

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

А. Б. СИВЕНКОВ, А. Ю. ФРОЛОВ

**ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ  
ПО РАСЧЕТУ ОГНЕСТОЙКОСТИ  
ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебное пособие

*Под редакцией доктора технических наук, профессора Б. Б. Серкова*

Допущено Министерством Российской Федерации  
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий  
в качестве учебного пособия для высших образовательных учреждений  
МЧС России

Москва 2011

УДК 699.8:614.8 + 630\*(076.1)  
ББК 38.96 я73 + 38.35  
С32

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор  
заслуженный деятель науки РФ *В. В. Ильин*  
Центр обеспечения деятельности  
федеральной противопожарной службы МЧС России

*А. А. Бондарев*  
Департамент надзорной деятельности МЧС России

Кандидат юридических наук *И. В. Жуков*  
Санкт-Петербургский Университет ГПС МЧС России

**Сивенков А. Б., Фролов А. Ю.**

С32    Задачи и упражнения по расчету огнестойкости деревянных конструкций: Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 74 с.

ISBN 978-5-9229-0026-3

Учебное пособие разработано в соответствии с программой курса «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» и предназначено для слушателей и курсантов очного и заочного обучения. В пособии приведены варианты заданий контрольной работы и упражнения по определению пределов огнестойкости и класса пожарной опасности деревянных конструкций, приложения, литература.

УДК 699.8:614.8 + 630\*(076.1)  
ББК 38.96 я73 + 38.35

ISBN 978-5-9229-0026-3

© Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2011

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

Древесина традиционно является одним из наиболее распространенных материалов в строительстве. В мировой практике строительной индустрии она находит широкое применение как строительный материал для зданий и сооружений (жилые, сельскохозяйственные, складские, производственные, животноводческие, общественные и др.) различного назначения.

В настоящее время в России, странах Европы и Азии интенсивно развивается малоэтажное деревянное строительство, а также строительство зданий и сооружений с применением деревянных клеёных конструкций (ДКК). Производство ДКК – известный способ получения продукции деревообработки с заданными потребительскими и эксплуатационными параметрами. Специфика производства ДКК – результат взаимодействия трех основных факторов: качества древесины, вида применяемого клея и защитных веществ, производственных условий (определенные температурно-влажностные режимы производства, оборудование, инструменты, транспортные и грузоподъемные средства). Среди параметров деревянных конструкций приоритетное значение имеют критические эксплуатационные показатели прочности и стойкости клеевых соединений, определяющих долговечность строительных конструкций на основе ДКК. Производство и применение деревянных клеёных конструкций находятся на этапе динамичного и устойчивого развития.

Технология производства ДКК наиболее развита в Европе, Северной Америке, Японии. В ряде мировых стран, в том числе и в Российской Федерации, наблюдается и прогнозируется в дальнейшем устойчивое возрастание объемов заготовки древесины для лесобумажной промышленности и строительной индустрии. Так, в 2007 г. в Российской Федерации объем заготовок древесины составил 200 млн м<sup>3</sup>, а к 2020 г. прогнозируется возрастание объема древесины до 294 млн м<sup>3</sup>.

Производство массивных, крупногабаритных ДКК (балок, арок и рам), используемых в строительстве, было начато в середине прошлого столетия. Эти конструкции являются ответственными элементами строительных систем зданий и сооружений, могут воспринимать большие эксплуатационные нагрузки и обеспечивают устойчивость и безопасность строительных объектов. Именно этим, так называемым несущим, ДКК уделяется наибольшее внимание, особенно в научно-технической и нормативно-методической сферах. Другие виды ДКК (брусья стен, щиты, столярные изделия и др.) относят к конструкциям, выполняющим ограждающие и декоративные функции [2].

---

---

Экспериментальные данные, полученные в результате многочисленных огневых испытаний различных типов несущих и ограждающих конструкций, выполненных из древесины, стали основой для создания справочников по пределам огнестойкости подобных конструкций. Эти данные могут быть использованы при выполнении проектов зданий и сооружений с применением деревянных конструкций, а также во время проведения пожарно-технической экспертизы объектов. К сожалению, указанные справочные данные содержат далеко не полную номенклатуру конструкций, изготовленных из клеёной или цельной древесины, которые применяются в строительстве. Отсутствие необходимых данных затрудняет более точную оценку возможности применения рассматриваемых типов деревянных конструкций при строительстве объектов с точки зрения требований противопожарных норм, а также разработку мероприятий по их эффективной огнезащите.

В этой связи большую значимость приобретают расчетные методы оценки предела огнестойкости элементов деревянных конструкций. Применение указанных методов в современных условиях представляется важным, поскольку не всегда возможно экспериментальное определение огнестойкости деревянной конструкции.

Изучение и применение расчетных методов оценки огнестойкости строительных конструкций, в том числе деревянных конструкций, занимает ключевое место при изучении дисциплины «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре».

---

---

## 1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В условиях пожара огнестойкость деревянных конструкций определяется снижением несущей способности их деревянных элементов и узловых соединений этих элементов.

Снижение несущей способности деревянных конструкций происходит из-за обугливания древесины, что приводит к уменьшению размеров их рабочего сечения, способного воспринимать действующие нагрузки, а также из-за изменения прочности древесины в необуглившейся части сечения [2]. На изменение несущей способности узловых соединений при пожаре оказывает влияние как обугливание древесины, так и снижение прочности стальных элементов, используемых в конструкциях этих соединений (стальные нагели, стальные накладки, башмаки).

Основным определяющим процессом, который вызывает уменьшение размеров рабочего сечения деревянного элемента, является *обугливание древесины*. Характеристикой процесса обугливания является скорость обугливания древесины. Для древесины различных пород скорость обугливания изменяется от 0,6 до 1,0 мм/мин и зависит от многочисленных факторов, в частности, от породы, объемной массы и влажности древесины, количества сторон обогрева, продолжительности и особенностей температурного режима, скорости нагрева, размеров сечения, шероховатости поверхности и др. [3].

С увеличением объемной массы, влажности древесины и размеров сечения деревянного элемента скорость обугливания снижается, а с увеличением температуры нагревающей среды при пожаре, притока воздуха, количества сторон обогрева сечения и шероховатости поверхности их плоскостей скорость обугливания древесины возрастает. С увеличением продолжительности температурного воздействия скорость обугливания древесины снижается.

Для деревянных конструкций применяется, как правило, древесина хвойных пород. Древесина твердых лиственных пород используется для изготовления нагелей, подушек и других деталей [2].

При использовании для огнезащиты древесины антипиренов также может наблюдаться увеличение скорости ее обугливания. Так, при использовании ряда антипиренов скорость обугливания на начальной стадии ее термоокислительного разложения может увеличиваться в 4–5 раз.

Наряду с этим, применение вспучивающихся покрытий для огнезащиты деревянных конструкций защищает древесину от прогрева и ее последующего обугливания [4].

По сравнению с клеёной древесиной скорость обугливания цельной древесины выше. Для древесины хвойных пород (ель, сосна) с влажностью не более 20 % значения скорости обугливания цельной и клеёной древесины представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Скорость обугливания древесины

Наименьший размер сечения, мм	Скорость обугливания древесины $v$ , мм/мин	
	клеёной	цельной
120 и более	0,6	0,8
Менее 120	0,7	1,0

Для физических способов огнезащиты (огнезащитные покрытия) древесины характерно увеличение времени задержки воспламенения (самовоспламенения) древесины.

Существенное влияние на огнестойкость деревянных конструкций оказывает конфигурация их сечения. Так, в элементах прямоугольного сечения более интенсивно обугливаются углы сечений при «стандартном пожаре», скругление которых наблюдается через 10–15 мин после начала карбонизации древесины.

При тепловом воздействии на элементы деревянных конструкций кроме уменьшения размеров рабочего сечения в результате обугливания древесины наблюдается снижение ее прочности и упругих характеристик. Неравномерное распределение температуры по сечению приводит к тому, что величины механических и теплофизических характеристик в различных точках данного сечения изменяются неодинаково. Распределение температуры от фронта обугливания к центру сечения массивных клеёных деревянных элементов, меняющейся в пределах от 300 °С до первоначальной температуры, в условиях эксплуатации изменяется по гиперболическому закону [2].

Для оценки прочности древесины в конструкциях, находящихся в условиях пожара, используются расчетные сопротивления  $R_f$ . Величины расчетных сопротивлений для среднего значения температуры в необуглившейся части сечения, равного 80 °С, в зависимости от напряженного состояния и сортности древесины определяют по табл. 2 [5, 6]. Так как фактический предел огнестойкости строительных конструкций определяется как среднее арифметическое значение результатов испытаний образцов конструкций, значения расчетных сопротивлений определяется, исходя из среднестатистических значений пределов прочности древесины, работающей в различных условиях напряженного состояния.

Таблица 2

**Расчетные сопротивления  
для определения фактических пределов огнестойкости  
деревянных конструкций**

Напряженное состояние	Обозначение	Расчетные сопротивления для сортов древесины, МПа		
		1	2	3
Изгиб	$R_{fw}$	29	26	18
Сжатие и смятие вдоль волокон	$R_{fc}$	26	23	16
Растяжение вдоль волокон древесины	$R_{ft}$	20	15	–
Растяжение поперек волокон древесины	$R_{ftt}$	1,1	1,1	–
Скалывание вдоль волокон древесины:	$R_{fqS}$			
цельной		3,7	3,2	2,9
клеёной		1,3	1,2	1,1

---

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	5
2. ОЦЕНКА ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАСЧЕТНЫМ ПУТЕМ.....	8
3. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННОЙ КОНСТРУКЦИИ (БАЛКИ).....	13
3.1. Определение предела огнестойкости изгибаемой деревянной конструкции .....	13
3.1.1. Из условия прочности по нормальным напряжениям .....	13
3.1.2. Из условия прочности по касательным напряжениям.....	14
3.1.3. Из условия устойчивости плоской формы деформирования.....	15
3.2. Определение предела огнестойкости растянутой деревянной конструкции .....	16
3.3. Определение предела огнестойкости сжатой деревянной конструкции .....	16
3.3.1. Из условия прочности .....	16
3.3.2. Из условия устойчивости.....	16
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЯ «ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРЕБОВАНИЯМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ».....	25
4.1. Задание, исходные данные .....	25
4.2. Разработка связей между балками .....	39
4.3. Определение нагрузок и усилий на балку.....	39
4.4. Определение фактического предела огнестойкости балки клеёной постоянного сечения (БКП).....	40
4.5. Особенности работы деревянной балки клеёной двускатной (БКД) и расчета ее предела огнестойкости .....	43
4.6. Определение класса пожарной опасности балки клеёной с постоянной высотой сечения (БКП) и балки клеёной двускатной (БКД) .....	45
4.7. Разработка технических решений, обеспечивающих огнестойкость опорных узлов балок и узлов соединения элементов связей от непосредственного воздействия температуры при пожаре .....	58
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ УПРАЖНЕНИЯ.....	65
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	66
ЛИТЕРАТУРА.....	72



Учебное издание

**Сивенков** Андрей Борисович  
**Фролов** Александр Юрьевич

**ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ОГНЕСТОЙКОСТИ  
ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебное пособие

Редактор *З. А. Малаховская*  
Технические редакторы: *О. В. Захарова, Е. А. Пушкина, Е. Н. Титкова*  
Корректор *Н. В. Федькова*

Подписано в печать 28.11.2011. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Печ. л. 4,5. Уч.-изд. л. 3,32. Бумага офсетная.  
Тираж 200 экз. Заказ 522

Академия ГПС МЧС России  
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4