

Огнезащита тонкомерных элементов кровли из осины и сосны

А.Ю. Борисов, заместитель директора¹,

Г.Н. Колесников, заведующий кафедрой, профессор, д-р техн. наук²

¹ООО «Энергоэффективное домостроение», г. Петрозаводск

²Петрозаводский государственный университет, Институт лесных, инженерных и строительных наук г. Петрозаводск

e-mail: kgn@petrsu.ru; balexy13@yandex.ru

Ключевые слова:

пожарная безопасность,
огнезащита древесины,
огнезащитная эффективность,
скорость горения.

Выполнено экспериментальное исследование влияния породы древесины на продолжительность сгорания тонкомерных осиновых и сосновых образцов, поверхность которых обработана водным раствором натриевого жидкого стекла в интервале его концентрации от 0 до 20% с шагом 1%. Установлено, что обработка образцов дранки из древесины осины увеличивает продолжительность их полного сгорания с 89 с до 300 с (в 3,90 раза). Такая же обработка образцов дранки из древесины сосны увеличивает продолжительность их полного сгорания с 180 с до 700 с (в 3,37 раза). При использовании натриевого жидкого стекла в качестве огнезащитного вещества наиболее приемлем его 14%-ный водный раствор. По результатам анализа установлено, что скорость сгорания осиновых образцов больше, чем сосновых. Это согласуется с ранее известными данными. Продолжительность полного сгорания испытанных образцов сосновой дранки без огнезащиты составляет 180 с, а таких же по форме и размерам образцов осиновой дранки без огнезащиты в 2,02 раза меньше. Кроме того, установлено, что продолжительность полного сгорания образцов сосновой дранки с огнезащитой составляет 700 с, а осиновой дранки с такой же огнезащитой в 2,33 раза меньше. Для объяснения выявленных различий сформулирована гипотеза: в пересчете на единицу массы продолжительность стадии пиролиза, а значит, и горения, пропорциональна количеству экстрагируемых веществ, содержащихся в древесине. Физическая адекватность сформулированной гипотезы и достоверность численного результата подтверждены согласованностью с измерениями времени полного сгорания осиновых и сосновых образцов с огнезащитой их поверхности.

1. Введение

Одно из направлений обеспечения безопасности в техносфере заключается в совершенствовании систем, технологий и способов обеспечения пожарной безопасности, в том числе несущих и ограждающих конструкций зданий [1]. В связи с этим появляется ряд задач, в том числе защита конструкций из древесины от возгорания, которые рассматриваются в данной работе. Прикладные исследования, ориентированные на решение данной задачи, сохраняют свою актуальность на протяжении всей истории применения древесины в качестве строительного материала. К насто-

ящему времени в научной литературе представлен и обобщен большой объем результатов таких исследований [1], анализ и применение которых позволяет обосновывать новые экологически безопасные технические и технологические решения с лучшими технико-экономическими характеристиками. Однако вопросы огнезащиты тонкомерных элементов из древесины требует продолжения исследований.

Применительно к данной работе актуальность названных выше задач объясняется тем, что «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года» в качестве одного

из направлений развития определяет разработку и организацию промышленного производства ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий заготовки и переработки древесины [http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc; base=LAW; n=99108]. В данном документе определен ряд направлений, в числе которых предусмотрено развитие промышленного производства комплектов деревянных домов, их деталей и материалов. Предполагается, что доля деревянных домов в общем вводе жилья должна вырасти к 2020 г. до 2%. Поэтому возрастает актуальность задач обеспечить безопасную эксплуатацию конструкций из древесины.

В данной работе рассматривается одна из таких задач, связанная с использованием древесины осины и сосны в кровле. Обзор работ, относящихся к данной области прикладных исследований, приведен в [2, 3], в которых рассмотрены разновидности деревянной кровли, при этом внимание авторов сфокусировано на конструкциях кровли из дранки. В России такие виды кровли получили широкое распространение во второй половине XIX в. Относительная простота конструкций и монтажа, небольшая масса и низкая стоимость сырья способствовали повсеместному использованию дранки в качестве кровельного материала для крыш. При регулярном обслуживании — периодической обработке дегтем с целью улучшения водоотталкивающих свойств — такие крыши могли эксплуатироваться до 25 лет. Свойства древесины осины определили основной принцип ее использования в конструкциях кровли — при увлажнении дощечки дранки разбухают, увеличиваясь в размерах, плотно закрывая щели и трещины. При улучшении температурно-влажностных условий они, высыхая, слегка изгибаются, обеспечивая полное проветривание подкровельного пространства и отвод влаги. Наряду с осиной для изготовления дранки используют сосну.

Дранка по принципу монтажа сходна с деревянной черепицей, но представляет собой тонкие дощечки (почти щепу) с размерами — ширина 7–15 см, длина 30–50 см, толщина 5 мм. Дранка укладывается в 4–5 слоев. В литературе достаточно подробно рассмотрены вопросы изготовления [3] и схемы раскладки дранки [2, 3].

В отличие от других деревянных кровельных покрытий дранка быстрее высыхает и лучше вентилируется ввиду небольшой толщины, что является, с одной стороны, преимуществом, а с другой — существенным недостатком, поскольку при попадании искр на сухую, хорошо проветриваемую конструкцию возникало воспламенение. В России были частыми пожары, справиться с которыми помог только комплекс мер по развитию огнестойкого строитель-

ства. Предписания по использованию огнеупорных материалов в строительстве привели к запрету использования дранки и соломы в крышах [5, с. 160]. На отказ от использования дранки в конструкциях кровли повлияла также ее подверженность биохимическому разрушению. К такому разрушению в большинстве случаев приводило применение гвоздей в качестве основных монтажных элементов крепления кровельного материала. Из-за перепада температуры и изменения влажности древесина циклически деформируется, вследствие чего отверстие от забитого гвоздя увеличивается, а на поверхности металлического гвоздя образуется конденсат. В итоге сталь подвергалась коррозии, а древесина гнивала, что впоследствии приводило к разрушению кровли.

В начале 1930-х годов предпринимались попытки модернизировать технологию использования дранки в качестве кровельного материала. Был предложен и запатентован ряд технических решений [2]. «В настоящее время к конструкционным отделочным и облицовочным древесным материалам предъявляют требования не только в отношении их пожарной и санитарно-экологической безопасности, но и технологичности, а также эстетической декоративности. Поэтому растет интерес к новым эффективным средствам огнезащиты древесины, позволяющим в нормальных условиях эксплуатации сохранять внешний вид, красоту и фактуру природного материала. Особенно это важно в отношении сохранения и защиты архитектурных памятников древнего деревянного зодчества» [6, с. 4].

Примеры применения древесины как кровельного материала в современных зданиях рассмотрены в [2]. В Канаде, США, Германии и Австрии кровли из дерева широко распространены. В России наиболее яркими примерами общественных построек новейшего времени с использованием деревянной черепицы могут служить гольф-клуб «Сколково» и офис компании «Яндекс» [2]. С учетом увеличения объемов применения конструкций и строительных материалов из древесины проблема обеспечения их безопасного использования и защиты от возгорания сохраняет свою актуальность.

Цель данной работы следующая: исследование отдельных закономерностей, которых необходимо учитывать для предупреждения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации конструкций из древесины. Для достижения цели выполнено экспериментальное исследование влияния породы древесины на продолжительность сгорания тонкомерных образцов, поверхность которых обработана водным раствором огнезащитного вещества в интервале его концентрации от 0 до 20% с шагом 1%. Анализ результатов выполнен с учетом их связи с другими известными

из литературы данными о пожарной опасности и эффективности огнезащиты.

2. Материалы, методы и результаты исследования

В качестве объекта исследования выбраны мало-размерные образцы осиновой и сосновой дранки. Использованы экспериментальные методы исследования, в том числе анализ результатов экспериментов, поиск закономерностей поведения образцов при воздействии открытого пламени, обоснование рекомендаций по применению результатов исследования.

Как известно, в случае термически тонких образцов скорость распространения пламени обратно пропорциональна толщине материала. Поэтому, принимая во внимание небольшую толщину дранки (примерно 5 мм), следует сосредоточить внимание как на предотвращении причин возгорания, так и на продолжительности полного сгорания образцов дранки. При этом появляется проблема согласованности испытаний образцов дранки с требованиями стандартов. Например, согласно пункту 6.1.2.1 ГОСТ Р 53292–2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний» образцы должны быть изготовлены из прямослойной воздушно-сухой древесины сосны с влажностью 8–15% в виде прямоугольных брусков с поперечным сечением 30x60 мм и длиной вдоль волокон 150 мм, отклонение от размеров не должно превышать 1 мм. Интерпретация испытаний таких образцов применительно к оценке эффективности огнезащитных веществ для дранки толщиной, например 5 мм, представляет значительную трудность, поскольку начальная масса и размеры образца могут оказывать значительное влияние на конечный результат испытаний. Схожая проблема появляется, например, при определении группы горючести образцов защищенной древесины с огнезащитой [3]. Анализ литературы по затронутой проблеме подтверждает методологически важный вывод А.Б. Сивенкова [6, с. 4] о том, что «существующая и используемая база

экспериментальных данных о древесине как таковой, лежащих в основе прогноза ее поведения в условиях пожара, моделирования динамики развития пожара и вероятности наступления опасных ситуаций на объектах из древесины, очень ограничена».

С учетом изложенных выше замечаний представляется интересно сравнить результаты испытаний огнезащиты образцов дранки, имеющих одинаковые размеры и форму, но отличающихся только породой древесины. Одна группа образцов была изготовлена из осины, другая — из сосны. В качестве огнезащитного состава использовался раствор жидкого натриевого стекла. Каждая группа содержала контрольную подгруппу из 3 образцов без огнезащиты и 20 подгрупп таких же образцов, но обработанных водным раствором жидкого стекла с концентрацией $C = 0,01$ (1%, подгруппа 1), $C = 0,02$ (2%, подгруппа 2) и так далее, до $C = 0,2$ (20%, подгруппа 20). Каждый образец подвергался воздействию пламени газовой горелки. Температура пламени 800 °С, температура на поверхности образца примерно 400 °С. Образцы имели форму параллелепипедов, усредненные размеры которых для сосны: 38,7×23,4×4,4 мм; для осины: 40,8×25,4×5,4 мм (рис. 1). Среднее значение массы сосновых образцов 2,27 г, осиновых — 2,30 г. По результатам измерений средняя плотность осиновых образцов составила 420 кг/м³, что согласуется с известным интервалом значений плотности от 399 до 436 кг/м³ [7, с. 797]. Средняя плотность сосновых образцов составила 570 кг/м³, что также соответствует известным данным.

Измерялось суммарное время прогрева и полного сгорания каждого образца. Результаты испытаний приведены в графической форме на рис. 2. На данном рисунке приведена зависимость времени t сгорания от концентрации C указанного раствора.

Анализ результатов испытаний (рис. 2) приводит к следующим выводам.

Обработка образцов дранки из древесины осины увеличивает продолжительность их полного сгорания с 89 с до 300 с (в 3,37 раза). Такая же обработка

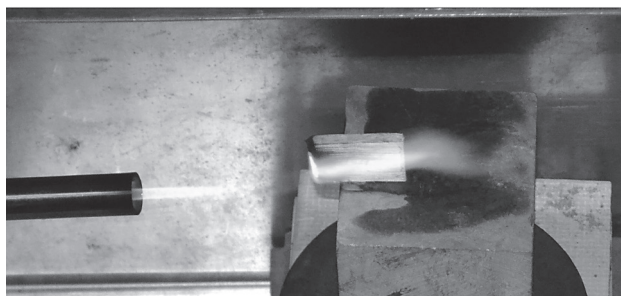


Рис. 1. Воздействие пламени газовой горелки на образец

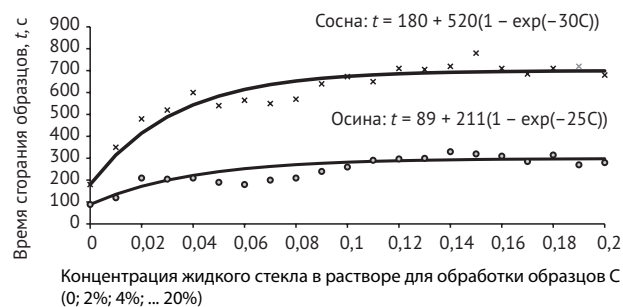


Рис. 2. Время полного сгорания образцов древесины осины и сосны в зависимости от концентрации водного раствора жидкого стекла для обработки поверхности образцов

образцов дранки из древесины сосны увеличивает продолжительность их полного сгорания с 180 с до 700 с (в 3,89 раза).

С увеличением концентрации раствора жидкого стекла, использованного для обработки поверхности образцов, время их полного сгорания возрастает. Однако, если данная концентрация превышает 14%, то время полного сгорания образцов почти не изменяется. Следовательно, при использовании жидкого стекла в качестве огнезащитного вещества следует рекомендовать 14%-ный его раствор.

Время полного сгорания образцов осинового и соснового дранки с огнезащитой составило, соответственно, 5 мин и 11 мин 40 с.

Открытыми остаются два вопроса. Как объяснить, что скорость сгорания осинового образцов больше, чем сосновых, а именно, продолжительность полного сгорания образцов сосновой дранки без огнезащиты составляет 180 с, а осинового дранки без огнезащиты только 89 с, т.е. в $180/89=2,02$ раза меньше? Как объяснить, что продолжительность полного сгорания образцов сосновой дранки с огнезащитой составляет 700 с, а осинового дранки с такой же огнезащитой только 300 с, т.е. в $700/300=2,33$ раза меньше? Принимая во внимание сложность физико-химического процесса горения, ответы на данные вопросы сформулируем в форме гипотезы, опираясь на известные из литературы теоретические и экспериментальные данные о механизме и моделях горения и на логическую их связь с результатами наших испытаний (рис. 2).

Вспользуемся моделью горения древесины из [6]. Как отмечено выше, в случае термически тонких образцов, к которым относятся образцы дранки, скорость распространения пламени обратно пропорциональна толщине материала. Температура не повышается мгновенно по всему объему образца. Даже для термически тонкого образца после старта огневого воздействия прогреваются раньше других поверхностные слои материала образца. Поэтому в течение некоторого относительно небольшого времени в твердой фазе материала существует зона пиролиза, в которую воздух почти не поступает, т.е. имеет место пиролиз в инертной среде. Но как известно из [6], в инертной среде пиролиз древесины в интервале температуры 330–400 °С протекает с поглощением тепла. Таким образом, если в начальной стадии пиролиза устранить внешний источник тепла (например, выключить газовую горелку), то пиролиз замедлится и прекратится. Такая ситуация наблюдалась при испытании образцов с огнезащитой раствором жидкого стекла: на начальной стадии испытания распространение пламени по поверхности образцов прекращалось, если газовая горелка выключалась.

Продолжение огневого воздействия на образцы приводит к интенсификации пиролиза, повышению температуры на поверхности образцов, разрушению защитного слоя, что открывает каналы поступления кислорода воздуха к материалу образцов. Как следствие, формируются условия для замещения пиролиза в инертной среде прогрессирующим термоокислительным разложением древесины. Термоокислительное разложение древесины протекает с выделением тепла [6, с. 18], создавая условия, необходимые и достаточные для завершения выгорания древесины без внешних источников тепла.

Как известно, древесина содержит экстрагируемые вещества, которые выделяются и активно проявляют себя при пиролизе, поддерживая горение. Процентное содержание экстрагируемых веществ (по массе) зависит от породы древесины: для сосны 9,1%, для осины 3,9% [6, с. 11]. Обозначим как C_1 и m_1 , C_2 и m_2 , соответственно, концентрацию экстрагируемых веществ и массу образцов сосны и осины. В нашем случае $C_1 = 0,091$ и $m_1 = 2,27$ г, $C_2 = 0,039$ и $m_2 = 2,30$ г.

В рамках данного исследования правомерна рабочая гипотеза: продолжительность стадии пиролиза, а значит, и горения пропорциональна количеству экстрагируемых веществ, содержащихся в древесине до начала возгорания. Тогда соотношение количества экстрагируемых веществ в образцах $C_1 m_1 / C_2 m_2$ для образцов с огнезащитой должно быть равно соотношению продолжительности их сгорания t_1 и t_2 , т.е. $C_1 m_1 / C_2 m_2 = t_1 / t_2$. В рассматриваемом случае $t_1 = 700$ с, $t_2 = 300$ с; $C_1 m_1 / C_2 m_2 = (0,091 \cdot 2,27) / (0,039 \cdot 2,30) = 2,30$; $t_1 / t_2 = 700 / 300 = 2,33$. Таким образом, $C_1 m_1 / C_2 m_2 = 2,30$ почти равно $t_1 / t_2 = 2,33$. Различие составляет 1,3%, что можно объяснить погрешностью измерений и несовершенством образцов.

В нашем случае теоретическая продолжительность сгорания соснового образца будет больше, чем осинового образца, в $C_1 m_1 / C_2 m_2 = 2,30$ раза. Физическая адекватность сформулированной гипотезы и достоверность полученного численного значения подтверждаются результатами измерений времени полного сгорания образцов (рис. 2): продолжительность полного сгорания образцов сосновой дранки с огнезащитой составила 700 с, а образцов осинового дранки с такой же огнезащитой составила 300 с, т.е. в $700/300 = 2,33$ раза больше. Тем самым получен ответ на второй из указанных выше вопросов.

Отвечая на первый из указанных выше вопросов, обратим внимание на отмеченное обстоятельство. Обработка огнезащитным раствором жидкого стекла приводит при последующем огневом воздействии на образец с огнезащитой к формированию на его поверхности защитной пленки, которая полностью или

частично препятствует поступлению кислорода воздуха в зону пиролиза. Тем самым создаются почти идеальные условия для пиролиза в инертной среде. Однако в образцах без огнезащитной обработки каналы поступления кислорода воздуха в зону пиролиза не закрыты огнезащитной пленкой, вследствие чего формируются условия для термоокислительного разложения древесины, которое на всех своих стадиях, как отмечено выше, протекает с выделением тепла [6], создавая условия для выгорания древесины. При этом продукты сгорания способны, в том числе за счет обугливания, в определенной (но не в полной) мере препятствовать поступлению кислорода воздуха в зону пиролиза. Как следствие, в данной зоне образца без огнезащиты могут иметь место два процесса: пиролиз в почти инертной среде и термоокислительное разложение древесины. Кроме того, часть легкогорючих газообразных продуктов пиролиза, к которым относятся, например водород, метан, окись углерода [6, 8], не встречая препятствий в виде огнезащитной пленки, переходит в окружающую атмосферу и сгорает. Этот процесс потери легкогорючих газообразных продуктов пиролиза в определенном смысле эквивалентен условному уменьшению количества экстрагируемых веществ, содержащихся в древесине. Поэтому без огнезащиты отношение продолжительности сгорания соснового образца к продолжительности сгорания осинового образца будет отличаться от найденного выше значения, равного 2,33, для образцов без огнезащиты получаем (см. рис. 2): $180/89 = 2,02$. Уменьшение данного отношения на 13,3% можно объяснить тем, что указанное выше условное уменьшение количества экстрагируемых веществ в материале образцов без огнезащитной пленки определяется более сложной зависимостью, анализ которой выходит за рамки данной работы, поскольку нас интересуют, прежде всего, образцы с огнезащитой.

3. Заключение

Рассмотренные выше аспекты, безусловно, затрагивают только малую часть сложных проблем

ЛИТЕРАТУРА

1. Абросимов Н.В., Агеев А.И., Адушкин В.В., Акимов В.А., Алешин А.В., Алешин Н.П., Асмолов В.Г., Афиногенов Д.А., Ахметханов Р.С., Баландин Д.В., Пермьяков В.Н., Баранов В.В., Бармин Н.В., Барышов С.Н., Белов П.Г., Белозеров А.С., Беляев И.И., Берман А.Ф., Болотник Н.Н., Большаков А.М. и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности. М.: Международный гуманитарный общественный фонд «Знание» им. академика К.В. Фролова. — 2015. — 936 с.
2. Борисов А.Ю. Древесина осины как материал для устройства кровли // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. — 2014. — Т. 1. — № 8 (145). — С. 87–90.
3. Марков О.Б., Косенков А.Ю., Борисов А.Ю. Лемеховые главки культовых построек: вопросы реставрационного и архитектурного проектирования с использованием САПР // CARELICA. — 2014. — № 2 (12). — С. 1–8.
4. Борисов А.Ю., Колесников Г.Н. Переработка короткомеров осины на дранку в условиях лесопромышленного

безопасности в техносфере, в частности пожарной безопасности [9]. Анализ полученных данных и других результатов подтверждает актуальность проблемы и необходимость продолжения исследований по разработке эффективных средств защиты от возгорания конструкций из древесины, что подробно рассмотрено в работах других авторов [10–15].

В представленной работе выполнено экспериментальное исследование влияния породы древесины на продолжительность сгорания тонкомерных осиновых и сосновых образцов, поверхность которых обработана водным раствором натриевого жидкого стекла. Установлено, что увеличение концентрации данного раствора более 14% почти не влияет на продолжительность сгорания образцов. Обработка образцов дранки из древесины осины увеличивает продолжительность их полного сгорания в 3,37 раза, а такая же обработка образцов из древесины сосны — в 3,89 раза.

Для объяснения выявленных различий сформулирована гипотеза, адекватность которой подтверждена экспериментально. Соотношение времени сгорания осиновых и сосновых элементов может быть востребованным при анализе причин появления и развития некоторых чрезвычайных ситуаций, а также при составлении рекомендаций по предупреждению таких ситуаций.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть посвящены определению ограничений на область применения огнезащитной обработки рассмотренного класса, в том числе с учетом технико-экономической эффективности такой обработки, ее долговечности и возможной модификации с учетом действующих стандартов по обеспечению безопасности в техносфере.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета на 2012–2016 гг.

- склада // *Resources and Technology*. — 2014. Т. 11. № 2. — С. 152–161.
5. Черных В.В. История пожарного дела России (1800–1990-е гг.): Учеб. пособие. — Иркутск: ВСИ МВД России. — 2005. — 220 с.
 6. Сивенков А.Б. Влияние физико-химических характеристик древесины на ее пожарную опасность и эффективность огнезащиты // Автореф. дисс. ... доктора технических наук / Москва. — 2002. — 48 с.
 7. Hart J.F., de Araujo F., Thomas B.R., Mansfield S.D. (2013). Wood quality and growth characterization across intra- and inter-specific hybrid aspen clones. *Forests*, 4(4), 786–807. DOI:10.3390/f4040786
 8. Трушкин Д.В., Корольченко О.Н., Бельцова Т.Г. Горючесть древесины, обработанной огнезащитными составами // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2008. — Т. 17. № 1. — С. 29–33.
 9. Ефремов С.В., Цаплин В.В. Безопасность в чрезвычайных ситуациях // Учебное пособие / СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ. — 2011. — 296 с.
 10. Акинин Н.И., Мельников Н.О., Максименко С.А. О термическом разложении защищенной от огня древесины // *Безопасность в техносфере*. — 2013. — Т. 2. № 5 (44). — С. 52–55.
 11. Галиахметов Р.Н., Ягафарова Г.Г., Кузнецова Г.М. Средства для защиты древесины низкой токсичности // *Безопасность в техносфере*. — 2010. № 3. — С. 32–36.
 12. Laranjeira J.P.D.S., Cruz H., Pinto A.P.F., Pina dos Santos C., Pereira J.F. (2015). Reaction to Fire of Existing Timber Elements Protected With Fire Retardant Treatments: Experimental Assessment. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(7), 866–882.
 13. Xu Q., Wang, Y., Chen, L., Gao, R., Li, X. (2016). Comparative experimental study of fire-resistance ratings of timber assemblies with different fire protection measures. *Advances in Structural Engineering*, 19(3), 500–512.
 14. Gorbett G.E., Meacham B.J., Wood C.B., Dembsy N.A. (2015). Use of damage in fire investigation: a review of fire patterns analysis, research and future direction. *Fire Science Reviews*, 4(1), 1–35.
 15. Bakirtzis D.S., Tsapara V.C., Kolovos K.G., Liodakis S.E. (2015). Assessment of the impact of fire retardants on the combustion of natural polymers employing DTG and LOI. *Fire and Materials*, 39(2), 109–118.
- REFERENCES**
1. Abrosimov N.V., Ageev A.I., Adushkin V.V., Akimov V.A., Aleshin A.V., Aleshin N.P., Asmolov V.G., Afinogenov D.A., Akhmetkhanov R.S., Balandin D.V., Permyakov V.N., Baranov V.V., Barmin N.V., Baryshov S.N., Belov P.G., Belozеров A.S., Belyaev I.I., Berman A.F., Bolotnik N.N., Bol'shakov A.M. *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Nauchnye osnovy tekhnogennoy bezopasnosti [Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Scientific basis of technogenic safety]*. Moskva, Izdatel'stvo: *Mezhdunarodnyy gumanitarnyy obshchestvennyy fond «Znanie» im. akademika K.V. Frolova* []. 2015. 936 p. (in Russian)
 2. Borisov A.Yu. Drevesina osiny kak material dlya ustroystva krovli [aspen wood as a material for roofing]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Scientific notes of Petrozavodsk State University. Series: Natural and Technical Sciences]*. 2014, V. 1, I. 8 (145), pp. 87–90. (in Russian)
 3. Markov O.B., Kosenkov A.Yu., Borisov A.Yu. Lemekhovyie glavki kul'tovykh postroek: voprosy restavratsionnogo i arkhitekturnogo proektirovaniya s ispol'zovaniem SAPR [Ploughshare central administrations of religious buildings: questions of restoration and architectural design using CAD]. *CARELICA*. 2014, I. 2 (12), pp. 1–8. (in Russian)
 4. Borisov A.Yu., Kolesnikov G.N. Pererabotka korotkomerov osiny na dranku v usloviyakh lesopromyshlennogo sklada [Recycling shorts aspen shingles in a timber warehouse]. *Resources and Technology [Resources and Technology]*. 2014, V. 11, I. 2, pp. 152–161. (in Russian)
 5. Chernykh V.V. *Istoriya pozharnogo dela Rossii (1800–1990-e gg.) [History of Russian firefighting (1800–1990-ies.)]*. Irkutsk, VSI MVD Rossii Publ., 2005. 220 p. (in Russian)
 6. Sivenkov A.B. *Vliyanie fiziko-khimicheskikh kharakteristik drevesiny na ee pozharnuyu opasnost' i effektivnost' ognezashchity. Dokt. Diss. [Influence of physical and chemical characteristics of wood on her fire hazard and effectiveness of fire protection. Doct. Diss.]*. Moscow, 2002. 48 p. (in Russian)
 7. Hart, J.F., de Araujo, F., Thomas, B.R., & Mansfield, S.D. (2013). Wood quality and growth characterization across intra- and inter-specific hybrid aspen clones. *Forests*, 4(4), 786–807. doi:10.3390/f4040786
 8. Trushkin D.V., Korol'chenko O.N., Bel'tsova T.G. *Goryuchest' drevesiny, obrabotannoy ognezashchitnymi sostavami [Fire wood treated with flame retardants]*. *Pozharovzryvobezopasnost' [Fire and explosion safety]*. 2008, V. 17, I. 1, pp. 29–33. (in Russian)
 9. Efremov S.V., Tsaplin V.V. *Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh [Safety in emergencies]*. Sankt-Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet, EBS ASV Publ., 2011. 296 p. (in Russian)
 10. Akinin N.I., Mel'nikov N.O., Maksimenko S.A. *O termicheskom razlozhenii zashchishchennoy ot ognya drevesiny [On thermal decomposition protected from fire wood]*. *Bezopasnost' v tekhnosfere [Safety in Technosphere]*. 2013, V. 2, I. 5 (44), pp. 52–55. (in Russian)
 11. Galiakhmetov R.N., Yagafarova G.G., Kuznetsova G.M. *Sredstva dlya zashchity drevesiny nizkoy toksichnosti [Wood protection and low toxicity]*. *Bezopasnost' v tekhnosfere [Safety in Technosphere]*. 2010, I. 3, pp. 32–36. (in Russian)
 12. Laranjeira, J.P.D.S., Cruz, H., Pinto, A.P.F., Pina dos Santos, C., & Pereira, J.F. (2015). Reaction to Fire of Existing Timber Elements Protected With Fire Retardant Treatments: Experimental Assessment. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(7), 866–882.

13. Xu, Q., Wang, Y., Chen, L., Gao, R., & Li, X. (2016). Comparative experimental study of fire-resistance ratings of timber assemblies with different fire protection measures. *Advances in Structural Engineering*, 19(3), 500-512.
14. Gorbett, G.E., Meacham, B.J., Wood, C.B., & Dembsey, N.A. (2015). Use of damage in fire investigation: a review of fire patterns analysis, research and future direction. *Fire Science Reviews*, 4(1), 1-35.
15. Bakirtzis, D.S., Tsapara, V.C., Kolovos, K.G., & Lioudakis, S. E. (2015). Assessment of the impact of fire retardants on the combustion of natural polymers employing DTG and LOI. *Fire and Materials*, 39(2), 109-118.

The Fire Protection Questions of the Thin Elements of the Roofs From the Aspen and Pine

A.Yu. Borisov, Assistant Director, the Innovation Companies «Energy efficient building», Petrozavodsk

G.N. Kolesnikov, Doctor of Technical Sciences, Head of Department, Professor, Petrozavodsk State University, Institute of Forest, Engineering and Construction Sciences, Petrozavodsk

The experimental research of questions about the influence of wood species on the duration of combustion of the small-diameter aspen and pine samples was performed. Its surfaces were pre-treated with an aqueous solution of sodium liquid glass with a concentration of from 0% to 20% with step 1%. It is established that processing of samples shingles from aspen wood increases the duration of their complete combustion of from 89 s to 300 s (3.90 times). The same sample treatment shingles from pine wood increases the duration of their complete combustion of from 180 s to 700 s (3.37 times). For fire protection aqueous solution of sodium liquid glass with a concentration of 14% is more relevant. According to the results of the analysis, and in logical connection with known data from other studies, we found that the speed of combustion of samples of aspen than pine. The duration of the complete combustion of samples tested pine shingles without fire protection is 180 s. But the same in form and dimensions of the samples aspen shingles without fire protection only 89 s, this 180/89=2.02 times less. In addition, we have established that the duration of the complete combustion of samples of pine shingles with fire protection 700 s, and aspen shingles with the same fire protection only 300 s, i.e. in 2.33 times less. For explanation of the differences found formulated the hypothesis: per unit mass, the duration of the stage of pyrolysis, and hence combustion is proportional to the amount of extractable substances contained in the wood. The physical adequacy of the initial hypothesis and the reliability of the numerical results were confirmed by consistency with the measurement of the time complete combustion of aspen and pine specimens with fire protection of the surface.

Keywords: fire protection of timber, fireproof efficiency, burning rate.

Моделирование атмосферного переноса радиоактивных веществ

При решении задач обеспечения комплексной безопасности АЭС большое значение имеет возможность моделирования процессов, происходящих на различных стадиях аварии, от начальной до момента выхода радиоактивных продуктов деления за пределы защитной оболочки АЭС. Для того чтобы достоверно оценивать радиационную обстановку и с хорошей точностью рассчитывать дозы облучения при попадании радионуклидов в атмосферу, необходимо иметь трехмерные расчетные коды, способные моделировать воздушные течения в сложной трехмерной геометрии на основе решения трехмерных уравнений Навье–Стокса с соответствующими граничными условиями на твердых поверхностях и с использованием моделей турбулентности (CFD-кодов).

В Институте проблем безопасного развития атомной энергетики РАН разработан и верифицирован CFD-код с моделями турбулентности типа LES и RANS, использую-

щий простые однородные сетки, и создана информационно-моделирующая система поддержки принятия решений по защите населения при радиационных авариях, включающая базу цифровых 3D-моделей промышленных площадок и элементов городской застройки, модули расчета концентрации и плотности выпадения радиоактивных веществ и визуализации результатов расчета. Расчет распространения примесей в вычисленном ветровом поле производится на основе решения трехмерного уравнения адвекции-диффузии с коэффициентами турбулентного обмена, следующими из модели турбулентности. Расчет мощности дозы в заданной точке на площадке производится путем прямого интегрирования вкладов от источников в расчетных ячейках с активностью в объеме воздуха и на поверхностях.

Источник: сайт ИБРАЭ РАН <http://www.ibrae.ac.ru/>