

Guseva Alena Yurievna – Southern Federal University; e-mail: soleils@bk.ru; 2, Chehova street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371624; the department of technospheric safety, ecology and chemistry; postgraduate student.

Gusakova Natalia Vladimirovna – the department of technospheric safety, ecology and chemistry; cand. of ped. sc.; associate professor

Petrov Viktor Vladimirovich – e-mail: vvp2005@inbox.ru; Institute of management in economic, environmental and social systems; director of institute; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 699:694

**М.М. Альменбаев, О.В. Арцыбашева, Р.М. Асеева, Ж.К. Макишев,
В.А. Москалев, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков**

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ОБУГЛИВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Представлены результаты исследования параметров обугливания деревянных конструкций длительного срока эксплуатации в условиях различных температурных режимов огневого воздействия. Установлено существенное влияние продолжительности эксплуатации деревянных конструкций на значения скорости обугливания. Процесс естественного или искусственного старения древесины, как показывают результаты многочисленных исследований, не является одинаковым для разных пород древесины и условий эксплуатации, пока не поддается простейшему описанию и прогнозированию. Показано, что в процессе естественного старения химический состав древесины изменяется за счет легкогидролизуемых олиго- и полисахаридов, а также веществ, входящих в экстрактивную компоненту древесины. Эти изменения приводят к увеличению скорости обугливания древесины, что неизбежно отражается на снижении огнестойкости деревянных конструкций. Полученные результаты исследований в дальнейшем могут быть использованы в расчетных методиках оценки огнестойкости деревянных конструкций, теплотехнических расчетах прогрева деревянных конструкций, моделировании динамики развития горения и интенсивности нарастания опасных факторов пожара на объектах из древесины.

Деревянные конструкции; срок эксплуатации; обугливание; скорость обугливания; температурный режим пожара.

**M.M. Almenbaev, O.V. Artsybasheva, R.M. Aseeva, J.K. Makishev,
V.A. Moskaliev, B.B. Serkov, A.B. Sivenkov**

STUDY OF THE CHARRING RATE FOR LONG-LIFE WOODEN CONSTRUCTIONS

The article depicts results obtained in experimental studies of charring for long-life wooden constructions under various temperature conditions of flame impingement. The essential effect of wooden constructions running time on the charring rate is found. The natural or artificial wood aging, according to the research results, being not identical for different timber species and operating conditions, defies the simplest description and forecasting. It is shown that during the natural aging the chemical wood composition transforms by oligosaccharides and polysaccharides sensitive to hydrolysis, as well as by materials found in an extractive wood component. The above transformations result in the charring rate increase inevitably impacting on the combustibility of wooden constructions. The obtained research findings can be further used to estimate a fire-resistant property for wooden constructions, to perform thermotechnical calculations of wooden construction heating, to simulate the combustion dynamics and the increase rate of fire hazards on wooden objects.

Wooden constructions; lifetime; charring; charring rate; fire temperature conditions.

Введение. В мировой практике строительной индустрии древесина имеет широкое применение в качестве основного материала для несущих и ограждающих деревянных конструкций (ДК).

На сегодняшний день ДК применяют не только в малоэтажном домостроении, но и для строительства многоэтажных жилых домов, спортивных комплексов, многофункциональных и торгово-выставочных центров, складских, промышленных и сельскохозяйственных объектов [1].

В последнее время разработаны технические решения по строительству большепролетных сооружений с использованием клееных деревянных конструкций в качестве несущего каркаса. Построен ряд таких уникальных зданий с применением клееных деревянных конструкций, как: спортивно-зрелищное здание в г. Архангельск пролетом 63 метра; крытый каток в г. Тверь пролетом 58 метров; склад минеральных удобрений в морском порту в г. Санкт-Петербург пролетом 63 метра и высотой в коньке арок 45 метров.

Срок службы конструкций из древесины при правильной эксплуатации и своевременных текущих ремонтах может составлять 100 и более лет. Уникальными примерами длительной эксплуатации деревянных конструкций служат Преображенский храм на острове Кижи (1714 г.), Церковь Воскресения, Суздаль (1776 г.), Вознесенская кубоватая церковь, Село Кушерека, Онежского района, (1669 г.), Спасо-Преображенская церковь, XVIII в., г. Суздаль, церковь Спаса из села Фоминское, XVIII в., г. Кострома и другие.

Одним из главных требований, предъявляемых к конструкциям из цельной древесины и деревянным клееным конструкциям (ДКК) с ограждающими или несущими функциями, является обеспечение требуемых пределов огнестойкости. Важнейшим процессом, определяющим интенсивность снижения несущей способности деревянных конструкций в условиях пожара, является обугливание [2].

Обычно процесс обугливания древесины при огневом воздействии характеризуют такими параметрами, как скорость обугливания, толщина обугленного слоя и его усадка, реже – скорость потери массы. Физические свойства обугленного слоя исследуют в разных аспектах. Интерес представляют его теплофизические, теплоизолирующие характеристики, пористая структура, проницаемость, электрическое сопротивление и др.

Параметры обугливания древесины и материалов на ее основе зависят от условий огневого воздействия, так как они определяют режим нагрева материала, скорость его пиролиза и обугливания. Для сравнения поведения древесины разных пород и материалов на ее основе по параметрам обугливания используют разные стандартные методы нагрева. В частности, методы, в которых реализуются следующие режимы: стандартный температурно-временной пожар; действие внешнего радиационного теплового потока постоянной плотности; действие окружающей среды с постоянной температурой [3].

В последние десятилетия в мире проводились активные работы по изучению параметров процесса обугливания конструкций из цельной древесины и ДКК [4–6]. Эти работы стали основой для прогнозирования поведения ДК при пожаре, а также расчетной оценки пределов их огнестойкости. К сожалению, ряд вопросов в области огнестойкости ДК остаются фактически не изученными, в том числе влияние продолжительного естественного старения на интенсивность процесса обугливания древесины.

Немногочисленные исследования процесса старения древесины свидетельствуют о том, что в ней происходят существенные физико-химические изменения, оказывающие влияние на ее эксплуатационные характеристики [7, 8].

Значительные изменения физико-химических свойств древесины в условиях продолжительного естественного старения должны сказываться на показателях процесса обугливания, характеризующих огнестойкость ДК [9].

В связи с вышесказанным, в настоящей работе необходимо было установить влияние продолжительного естественного старения ДК на значения скорости их обугливания.

Объекты и методы исследования. Для проведения экспериментальных исследований были отобраны образцы элементов ДК на существующих объектах, расположенных в Брянской и Вологодской области, а также в Республике Марий Эл, имеющих срок эксплуатации от 12 до 150 лет.

Оценка скорости обугливания элементов ДК проводилась с использованием следующих установок:

- ♦ установки по оценке воспламеняемости строительных материалов по ГОСТ 30402-96 [10] при воздействии внешнего теплового потока интенсивностью 20 кВт/м² в течение 20 минут с размерами образцов 165x165x20 мм;
- ♦ маломасштабной установки с размерами образцов 150x150x30 мм и обеспечением стандартного температурного режима пожара в течение 20 мин:

$$t_{ст.} = 345 \cdot \lg(8\tau + 1) + t_0, \quad (1)$$

где $t_{ст.}$ – температура, °С; τ – время испытаний, мин.; t_0 – начальная температура, °С.

Кроме того, для огневых испытаний были отобраны несущие деревянные балки памятника архитектуры – церкви Николая Чудотворца (Брянская область), из-за ветхости, пошедшей под снос (рис. 1). Год постройки объекта 1865 г. Размеры сечения балок составили 220x120 мм с длиной 3 метра. Продолжительность испытания в условиях стандартного температурного режима пожара была принята 45 мин. Сравнение параметров обугливания в этом случае проводилось с деревянными балками из древесины сосны.



Рис. 1. Общий вид несущей деревянной балки церкви Николая Чудотворца (Брянская область), 1865 г. постройки

Для запуска маломасштабной огневой печи была использована газовая горелка и для ее поджига газовый факел с отдельным приводом газа. Подача газа в огневую камеру производилась по газопроводу. Регулировка расхода подаваемого газа в огневую камеру осуществлялась с помощью газового крана.

В стенках огневой камеры предусмотрены отверстия, предназначенные для установки термопар контрольно-измерительной аппаратуры. Для измерения температуры на поверхности образца использовались 6 лепестковых термопар типа хромель – алюмель. Термопары подсоединялись к контрольно-измерительному прибору «Элемер», подключенному к персональному компьютеру для регистрации показаний.

Результаты исследования и обсуждение. Процесс естественного или искусственного старения древесины, как показывают результаты многочисленных исследований, не является одинаковым для разных пород древесины и условий эксплуатации, пока не поддается простейшему описанию и прогнозированию. Основной причиной сложности изучения процесса естественного старения древесины является многочисленная вариативность условий ее эксплуатации и изменения физико-химических свойств. Становится очевидным, почему имеющиеся результаты исследований процесса старения древесины показывают во многом противоречивый характер. В основе изучения старения древесины лежали главным образом вопросы изучения изменяемости во времени физико-механических характеристик древесины, ее химического и элементного составов, объемной массы, содержания поздней древесины и других свойств [7, 11].

Подобные исследования приобретают все большую актуальность и практическую значимость в решении проблемы обеспечения долговечности конструкций из древесины, эффективного проведения работ по реконструкции памятников деревянного зодчества.

При эксплуатации в естественных условиях древесина подвергается окислительному и гидролитическому разрушению под действием влаги, ускоряющемуся в присутствии веществ кислого характера [12]. Этот процесс затрагивает, прежде всего, углеводную часть древесины. В результате происходит частичное разрушение макромолекул целлюлозы с образованием водорастворимых веществ, что снижает прочность древесины.

Длительное воздействие на древесину кислорода, света (фотохимическая деструкция) и ферментов приводит к разрыву полимерных цепей полисахаридов. При этом гемицеллюлозы, имеющие невысокую по сравнению с целлюлозой степень полимеризации, являются наиболее уязвимым компонентом углеводной части древесины [12].

О зависимости деструктивных процессов в еловой древесине от расположения взятых проб относительно частей света можно судить по ранее полученным результатам химического анализа (табл. 1) [13].

Таблица 1

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

Результаты исследования показывают, что содержание целлюлозы с увеличением срока эксплуатации до 150 лет уменьшается, а содержание лигнина возрастает (табл. 1). 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 %.

Таким образом, в результате естественного старения происходит значительное изменение химического состава древесины. Особенно изменяется содержание высокомолекулярных полисахаридов – целлюлозы в случае хвойных пород древесины. При этом наблюдается увеличение относительного содержания лигнина, более устойчивого к гидролитическим деструктивным процессам, чем гемицеллюлоза и целлюлоза.

Скорость обугливания и толщина обугленного слоя за весь период действия пожара рассчитаны как средние арифметические значения 3-х повторных испытаний образцов древесины каждого вида.

При стандартном пожаре начало активного обугливания образцов наблюдается через 4–5 мин с момента испытания. Скорость обугливания образцов древесины после момента самовоспламенения возрастает до максимального значения и затем замедляется. Для сравнения были использованы максимальные значения скорости обугливания.

В табл. 2 приведены значения толщины (δ_k), скорости обугливания (v) и плотности обугленных слоев (ρ_k).

Таблица 2

Влияние естественного старения древесины на параметры обугливания

Образец, объект, срок службы	δ_k , мм	v , мм/мин	ρ_k , кг/м ³
Ель (Вологодская область)	23	1,15	225
Сосна (Вологодская область)	19	0,95	268
Ель, деревянное нежилое строение (д. Лябзунка), 60 лет	22	1,4	223
Ель, деревянное нежилое строение (д. Левино), 90 лет	24	1,55	214
Ель, деревянное нежилое строение, (д. Демьяново), 110 лет	26	1,63	213
Ель, нежилое строение, Вологодская область, 150 лет	27	1,72	212
Сосна, нежилое строение, республика Марий Эл, 12 лет	24	1,1	254
*Сосна, то же, 12 лет, $q_e = 20$ кВт/м ²	19	0,95	278
Сосна, то же, 48 лет	25	1,25	249
Сосна, то же, 59 лет	26	1,3	242
Сосна, то же, 88 лет	25	1,34	237
*Сосна, то же, 88 лет, $q_e = 20$ кВт/м ²	20	1,0	256
Сосна, то же, 113 лет	30	1,5	217
Сосна, нежилое строение, Вологодская область, 150 лет	26	1,5	212
Сосна, несущая деревянная балка, церковь Николая Чудотворца (Брянская область), 149 лет	58,5	1,3	215
Сосна, несущая деревянная балка	31,5	0,7	258

Примечание: * образцы древесины подвергали воздействию внешнего радиационного теплового потока постоянной плотности $q_e = 20$ кВт/м² в течение 20 мин по ГОСТ 30402-96.

Сравнение значений скорости обугливания, а также толщины образующегося обугленного слоя при стандартном пожаре и действии радиационного теплового потока постоянной плотности показывает, что в более жестких условиях огневого воздействия процесс обугливания древесины ускоряется. С увеличением срока эксплуатации деревянных строений до 150 лет в результате естественного старения элементов строительных конструкций также наблюдается увеличение скорости обугливания в режиме стандартного температурного пожара (рис. 2).

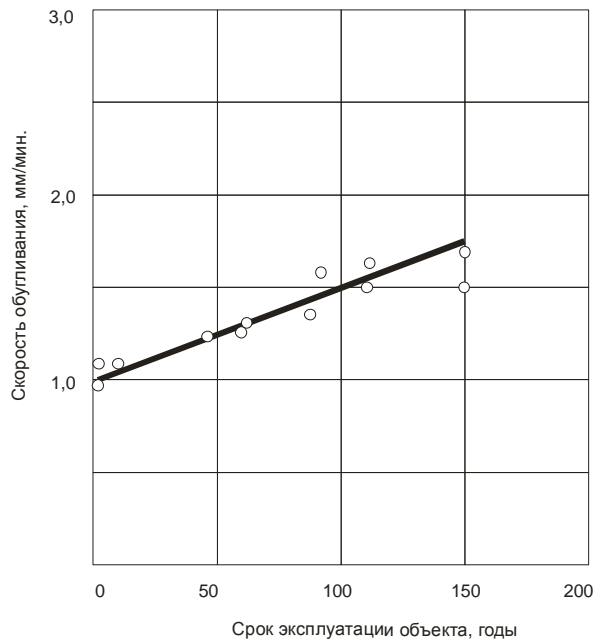


Рис. 2. Влияние естественного старения деревянных строений на скорость обугливания древесины (ель, сосна) при стандартном пожаре

Наблюдаемый рост скорости обугливания и толщины угольного слоя главным образом связан с увеличением содержания в хвойной древесине лигнина в результате естественного старения материала. Плотность коксовых слоев на поверхности образцов еловой древесины практически одинакова и не зависит от продолжительности старения. Однако в случае 150-летней эксплуатации сосновых конструкций заметно ее снижение (с 256 до 212 кг/м³). Это служит указанием на увеличение пористости кокса.

Заключение. Результаты испытаний показывают существенное влияние продолжительности эксплуатации деревянных конструкций на значения скорости обугливания. Показано, что в процессе естественного старения химический состав древесины изменяется за счет легкогидролизуемых олиго- и полисахаридов, а также веществ, входящих в экстрактивную компоненту древесины. Эти изменения приводят к увеличению скорости обугливания древесины, что неизбежно отражается на снижении огнестойкости деревянных конструкций. Это обусловлено повышенным содержанием ароматической составляющей лигноуглеводного комплекса древесины – лигнина.

Так при увеличении срока эксплуатации древесины происходит увеличение толщины обугливания в 2-3 раза, а скорость обугливания возрастает с 0,75 до 1,0 мм/мин в условиях огневых испытаний на установке по ГОСТ 30402-96.

Расхождение значений параметров обугливания в условиях испытаний на различных установках обусловлено фактором масштабности испытуемых образцов, особенностями конструктивного исполнения огневых установок, а также отличием температурных режимов, при которых были испытаны образцы. Различия между результатами оценки параметров обугливания на установке по ГОСТ 30402-96 и на маломасштабной огневой установке составляют не более 10 %.

Полученные результаты исследований в дальнейшем могут быть использованы в расчетных методиках оценки огнестойкости деревянных конструкций, теплотехнических расчетах прогрева деревянных конструкций, моделировании динамики развития горения и интенсивности нарастания опасных факторов пожара на объектах из древесины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. – 336 с.
2. Арцыбашева О.В., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Современные тенденции в области огнестойкости деревянных зданий и сооружений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 8 (145). – С. 178-196.
3. Ройтман В.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Шевкуненко Ю.Г., Баринаева Е.Л., Приступок Д.Н. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 350 с.
4. White R.H., Nordheim E.V. Charring Rate of Wood for ASTM E 119 Exposure // Fire Technology. – 1992. – Vol. 28, No. 1. – P. 5-30.
5. Vytenis Babrauskas. Wood char depth: interpretation in fire investigations. (Presented at International Symposium on Fire Investigation, Fire Service College, Moreton-in-Marsh, United Kingdom, 28 June 2004. – 12 p.
6. Харитонов В.С., Хмелидзе В.С. Поведение клееных деревянных балок в условиях стандартного пожара // Огнестойкость строительных конструкций и обеспечение пожарной безопасности людей и материальных ценностей: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – С. 40-47.
7. 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.
8. Пищик И.И. Датирование древесины длительной выдержки неразрушающими методами: Дисс. ... д-ра техн. наук. – М.: МГСУ, 2004.
9. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings // Germany: Springer Series in Wood Science, Springer. – 2014. – 280 p.
10. ГОСТ 30402-96 Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
11. 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.
12. Нелепина Ю.Н. Химия и технология целлюлозы // Сборник статей. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1974. – 385 с.
13. 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.

REFERENCES

1. Koval'chuk L.M. Proizvodstvo derevyannykh kleenykh konstruksiy [The production of glulam structures]. Moscow: OOO RIF «Stroymaterialy», 2005, 336 p.
2. Artsybasheva O.V., Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Sovremennye tendentsii v oblasti ognestoykosti derevyannykh zdaniy i sooruzheniy [Modern trends in the field of fire resistance of wooden buildings and structures], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 8 (145), pp. 178-196.

3. *Roytman V.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B., Shevkunenko Yu.G., Barinova E.L., Pristupyuk D.N.* Zdaniya, sooruzheniya i ikh ustoychivost' pri pozhare [Buildings, structures and their stability in case of fire]. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii, 2013, 350 p.
4. *White R.H., Nordheim E.V.* Charring Rate of Wood for ASTM E 119 Exposure, *Fire Technology*, 1992, Vol. 28, No. 1, pp. 5-30.
5. *Vytenis Babrauskas.* Wood char depth: interpretation in fire investigations. (Presented at International Symposium on Fire Investigation, Fire Service College, Moreton-in-Marsh, United Kingdom, 28 June 2004, 12 p.
6. *Kharitonov V.S., Khmelidze V.S.* Povedenie kleenykh derevyannykh balok v usloviyakh stan-dartnogo pozhara [The behavior of laminated wooden beams in the conditions of the standard fire], *Ognestoykost' stroitel'nykh konstruksiy i obespechenie pozharoy bezopasnosti lyudey i material'nykh tsennostey: Sb. nauch. tr.* [Fire resistance of building structures and fire safety of people and material values: Proceedings of the]. Moscow: VNIPO MVD SSSR, 1989, pp. 40-47.
7. *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 Arkhangelsk region)], *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1990, No. 10, pp. 28-30.
8. *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, 2004.
9. *Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B.* Fire Behavior and Fire Protection in Timber Buildings, *Germany: Springer Series in Wood Science, Springer*, 2014. 280 p.
10. GOST Materialy stroitel'nye. Metod ispytaniya na vosplamenyayemost' [State Standard 30402-96. Materials of construction. Test method for Flammability]. Moscow: Izd-vo standartov, 1996.
11. *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.
12. *Nelepina Yu.N.* Khimiya i tekhnologiya tsellyulozy [Chemistry and technology cellulose], *Sbornik statey* [Collected papers]. Leningrad: Izd-vo Leningradskogo universiteta, 1974, 385 p.
13. *Alekseeva T.S., Sivenkov A.B., Tarasov N.I.* Vliyanie sroka ekspluatatsii zhilykh i nezhilykh 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.

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

Альменбаев Миржан Маратович – ФПНПК академии ГПС МЧС России; e-mail: make_kz1986@mail.ru; г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; тел.: 84956172626; адъюнкт.

Асеева Роза Михайловна – кафедра ПБС; д.х.н.; профессор; заслуженный деятель науки РФ.

Арцыбашева Ольга Владимировна – e-mail: olga.artsybasheva@yandex.ru; адъюнкт.

Макишев Жандос Куандыкович – e-mail: makishev_jkkti@mail.ru; адъюнкт.

Серков Борис Борисович – тел.: 84956172728; д.т.н.; профессор; начальник УНЦ ППБС академии ГПС МЧС России, заслуженный работник высшей школы РФ.

Сивенков Андрей Борисович – e-mail: sivenkov01@mail.ru; тел.: 84956172977; ученый секретарь Совета Академии ГПС МЧС России.

Москалев Владимир Анатольевич – Управление надзорной деятельности ГУ МЧС России по Брянской области; 241022, г. Брянск, ул. Володарского, 62а; тел.: 84832262254; начальник отдела надзорной деятельности по Володарскому району г. Брянска.

Almenbaev Mirzhan Maratovich – FPNPK Academy of EMERCOM of Russia; e-mail: make_kz1986@mail.ru; 4 B. Galushkina street, Moscow, Russia; phone: +74956172626; associate.

Aseeva Rose Mikhailovna – the department of BSS; dr. of chem. sc.; professor; honored worker of science.

Artsybasheva Olga Vladimirovna – e-mail: olga.artsybasheva@yandex.ru; associate.

Makishev Zhandos Kuandykovich – e-mail: makishev_jkkti@mail.ru; associate.

Serkov Boris Borisovich – phone: +74956172728; dr. of eng. sc.; professor; head of the UC BTS Academy of EMERCOM of Russia; Honored Worker of the Higher School of Russia.

Sivenkov Andrei Borisovich – e-mail: sivenkov01@mail.ru; phone: +74956172977; scientific secretary of the Council of the Academy of EMERCOM of Russia.

Moskalev Vladimir Anatol'evich – Office of EMERCOM of Russia in the Bryansk region; 62a, Volodarskogo street, Bryansk, 241022, Russia; phone: +74832262254; head of the supervisory activities Volodarsky region of Bryansk oversight activities.

УДК 541.13:547.992.3.001.73

А.Г. Абрамова, О.В. Попова, З.Х. Таркоева

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА
ВЫСОКОРЕАКЦИОННОСПОСОБНОГО ПОЛИМЕРА НА ОСНОВЕ
ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА**

Модифицированные лигнины, содержащие в составе многочисленные функциональные группы, применяются в качестве высокорекреационных ингредиентов полимеров и функциональных добавок. Модифицирование лигнина достигается путем хлорирования в 20 % растворе соляной кислоты электрохимическим методом на графитовом аноде в режиме корректирования электролита, что позволяет значительно экономить соляную кислоту и снижает нагрузку на окружающую среду. Исследована динамика изменения концентрации ионов хлора в электролите хлорирования, содержания хлора и карбоксильных групп в модифицированных лигнинах. Установлено, что уменьшение концентрации хлора в электролите примерно в 2 раза после последовательного проведения синтезов не приводит к значительному понижению содержания функциональных групп в хлорированных лигнинах, но требует увеличения длительности электролиза. Для получения хлорированного лигнина с относительно стабильным содержанием функциональных групп и в целях экономии электроэнергии предложено корректировать электролит после проведения каждого из синтезов путем добавления к отработанному электролиту расчетного количества концентрированной соляной кислоты.

Гидролизный лигнин; хлорированный лигнин; электрохимический синтез; корректирование электролита; ресурсосбережение.

A.G. Abramova, O.V. Popova, Z.Ch. Tarkoeva

**RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF HYDROLYZED LIGNIN-
BASED HIGH-REACTIVE POLYMERS SYNTHESIS**

Modified lignins containing multiple functional groups are used as high-reactive polymer and functional additive ingredients. Lignin is modified by chlorinating in 20% hydrochloric acid applying the electrochemical method with a graphite anode and bath maintenance. This method offers considerable savings in hydrochloric acid and reduces negative environmental impact. The dynamics of chloride ion concentration in the chlorination electrolyte, chlorine and carboxy group content in the modified lignins is explored. It has been established that chloride reduction in half in electrolyte following the subsequent syntheses does not result in insignificant functional group