

Т. В. Стукач, аспирант; С. В. Шетько, канд. техн. наук

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОГНЕЗАЩИТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ДВЕРЕЙ. АБЛИРИРУЮЩИЕ ОБЛИЦОВКИ

Effectiveness analysis of application of wooden and metal fire resistance doors was carried out. Processes existing in wood during the increasing of temperature were studied. The main functions of the flame retardance coatings were described.

**Введение.** Одной из важнейших задач при проектировании и строительстве современных зданий и сооружений является исключение возможности распространения огня внутри зданий при возникновении пожара в одном или нескольких помещениях. Пассивная противопожарная защита – комплекс инженерно-технических мероприятий противопожарной защиты, реализующийся на стадии проектирования, строительства и реконструкции объекта [1]. На сегодняшний день существует несколько вариантов осуществления пассивной противопожарной защиты, и один из них – это разделение внутреннего пространства зданий на пожарные отсеки и защита их противопожарными преградами.

СНБ 2.02.01-98 устанавливает следующие виды противопожарных преград [2]: противопожарные стены, перегородки, перекрытия, противопожарные пояса. Для заполнения проемов в противопожарных преградах используются противопожарные клапаны, люки, двери, занавесы.

**1. Противопожарные двери.** При проектировании противопожарных дверей необходимо учитывать, что они сочетают в себе функции обычных дверей и ограждающих конструкций с функциями противопожарных преград в случае пожара, что создает некоторые трудности при их проектировании, т. к. наряду с необходимостью обеспечения свободного прохода людей, они должны быть надежной преградой, препятствующей распространению пожара.

Согласно СНБ 2.02.01-98, противопожарные двери делятся на 3 типа в зависимости от их минимального предела огнестойкости (табл. 1). Противопожарные двери 2-го и 3-го типов могут иметь класс пожарной опасности К1 (мало пожароопасные). Для их изготовления допускается применять защищенную древесину, удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к слабогорючим материалам [3].

**2. Горение древесины.** Рассмотрим процессы, происходящие в древесине при повышении температуры. При нагревании до 110°C из древесины удаляется влага и начинают выделяться газообразные продукты термодеструкции. При нагревании до 150°C нагреваемая поверхность древесины желтеет, резко возрастает количество выделяющихся летучих веществ. В промежутке температур 150–250°C по причине обугливания древесина принимает коричневый

цвет, а при 250–300°C происходит воспламенение продуктов разложения древесины. Температура самовоспламенения древесины находится в пределах 350–450°C. Таким образом, процесс термического разложения древесины протекает в две фазы: первая фаза распада (при температуре до 250°C) протекает с поглощением тепла, вторая – непосредственно процесс горения, идет с выделением тепла (пламенное горение и догорание угля).

Таблица 1

### Пределы огнестойкости противопожарных преград

Противопожарные преграды	Тип противопожарных преград	Предел огнестойкости противопожарных преград, мин
Двери, ворота, люки, клапаны, пояса	1	EI 60
	2	EI 30
	3	EI 15

Таким образом, процесс термического разложения древесины протекает в две фазы: первая фаза распада идет с поглощением тепла и наблюдается при нагреве до 250 °C (до температуры воспламенения), вторая – собственно процесс горения, идет с выделением тепла. Вторая фаза, в свою очередь, подразделяется на два этапа: сгорание газов, образующихся при термическом разложении древесины (пламенное горение), и догорание образовавшегося древесного угля (тление) [4].

Согласно квазистационарной модели, рассмотренной Бушевым, процесс горения древесины протекает в два этапа (рис. 1). На первом этапе происходит прогрев поверхностных слоев без обугливания и горения древесины и с выпариванием влаги в окружающую среду и вглубь древесины. Сечение древесины на этом этапе можно разделить на 3 зоны:

1-я – зона просушенной древесины ( $t = 100\text{--}260^\circ\text{C}$ );

2-я – зона просушивания древесины, здесь происходит фазовое превращение влаги, содержащейся в ней, в пар ( $t_2 = t_3 = \text{const} = 100^\circ\text{C}$ );

3-я – зона прогревания влажной древесины

( $t_4 = t_{\text{окр. среды}}$ ).

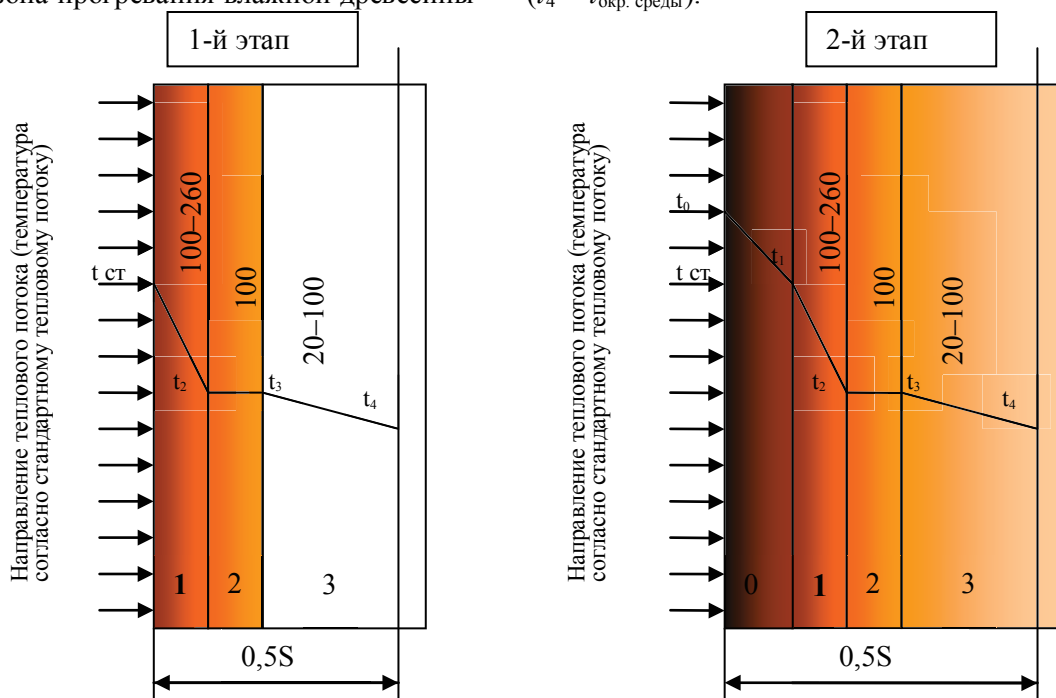


Рис. 1. Этапы горения древесины

Длительность первого этапа по экспериментальным данным колеблется в пределах 6–8 мин.

На втором этапе помимо зон, характерных для первого этапа, появляется зона 0 с неоднородной пористой структурой и трещинами. Процесс обугливания сопровождается горением древесины [5].

Полностью защитить древесину от возгорания нельзя, можно лишь увеличить время протекания первого этапа горения (до появления пламенного горения и обугливания древесины), который протекает при температуре поверхности древесины меньшей, чем температура обугливания ( $260^{\circ}\text{C}$ ).

**3. Конструкционная огнезащита конструкций.** Конструкционно повысить огнестойкость деревянных конструкций можно либо увеличением сечений наиболее нагруженных элементов конструкций, либо использованием негорючих облицовок. Номенклатура их разнообразна: гипсокартонные листы, асбестоцементные плиты и др. Положительной стороной применения этих материалов являются индивидуальность изготовления, высокое качество отделки, долговечность.

Облицовки выполняют теплозащитную и теплоизоляционную функции, ограничивают доступ кислорода, необходимого для пламенного горения древесины, а также, сгорая, создают слой угля, теплопроводность которого в 4 раза ниже теплопроводности древесины.

Теплозащитная функция облицовки осуществляется по принципу абляционного охлаждения. Абляция применительно к принципу

теплозащиты означает блокирование подводимого тепла самим материалом. Оно расходуется на теплофизические, физико-химические и механические преобразования в структуре материала облицовки (нагрев до температур сублимации, плавления и испарения, пиролиз и деструкцию материала и т. д.). Таким образом, силовая часть конструкции некоторое время предохраняется от чрезмерного нагрева [6].

Как теплоизолятор облицовка минимизирует кондуктивный перенос тепла по важнейшему направлению. Материал облицовки своей малой теплопроводностью препятствует передаче теплоты от внешнего источника к силовой части конструкции, не допуская прогрева ее сверх установленной нормы в течение заданного времени.

В условиях кондуктивного нагрева идеальным теплоизолятором мог бы стать вакуум. Но его применение – очень сложный и дорогостоящий процесс, кроме того, для многих конструкций такая изоляция просто не нужна. Целесообразно в качестве теплоизоляторов применять высокопористые (до 90%) материалы. Подобными материалами, применяемыми для теплоизоляции конструкций, являются пенополимеры и пенокерамика [7].

Природным материалом подобного рода можно считать пробку. Пробка – это кора пробкового дуба, произрастающего на значительной части Средиземноморского побережья. Она обладает способностью стабилизации температуры и влажности воздуха. Это достаточно легкий материал. Воздух составля-

ет около 90% от общего объема и около 50% от массы пробки.

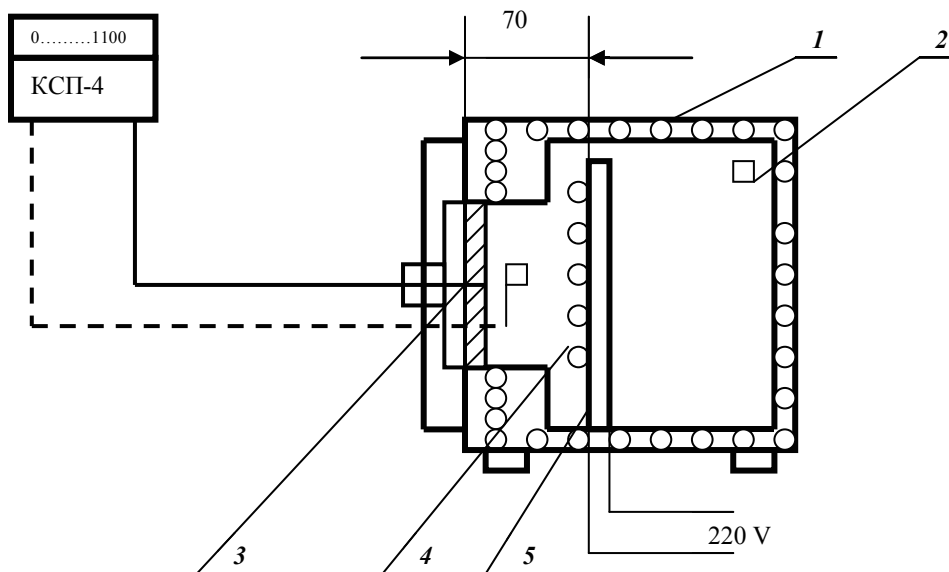


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:  
1 – муфельная печь; 2 – термопреобразователь; 3 – испытуемый образец;  
4 – электрическая спираль; 5 – радиационная панель

Плотность изоляционных пробковых плит 150–200 кг/м<sup>3</sup>. Пробка по сравнению с другими материалами имеет достаточно низкий коэффициент теплопроводности. Благодаря большому содержанию суберина (смеси натуральных жирных кислот и тяжелых органических спиртов), она не пропускает жидкости и газы. Это очень эластичный и упругий материал, сохраняющий свои изоляционные свойства в широком диапазоне температур.

Пробка химически нейтральна и благодаря присутствию танина и отсутствию белков не гниет, не передает вибрации и не теряет своих свойств со временем, т. е. долговечна. Пробковый материал является природным аблятором. Она может быть успешно применена в качестве облицовочного материала конструкций, к которым предъявляется требование высокой пожарной безопасности [6].

**4. Изучение теплоизолирующей эффективности пробковых покрытий.** Пробковый материал толщиной 6 мм был подвергнут испытаниям в соответствии с методикой.

Испытуемые образцы представляют собой стальные пластины размером 130×88×15 мм, на одну сторону которых нанесено теплозащитное покрытие (в нашем случае материал пробки толщиной 6 мм). Их устанавливают в притвор дверцы муфельной печи, предварительно прикрепив к центру обогреваемой и необогреваемой поверхности термопреобразователи.

В печи поддерживается температурно-временной режим стандартного пожара. Засекаемая время секундомером, каждую минуту с табло автоматического потенциометра КСП-4 снимаются показания температуры на необог-

реваемой поверхности образца. Испытания прекращаются при достижении на необогреваемой поверхности стальной пластины температуры 500°C. После испытаний, извлеченные образцы тщательно изучаются и все изменения состояния образца (оплавление, вспучивание, отслоение и т. д.) записываются в протокол испытаний.

Графики изменения температуры на необогреваемой стороне стальной пластины во времени, построенные по результатам испытаний, показаны на рис. 3. Как видно из графика, температура обугливания древесины (260°C) на необогреваемой стороне стальной пластины достигается примерно через 18 мин после начала испытаний.

Таким образом, создание дополнительного теплозащитного слоя пробкового материала толщиной 6 мм увеличивает продолжительность первого (эндотермического) этапа горения древесины как минимум на 15 мин.

При повышенных температурах необходимо учитывать поведение не только конструкционных и изоляционных материалов, но и клеевых композиций, используемых при изготовлении конструкций. Зачастую предельные состояния (потеря огнестойкости) конструкций наступают не из-за потери конструкционных и теплоизоляционных свойств материалов, а за счет потери адгезионных свойств клеевых композиций при высоких температурах.

В связи с этим проведено 3 серии испытаний в соответствии с методикой экспериментального определения теплоизолирующей эффективности покрытий, предназначенных для повышения пределов огнестойкости стальных

строительных конструкций с образцами, приготовленными с использованием различных клеев. При изготовлении образцов применялись полиуретановый клей, клей на основе поливинилацетатной дисперсии и полимеризационатный клей.

Результаты испытаний показали, что наилучшими адгезионными свойствами при высокой температуре (около 500°C) обладает полимеризационатный клей, наименее – полиуретановый клей (рис. 3). Пробковый материал толщиной 6 мм, приклеенный к металлической основе полимеризационатным клеем, сохраняет свои теплоизоляционные свойства в течение 33 мин, полиуретановым клеем – 27 мин, что объясняется потерей адгезионных свойств данного клея при температуре, близкой к 500°C.

При высоких температурах происходит изменение физико-химической структуры материала, что ведет к изменению макроскопических свойств материала и изменению его поведения в составе конструкций. Изменение теплофизических свойств, прежде всего, выражается в уменьшении плотности материала, изменении теплопроводности, резком увеличении газопроницаемости, появлении вторичной пористости.

Также с ростом температуры в значительной степени изменяются и механические свойства материала: резко изменяются упругие и прочностные свойства материала, тепловое

расширение при высоких температурах начинает носить немонотонный характер, что приводит к появлению усадки и образованию трещин. Все эти изменения носят необратимый характер и отчетливо видны на пробковых образцах после испытаний [8].

**Выводы.** Для достижения максимальной эффективности теплозащитного материала при пассивной теплозащите необходимо оптимизировать его свойства (в частности, удельную энтальпию абляции) для конкретных условий эксплуатации (температурно-временных и силовых факторов) с учетом технологичности конструкции [7]. Удельная энтальпия (теплота) абляции является количественной характеристикой материала и показывает, какое количество теплоты может быть заблокировано при абляционном разрушении единицы массы теплозащитного материала.

В процессе оптимизации свойств аблятора необходимо учитывать следующие факторы.

1. Параметры воздействующей среды, а именно плотности подводимых тепловых потоков и вызванные ими скорости перемещения фронта абляции вглубь стенки данного материала.

2. Окислительный потенциал газовой среды и связанную с ним температуру горения и его максимальную скорость у данного аблятора.

3. Скорость потери массы и уноса аблятора, вследствие которого уменьшается толщина стенки материала.

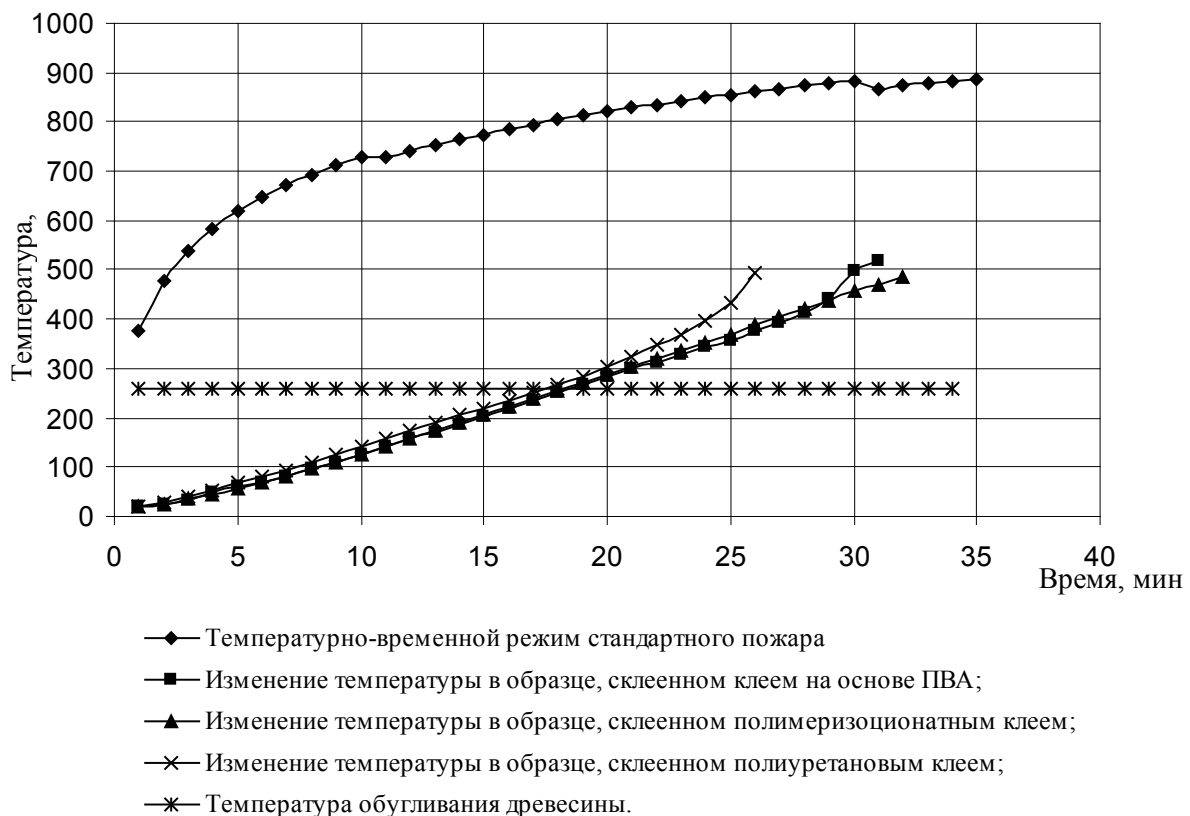


Рис. 3. Результаты испытаний теплоизолирующей эффективности пробковых покрытий

4. Функциональное назначение аблирующего материала в конструкции, его сопротивляемость нагрузкам, которые аблятор несет непосредственно либо через границу раздела с силовой стенкой конструкции, либо у него «нулевая» прочность при данной температуре и нагрузок он не несет.

5. Массовые характеристики аблятора, связанные с толщиной его стенки и коэффициентом его запаса по толщине, от которых также зависит время сопротивления материала пиролизу.

При выборе аблирующего материала необходимо также учитывать его структурные и технологические особенности, связанные, например, с анизотропией его свойств. В связи с этим основной путь выбора аблятора – экспериментальное исследование, включающее и натурные испытания [7].

Применение в качестве аблирующей облицовки при создании противопожарных преград пробкового материала позволит создать надежные экологичные противопожарные двери для жилых и общественных зданий

#### Литература

1. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03–95. – Введ. 1995–03–16. – Минск: Белстандарт, 1995. – 13 с.
2. Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов: СНБ 2.02.01–98. – Взамен СНиП 2.01.02–85; введ. 16.01.2001. – Минск, 2001. – 7 с.
3. Проектирование, испытание и оценка огнестойкости противопожарных дверей: рекомендации / ВНИИ противопожар. обороны; сост.: В. И. Щелкунов, Н. Ф. Гавриков. – М., 1990. – 90 с.
4. Пожарная профилактика в строительстве / Б. В. Грушевский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 366 с.
5. Бушев, В. П. Расчет времени до потери несущей способности деревянных конструкций на пожаре / В. П. Бушев, С. В. Давыдов // Огнестойкость строительных конструкций: сб. тр. – М.: Всесоюзн. науч.-исслед. ин-т противопожарной обороны, 1977. – 115 с.
6. Стукач, Т. В. Огнезащита строительных конструкций. Основы теории абляции / Т. В. Стукач, С. В. Шетько // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 178–182.
7. Калинин, В. А. Технология теплозащиты и теплоизоляции изделий: конспект лекций. В 2 ч. Ч. 2 / В. А. Калинин. – М.: Изд-во МГТУ, 1993. – 61 с.
8. Дмитриенко, Ю. И. Механика композиционных материалов при высоких температурах / Ю. И. Дмитриенко. – М.: Машиностроение, 1997. – 368 с.