет [10].

Изменения в химическом составе древесины при длительном естественном старении должны особенно сказываться на тех показателях пожарной опасности материалов, которые напрямую связаны с химией процесса горения. К таким показателям можно отнести дымообразующую способность и токсичность продуктов горения.

На рис. 3 представлены экспериментальные результаты оценки дымообразующей способности древесины сосны в зависимости от продолжительности естественного старения деревянных строений [9]. Дымообразующую способность определяли стандартным методом по ГОСТ 12.1.044-89 в режиме разложения и тления при внешнем радиационном тепловом потоке 20 кВт/м². Дымообразующая способность элементов деревянных конструкций старых строений меняется нелинейно с ростом срока службы. Как видно из рис. 3, наименьшим коэффициентом D_{max} обладают образцы сосны при эксплуатации деревянных строений 100–150 и 300–330 лет. Этот результат в целом согласуется с представленной выше динамикой изменения в процессе естественного старения других свойств древесины.

Токсичность продуктов горения оценивали по выходу наиболее опасных токсикантов при горении древесных материалов – монооксида и диоксида углерода (СО и СО₂). Особое внимание было уделено граничному режиму «пламенное горение – беспламенное горение», при котором наблюдается максимальный выход монооксида углерода. Этот режим реализуется при температурах 450–500 °С.

Как показывают результаты огневых испытаний, образцы древесины, естественно состаренной, имеют меньший выход монооксида углерода, чем древесины современной. Соответственно время достижения критических для человека концентраций монооксида углерода при горении древесины длительного срока эксплуатации повышается по сравнению с древесиной современной.

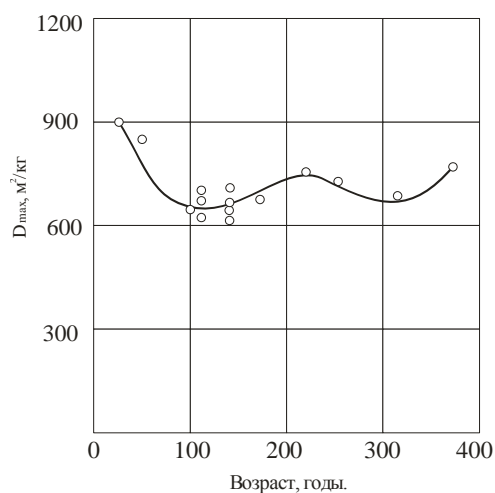


Рис. 3. Зависимость коэффициента дымообразования (D_{max}) древесины сосны от эксплуатационного возраста деревянных строений

Увеличение содержания лигнина в составе древесины усиливает обугливание и замедляет термораспад древесного материала. В режиме пламенного горения древесины независимо от ее эксплуатационного возраста происходит более полное сгорание горючих газов и интенсификация образования диоксида углерода (CO_2). При этом наибольший выход CO_2 наблюдается при горении древесины продолжительного срока эксплуатации по сравнению с древесиной современной.

На рис. 4 показано влияние плотности внешнего теплового потока на изменение токсичности продуктов горения сосновой древесины после длительного старения [9].

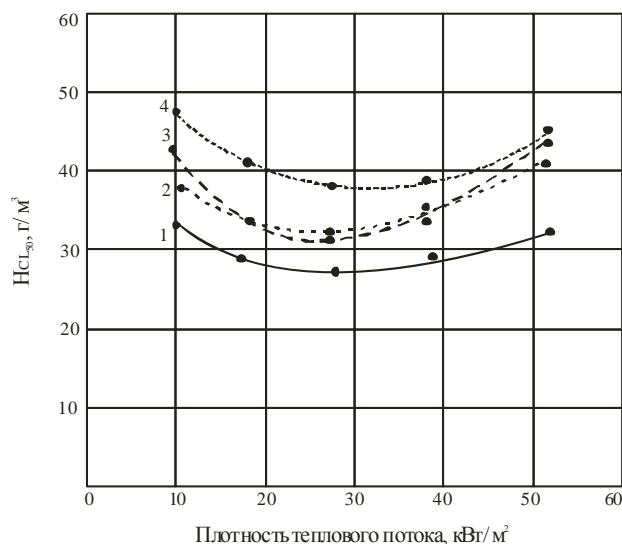


Рис. 4. Зависимость показателя токсичности продуктов горения древесины современной сосны, сосны естественно и искусственно состаренной от плотности теплового потока: 1 – сосна; 2 – сосна (1784), г. Кострома, памятник деревянного зодчества; 3 – сосна, 1830 г. (Дом Толстых); 4 – сосна искусственно состаренная (100–150 лет)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что исследуемые образцы древесины относятся к материалам высокоопасным по токсичности продуктов горения (группа ТЗ): показатель токсичности изменяется в пределах от 27 до 38 г/м³.

Кривые имеют экстремальный характер в связи с тем, что при определенной температуре наблюдается самовоспламенение образца, и значение НСL₅₀ увеличивается, что означает снижение токсичности продуктов горения. В режиме допламенного горения наблюдается наибольший выход монооксида углерода (СО). Режим допламенного горения для различных пород древесины находится в диапазоне внешнего радиационного теплового потока от 10 до 30 кВт/м². Меньшей токсичностью продуктов горения обладает хвойная древесина, эксплуатируемая в течение 100–150 лет.

Заключение. Результаты исследования в совокупности приводят к выводу, что процессы, протекающие при естественном старении древесины, являются довольно длительными. Они зависят от разновидности древесины, климатических местных условий эксплуатации деревянных строений и обусловлены сложным сочетанием термо- и фотоокислительных, гидролитических реакций разложения древесной субстанции. Изменение макроструктуры и химического состава древесных материалов при старении вызывает изменение характеристик пожарной опасности. При очень длительном естественном старении деревянных сооружений наблюдаемые трансформации древесной субстанции имеют нелинейный характер во времени, что сказывается на показателях пожарной опасности материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кистерная М.В., Козлов В.А.* Древесиноведческие аспекты сохранения исторических построек. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 133 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. *Исаева Л.Н., Брюханова Э.Б.* Физико-механические свойства и особенности анатомии древесины лиственницы сибирской из строения 230-летней давности // *Сборник трудов Института леса и древесины СО АН СССР.* – Красноярск, 1969.
4. *Пищик И.И., Фефилов В.В., Бурковская Ю.И.* О химическом составе и физических свойствах свежей и выдержанной древесины // *Известия вузов. Лесной журнал.* – 1971. – № 6. – С. 89-93.
5. *Покровская Е.Н.* Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений. Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 104 с.
6. *Эммануэль Н.М., Бучаченко А.Л.* Химическая физика старения и стабилизации полимеров. – М.: Наука, 1982. – 360 с.
7. *Попов А.А., Рапопорт Н.Я., Заиков Г.Е.* Окисление ориентированных и напряженных полимеров. – М.: Химия, 1987. – 232 с.
8. *Сивенков А.Б., Тарасов Н.И., Круглов Е.Ю., Лебедев А.Ю.* Влияние продолжительности эксплуатации древесины на ее пожарную опасность // *Российско-сербский научно-аналитический журнал «Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности».* – 2011. – Т. 1, № 1. С. 55-60.
9. *Асеева Р.М., Барботько С.Л., Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Сулейкин Е.В., Тарасов Н.И.* Влияние времени эксплуатации древесины на ее пожароопасные свойства // *Сборник X Международной конференции «Олигомеры-2009».* – Волгоград: ВГТУ, 2009. – С. 270-295.
10. *Сивенков А.Б.* Влияние возраста деревянных конструкций зданий на значения показателей их пожарной опасности // *Промышленное и гражданское строительство.* – 2012. – № 3. – С. 66-67.
11. *Алексеева Т.С., Сивенков А.Б., Тарасов Н.И.* Влияние срока эксплуатации жилых и нежилых деревянных строений на пожароопасные свойства древесины // *Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.* – 2011. – № 3. – С. 7-15.

12. *Пиццук И.И.* Датирование древесины длительной выдержки неразрушающими методами: Дисс. ... д-ра техн. наук. – М.: МГСУ, 2005.
13. *Пьядичев Э.В., Сивенков А.Б., Тарасов Н.И.* Термоокислительное разложение древесины различного эксплуатационного возраста // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2011. – № 4 (20). Режим доступа: <http://comobzor.ru/registers/media/pi-fs-77-36404-problemy-upravleniya-riskami-v-tehnosfere>.

REFERENCES

1. *Kistemaya M.V., Kozlov V.A.* Drevesinovedcheskie aspekty sokhraneniya istoricheskikh postroek [Drevesinovedenie aspects of the conservation of historic buildings]. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2007, 133 p.
2. *Varfolomeev Yu.A., Potutkin G.F., Shapovalova L.G.* Izmenenie svoystv drevesiny pri dlitel'noy ekspluatatsii (na primere pamyatnikov derevyannogo zodchestva Arkhangel'skoy obl.) [Changing properties of wood during long-term operation (for example, monuments of wooden architecture of the Arkhangel'sk region)], *Derevoobrabatvyayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1990, No. 10, pp. 28-30.
3. *Isaeva L.N., Bryukhanova E.B.* Fiziko-mekhanicheskie svoystva i osobennosti anatomii drevesiny listvennitsy sibirskoy iz stroeniya 230-letney davnosti [Physico-mechanical properties and characteristics of the anatomy of Siberian larch wood of the structure 230 years ago], *Sbornik trudov Instituta lesa i drevesiny SO AN SSR* [Proceedings of the Institute of forest and wood WITH an SSR]. Krasnoyarsk, 1969.
4. *Pishchik I.I., Fefilov V.V., Burkovskaya Yu.I.* O khimicheskom sostave i fizicheskikh svoystvakh svezhey i vyderzhannoy drevesiny [On the chemical composition and physical properties of the fresh and well-seasoned wood], *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Izvestiya vuzov. Forest magazine], 1971, No. 6, pp. 89-93.
5. *Pokrovskaya E.N.* Khimiko-fizicheskie osnovy uvelicheniya dolgovechnosti drevesiny. Sokhraneniye pamyatnikov derevyannogo zodchestva s pomoshch'yu elementoorganicheskikh soedineniy. Monografiya [Chemical-physical basis of increasing the durability of wood. The preservation of monuments of wooden architecture with the help of Organoelement compounds. Monograph]. Moscow: Izd-vo ASV, 2003, 104 p.
6. *Emmanuel' N.M., Buchachenko A.L.* Khimicheskaya fizika stareniya i stabilizatsii polimerov [Chemical physics of aging and stabilization of polymers]. Moscow: Nauka, 1982, 360 p.
7. *Popov A.A., Rapoport N.Ya., Zaikov G.E.* Okislenie orientirovannykh i napryazhennykh polimerov [Oxidation focused and intense polymers]. Moscow: Khimiya, 1987, 232 p.
8. *Sivenkov A.B., Tarasov N.I., Kruglov E.Yu., Lebedev A.Yu.* Vliyaniye prodolzhitel'nosti ekspluatatsii drevesiny na ee pozharuyu opasnost' [The effect of duration of use of wood for her fire danger], *Rossiysko-serbskiy nauchno-analiticheskiy zhurnal «Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti»* [Russian-Serbian scientific-analytical journal "Oversight and judicial review of security"], 2011, Vol. 1, No. 1, pp. 55-60.
9. *Aseeva R.M., Barbot'ko S.L., Serkov B.B., Sivenkov A.B., Suleykin E.V., Tarasov N.I.* Vliyaniye vremeni ekspluatatsii drevesiny na ee pozharoopasnye svoystva [The influence of time of use of wood for her fire hazard properties], *Sbornik X Mezhdunarodnoy konferentsii «Oligomery-2009»* [The proceedings of the X International conference "Oligomers-2009"]. Volgograd: VGTU, 2009, pp. 270-295.
10. *Sivenkov A.B.* Vliyaniye vozrasta derevyannykh konstruksiy zdaniy na znacheniya pokazateley ikh pozharoy opasnosti [The influence of the age of wooden structures on the values of their fire hazard], *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], 2012, No 3, pp. 66-67.
11. *Alekseeva T.S., Sivenkov A.B., Tarasov N.I.* Vliyaniye sroka ekspluatatsii zhilykh i ne-zhilykh derevyannykh stroeniy na pozharoopasnye svoystva drevesiny [The impact of lifetime residential and non-residential wood buildings on fire properties of wood], *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii* [Vestnik of Saint Petersburg University of state fire service of EMERCOM of Russia], 2011, No. 3, pp. 7-15.

12. *Pishchik I.I.* Datirovanie drevesiny dlitel'noy vyderzhki nerazrushayushchimi metodami: Diss. ... d-ra tekhn. nauk [Dating wood long exposures of non-destructive methods. Dr. of eng. sc. diss.]. Moscow: MGSU, 2005.
13. *P'yadichev E.V., Sivenkov A.B., Tarasov N.I.* Termookislitel'noe razlozhenie drevesiny razlichnogo ekspluatatsionnogo vozrasta [Thermal-oxidative decomposition of wood of various operational age], *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* [Problems of Risk Management in the Technosphere, 2011, No. 4 (20). Available at: <http://comobzor.ru/registers/media/pi-fs-77-36404-problemy-upravleniya-riskami-v-tehnosfere>].

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Петров.

Асеева Роза Михайловна – Академия ГПС МЧС России; e-mail: aseevarm@yandex.ru; г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; тел.: 84956172626; кафедра ПБС; д.х.н.; профессор; заслуженный деятель науки РФ.

Серков Борис Борисович – e-mail: serkov@antip.ru; тел.: 84956172728; д.т.н.; профессор; начальник УНЦ ППБС; заслуженный работник высшей школы РФ.

Сивенков Андрей Борисович – e-mail: sivenkov01@mail.ru; тел.: +74956172977; ученый секретарь.

Aseeva Rosa Mikhailovna – Academy EMERCOM of Russia; e-mail: aseevarm@yandex.ru; 4, B. Galushkina street, Moscow, Russia; phone: +74956172626; the department of BSS; Honored Worker of Science; dr. of chem. sc.; professor.

Serkov Boris Borisovich – e-mail: serkov@antip.ru; phone: +74956172728; dr. of eng. sc.; professor; head of the UC BTS; Honored Worker of the Higher School of Russia.

Sivenkov Andrei Borisovich – e-mail: sivenkov01@mail.ru; phone: +74956172977; scientific secretary.

УДК 544.723.212

А.В. Жилыева, Т.Н. Мясоедова, Г.Э. Яловега

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

Показана возможность переработки опавшей листвы для получения сорбентов для очистки природных и сточных вод от нефтепродуктов. Экспериментальным путем подобрана температура синтеза сорбента, которая составила 500 °С. Методом энергодисперсионного флуоресцентного анализа изучен элементный состав исходного сырья (листвы) и синтезированного сорбента. Элементный состав обоих образцов включает Са, Fe, Zn, Mn, К, Си, Ti, As (по мере уменьшения концентрации). Изучены сорбционные характеристики полученных материалов и влияние условий термообработки листвы на свойства формируемого сорбционного материала. Адсорбционная активность образца, полученного при температуре 500 °С, составляет по йоду 48,26 %, а метиловому оранжевому – порядка 124,88 мг/г. Степень извлечения нефтепродуктов составляет 89–95 %. Для увеличения площади удельной поверхности проведено импрегнирование сорбента гидроксидом калия. Установлено, что КОН промотирует развитие поверхности пористой системы и увеличивает площадь удельной поверхности в 46 раз.

Растительное сырье; сорбент; адсорбционная активность; нефтепродукты.