

Технічні науки

УДК 614.841.45

Фещук Юрий Леонидович

старший научный сотрудник

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты

Фещук Юрій Леонідович

старший научный співробітник

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

Feshchuk Yurii

Senior Research Officer

The Ukrainian Civil Protection Research Institute

Поздеев Сергей Валерьевич

доктор технических наук, профессор,

главный научный сотрудник

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты

Поздєєв Сергій Валерійович

доктор технічних наук, професор,

головний науковий співробітник

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

Pozdieiev Serhii

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Principal Research Officer

The Ukrainian Civil Protection Research Institute

Нижник Вадим Васильевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

начальник научно-исследовательского центра

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты

Ніжник Вадим Васильович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник науково-дослідного центру
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту*

Nizhnyk Vadim

*Candidate of Technical Sciences, Senior Staff Scientist,
Head of Research Centre
The Ukrainian Civil Protection Research Institute*

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛОВ
ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОЛОНН С ОГНЕЗАЩИТНОЙ
ОБЛИЦОВКОЙ**

**МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕЖ ВОГНЕСТІЙКОСТІ
ДЕРЕВ'ЯНИХ КОЛОНН З ВОГНЕЗАХИСНИМ ОБЛИЦЮВАННЯМ
METHODOLOGY OF PREDICTION OF FIRE RESISTANCE RATINGS
OF WOOD COLUMNS COVERED WITH FIRE RETARDANT
COATING**

***Аннотація.** Розроблена методологія прогнозування огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой. Розробтан метод определения геометрических параметров приведенного сечения деревянных колонн с огнезащитной облицовкой. Определен метод для расчета несущей способности деревянных колонн. Обосновано методику создания таблиц для оценки класса огнестойкости деревянных колонн и осуществлена проверка ее адекватности. Обоснован усовершенствованный табличный метод для оценки класса огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой.*

***Ключевые слова:** огнестойкость, деревянная колонна, огнезащитная облицовка, полный факторный эксперимент.*

Анотація. Розроблено методологію прогнозування вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисної облицюванням. Розроблено метод визначення геометричних параметрів приведенного перерізу дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням. Визначено метод для розрахунку несучої здатності дерев'яних колон. Обґрунтовано методику створення таблиць для оцінки класу вогнестійкості дерев'яних колон і здійснена перевірка її адекватності. Обґрунтовано вдосконалений табличний метод для оцінки класу вогнестійкості дерев'яних колон квадратного перерізу з вогнезахисним облицюванням.

Ключові слова: вогнестійкість, дерев'яна колона, вогнезахисне облицювання, повний факторний експеримент.

Summary. Developed methodology of prediction of fire resistance ratings of wood columns covered with fire retardant coating. Developed a method for the determination of geometrical parameters of wood columns covered with fire retardant coating. Determined method of calculation of bearing capacity of wood columns' sections. Substantiated method of composition of tables for the estimation of fire resistance class of wood columns covered with fire retardant coatings and to check its adequacy. Substantiated some advanced tabular method for the estimation of fire resistance class of wood columns covered with fire retardant coating.

Key words: fire resistance, wood column, fire retardant coating, complete factorial.

Введение. Статистические данные по пожарам за последние 5 лет показывают, что $\frac{1}{4}$ из них происходит в зданиях, построенных на основе деревянных конструкций. В 33,3 % случаях таких пожаров конструкции теряли несущую способность, что приводило к их разрушению. Одним из путей обеспечения нормируемых значений классов огнестойкости деревянных колонн является их огнезащитная облицовка, в частности

ориентированно-стружечными плитами (OSB по международной классификации).

Анализ научных работ, посвященных вопросам огнестойкости деревянных конструкций [1-4], показывает, что информация об огнестойкости огнезащитных облицовочных плитами OSB деревянных колонн как строительных конструкций ограничена. Это сдерживает применение указанных строительных конструкций или приводит к ошибочным решениям при проектировании и строительстве сооружений с их использованием, что в свою очередь негативно влияет на пожарную статистику.

Раскрытие закономерностей влияния конструктивных параметров, а также нагрузки деревянных колонн с огнезащитной облицовкой в условиях воздействия стандартного температурного режима пожара на их огнестойкость является актуальной научной задачей, решение которой является научным основанием создания методологии ее прогнозирования, создаст предпосылки обеспечения нормируемых значений классов огнестойкости указанных строительных конструкций и повышения эффективности обеспечения пожарной безопасности зданий с их применением.

Постановка задачи и ее решение. Цель данной статьи – на основе данных экспериментальных исследований [5] разработать расчетный табличный метод для оценки огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой ориентированно-стружечными плитами (OSB). Для достижения цели поставленные следующие задачи:

- разработать метод определения геометрических параметров сечений деревянных колонн с огнезащитной облицовкой с учетом обугленной зоны;
- определить метод расчета несущей способности сечений деревянных колонн с огнезащитной облицовкой с учетом обугленной зоны;

- обосновать методику создания таблиц для оценки класса огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой и проверить ее адекватность;
- обосновать табличный метод для оценки класса огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой.

Опыты проводились согласно [6] на образцах деревянных сосновых колонн размерами $200 \times 200 \times 300$ мм (рис. 1 а), для огнезащиты предложено использовать плиты OSB толщиной 10 мм, в один и два слоя. Измерение температурных показателей в слоях сечения образцов осуществлялось с помощью пяти термопар типа ТХА, схема расположения которых представлена на рис. 1 б).

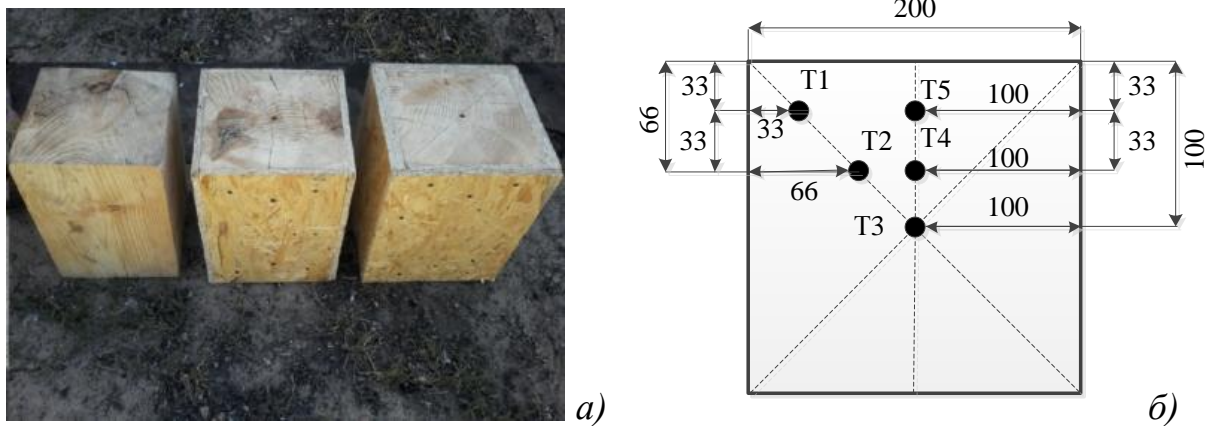


Рис. 1. Образцы деревянных колонн: а) изображение исследуемых образцов б) схема расположения термопар в сечении: Т1 –Т5 место установки термопар

Результаты экспериментальных исследований представлены в виде графиков (рис. 2).

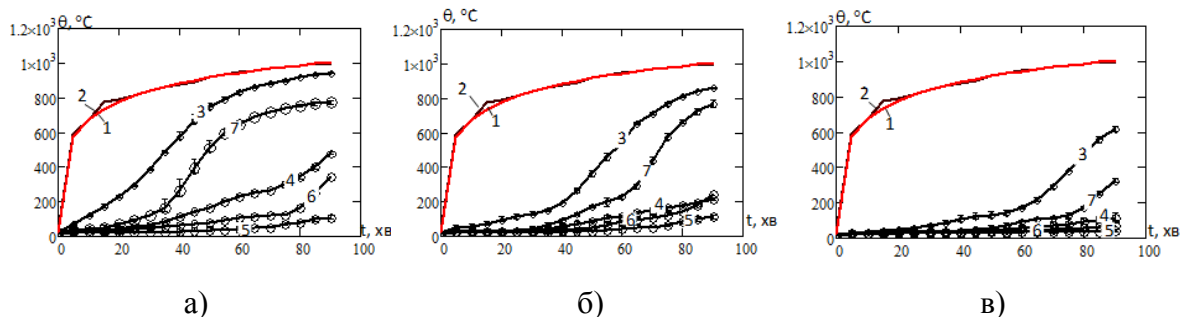


Рис. 2. Графики 90-минутных испытаний: 1 – стандартная температурная кривая; 2 – средняя температура в печи; средние значения: 3 – 1-й термопары, 4 – 2-й термопары, 5 – 3-й термопары, 6 – 4-й термопары, 7 – 5-й термопары; а) образцы без защиты, б) образцы с защитой плитой OSB в один слой, в) образцы с защитой плитой OSB в два слоя

На графиках рис. 2 видна четкая разница показателей термопар, расположенных в сечении образцов (рис. 1 б). Наименьшее нарастание температур зафиксировано в сечении образцов защищенных плитой OSB в 2 слоя, что свидетельствует о хороших огнезащитных качествах такого типа огнезащиты.

Метод определения геометрических параметров сечений деревянных колонн с огнезащитной облицовкой. Для определения геометрических параметров приведенного сечения деревянных колонн с учетом обугленной зоны предлагается метод, основанный на использовании величины «критической температуры обугливания». Критическая температура обугливания может быть определена как среднее значение величин, получаемых по формулам (1) [7].

$$\theta_{г\text{кр},i} = \theta_{0i} + (\theta_{gi} - \theta_{0i}) \left[\frac{0,5a - \beta_g \cdot t}{a} \right]^{Q_{gi}}; \theta_{д\text{кр},i} = \theta_{0i} + (\theta_{di} - \theta_{0i}) \left[\frac{0,5a - \beta_d \cdot t}{a} \right]^{Q_{di}}$$
$$\theta_{\text{кр},i} = 0,5(\theta_{д\text{кр},i} + \theta_{г\text{кр},i}), \quad (1)$$

где θ_{0i} - температура в центре сечения колонны;

θ_{gi} , θ_{di} - максимальная температура по горизонтальной и диагональной линиям расположения термопар;

β_g , β_d - скорость обугливания по горизонтальной и диагональной линиям расположения термопар;

t - время; a - ширина сечения

Для определения геометрических параметров приведенного сечения деревянных колонн должны быть проведены следующие процедуры:

1) Строится температурное распределение по сечению деревянной колонны без учета огнезащитной облицовки с использованием рекомендаций п. В.1 и В.2 EN 1995-1-2 с применением метода конечных элементов 2) по одной из координат выбираются соседние узлы для 1/8 части сечения, которые имеют температуру больше и меньше чем величина «критической температуры обугливания» (см. рис. 3), и

определяются средние значения соответствующей координаты для данных узлов.

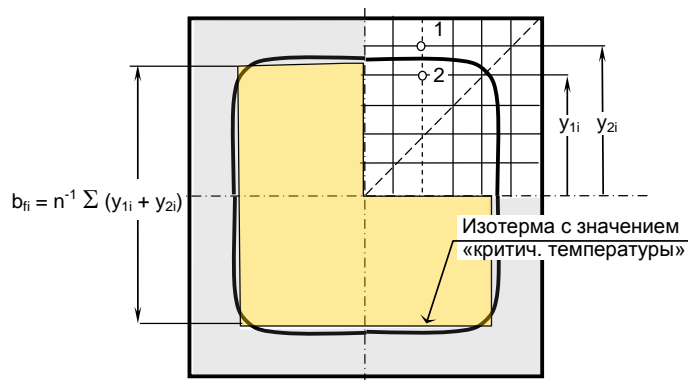


Рис. 3. Схема определения ширины приведенного сечения деревянной колонны с огнезащитой и без нее с использованием «критической температуры обугливания»: b_{fi} – ширина приведенного сечения, n – количество температурных узлов, y_{1i} , y_{2i} – расстояния до узлов, которые имеют температуру больше и меньше чем величина «критической температуры обугливания»; 1, 2 – узлы разбивки сечения

Среднее значение координат представленных на схеме рис. 3 определяется как ширина приведенного квадратного сечения с учетом зоны обугливания. Для проведения расчета достаточно рассмотреть только 1/8 часть сечения колонны, поскольку условие симметрии ее сечения полностью воспроизводит полученные результаты для других его частей.

Критическая ширина сечения позволяет определить другие его геометрические параметры и использовать их для расчета несущей способности деревянных колонн с огнезащитной облицовкой и без нее.

Для расчета несущей способности деревянных колонн в условиях пожара со стандартным температурным режимом с учетом обугленной зоны предлагается метод, который рекомендуется EN 1995-1-1 и EN 1995-1-2 [8; 9].

Обоснование методики построения таблиц для оценки класса огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой. Табличный метод, описанный в [10] для расчета железобетонных и сталежелезобетонных элементов строительных конструкций на огнестойкость не имеет развития в рекомендациях, приведенных в

EN 1995-1-2 [9]. Учитывая высокую эффективность табличного метода для инженерной оценки классов огнестойкости строительных конструкций, как это было показано в работе [10], можно предположить, что разработка таких таблиц для деревянных колонн с огнезащитой позволит повысить производительность, уменьшить сложность и трудоемкость этих расчетов. Для этого было предложено использование расчетного метода на основе подходов, основные положения которых приведены выше. Эффективность этого метода и достаточная его точность подтверждена результатами огневых испытаний, как это показано в работе [10].

Построение таблиц для предложенного инженерного метода оценки классов огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитным облицовкой и без нее предложено осуществлять по методике, которая состоит в выполнении следующих процедур:

1. Выбираются наиболее значимые параметры деревянных колонн с огнезащитной облицовкой, влияющие на их огнестойкость.
2. Строятся универсальные аппроксимационные модели для решения теплотехнической и прочностных задач для деревянных колонн с огнезащитной облицовкой с переменными параметрами, значимыми по влиянию на класс огнестойкости.
3. Создается математическая модель на основе принятой регрессионной зависимости.
4. Составляется план полного факторного вычислительного эксперимента.
5. Проводится полный факторный вычислительный эксперимент с использованием созданного плана эксперимента и аппроксимационных моделей с переменными параметрами.
6. Определяются коэффициенты регрессионной зависимости и строится математическая модель зависимости предела огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой от выбранных параметров.

7. На основе построенной математической модели составляется соответствующая таблица с минимальными проектными параметрами деревянных колонн с огнезащитной облицовкой для обеспечения требуемого класса огнестойкости.

Построение плана полного факторного эксперимента. Для построения плана полного факторного эксперимента проанализированы независимые и наиболее значимые параметры, которые сказываются на огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой. При этом установлены три независимых фактора – ширина сечения колонны без огнезащиты b , толщина слоя огнезащитной облицовки $w = d \cdot n$ (n – количество слоев огнезащитной облицовки, d – толщина одного слоя), а также коэффициент действующей нагрузки по отношению к разрушающей нагрузке μ . В качестве критерия наступления предельного состояния рассматривались потеря несущей способности. Анализ графиков (см. рис. 4) [7] показывает, что предел огнестойкости нарастает по закону, близкому к линейной зависимости. Это позволяет предположить, что регрессионная зависимость предела огнестойкости по предельному состоянию потери несущей способности также будет линейной.

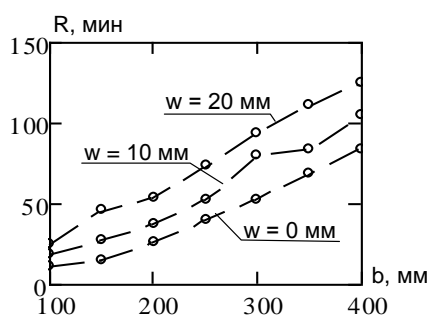


Рис. 4. Графики зависимостей предела огнестойкости по несущей способности колонн квадратного сечения от его ширины без огнезащиты ($w = 0$ мм), с огнезащитой с плитой OSB в 1 слой ($w = 10$ мм), с огнезащитой с плитой OSB в 2 слоя ($w = 20$ мм)

В таблице 1 указаны интервалы параметров в эксперименте, выбранные в качестве факторов.

Таблица 1

Интервалы варьирования факторов в численном эксперименте

Ширина сечения колонны, мм			Толщина слоя огнезащитной облицовки, мм			Коэффициент нагрузки		
Наименьшее значение, b_{-1}	Среднее значение, b_0	Наибольшее значение, b_1	Наименьшее значение, w_{-1}	Среднее значение, w_0	Наибольшее значение, w_1	Наименьшее значение, μ_{-1}	Среднее значение, μ_0	Наибольшее значение, μ_1
100	250	400	0	20	40	0,3	0,5	0,7

Математическая модель по принятым нами предположениям, соответствующая линейной зависимости предела огнестойкости по предельному состоянию потери несущей способности и наиболее значимыми факторами, имеет следующий вид [11]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3, \quad (2)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ – коэффициенты регрессии

Для определения коэффициентов регрессии в соответствии с формулой (2) необходимо провести 8 численных экспериментов по составленной для этого матрице планирования.

Для проведения полного факторного эксперимента разработаны аппроксимационные модели для решения теплотехнической и прочностных задач. Данные схемы имеют вид такой же как и схемы, разработанные выше. Для проведения исследования были приняты наиболее распространенные в строительстве колонны, длина которых составляет 3,5 м с классом прочности С24. Геометрические параметры деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой и механические характеристики древесины приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные параметры деревянных колонн с огнезащитной облицовкой

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Геометрические размеры • ширина сечения • ширина защитного слоя • длина	b w l	(см. табл. 1) (см. табл. 1) 3,5	м
Материал	Древесина - сосна конструкционная	Класс прочности С24	
Плотность древесины	ρ_B	530	кг/м ³
Теплофизические характеристики	[9]		
Предельная влажность	U	< 3	%
Предельная прочность	$f_{c,0,k}$	21	МПа
Средний модуль упругости	E_{mean}	1100	МПа

Варьируя параметры согласно таблицей 1 и таблицей 2, проводя расчеты по разработанному методу определения ширины приведенного сечения деревянной колонны, а также используя метод расчета несущей способности, рассчитаны классы огнестойкости исследуемых деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой. Полученные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3

Пределы огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой, полученные в условиях полного факторного эксперимента по принятой матрице планирования

Экспериментальные ситуации	1	2	3	4	5	6	7	8
Предел огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой, y_i , мин.	115	18	61	6	125	25	84	11

Используя данные таблицы 3 определены коэффициенты регрессионной зависимости (2) по формулам (3):

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i; \quad b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 y_i; \quad b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 y_i; \quad b_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_3 y_i; \quad (3)$$

$$b_4 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_2 y_i \quad b_5 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_3 y_i ; \quad b_6 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 x_3 y_i \quad b_7 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_2 x_3 y_i ,$$

где $N = 8$ - количество экспериментальных ситуаций согласно плану эксперимента, x_1 – размеры сечения, x_2 – толщина защитного слоя, x_3 – коэффициент нагружения, N – количество параметров, y_i – значение предела огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитным облицовкой плиты согласно таблице 3

Таким образом математическая модель, описывающая зависимость предела огнестойкости деревянной колонны с огнезащитной облицовкой на основе плит OSB (y) от размеров сечения (x_1), толщины защитного слоя (x_2) и приложенной нагрузки (x_3) имеет вид (4).

$$y = 55,625 + 40,625x_1 + 15,125x_2 - 5,625x_3 + 8,625x_1x_2 - 2,625x_1x_3 + 1,375x_2x_3 + 1,875x_1x_2x_3; \quad (4)$$

Используя полученную регрессионную зависимость построены соответствующие поверхности зависимости предела огнестойкости от выбранных наиболее значимых параметров деревянной колонны при задании различных значений действующей нагрузки, которые изображены на рис. 5. На построенных поверхностях показаны уровни, соответствующие разным значениям предела огнестойкости.

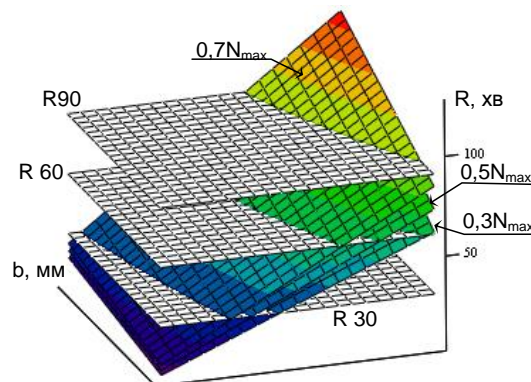


Рис. 5. Поверхности зависимости предела огнестойкости от наиболее значимых параметров деревянной колонны с огнезащитной облицовкой для различных значений действующей загрузки: b – ширина сечения, R 30, R 60, R 90 – классы огнестойкости, $0,3N_{max}$, $0,5N_{max}$, $0,7N_{max}$ – нагрузка

Для анализа влияния наиболее значимых параметров деревянной колонны с огнезащитной облицовкой на предел огнестойкости построены

взаимные зависимости данных геометрических параметров в условиях воздействия нагрузок с разным уровнем (см. рис. 6). Полученные данные позволяют провести определение минимальных размеров огнезащитной облицовки деревянных колонн для обеспечения необходимой огнестойкости.

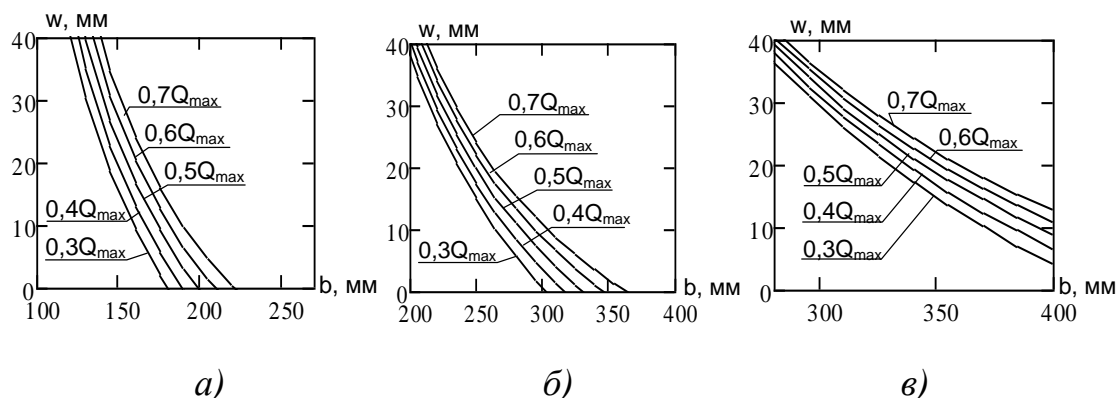


Рис. 6. Зависимости защитного слоя огнезащитной облицовки от ширины деревянной огнезащищенной колонны для обеспечения класса огнестойкости: а - R 30; б - R 60; в - R 90

Условные обозначения: w – толщина облицовки, b – ширина сечения, $0,3Q_{max}$ - $0,7Q_{max}$ – нагрузка

Проверка адекватности результатов. Используя данные по расчету для деревянных колонн с огнезащитной облицовкой определены их пределы огнестойкости при различных значениях значимых параметров по наступлению предельного состояния потери несущей способности (таблица 4). В качестве критериев адекватности результатов, определенных по регрессионной модели, были рассмотрены абсолютное и относительное отклонение.

Таблица 4

Адекватность результатов, определенных по регрессионной зависимости для деревянной колонны 300×300 квадратного сечения с огнезащитной облицовкой в 2 слоя

Предел огнестойкости по расчету, мин	Предел огнестойкости по регрессионной зависимости, мин	Абсолютное отклонение, мин	Относительное отклонение, %
Уровень нагрузки $0,3Q_{max}$			
96	82	14	14,6

Уровень нагрузки $0,5Q_{max}$			
77	72	5	5,2
Уровень нагрузки $0,7Q_{max}$			
68	62	6	8,8
Среднее значение			
-	-	8,3	9,5

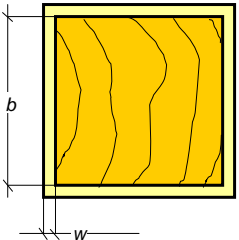
Данные таблицы 4 показывают, что погрешность результатов, полученных с регрессионной моделью является незначительной и данная регрессионная зависимость может быть использована для обоснования конструктивных параметров деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитным облицовкой для обеспечения необходимого класса их огнестойкости.

Обоснование разработанного табличного метода для оценки класса огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой.

Построенные регрессионные зависимости использованы для создания таблицы минимальных размеров деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой для обеспечения необходимой огнестойкости. Для этого определены минимальные размеры, приведенные в таблице 5.

Таблица 5

Размеры деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой для обеспечения заданного класса огнестойкости

		Условия применения Колонна высота $b \geq 100$ мм Огнезащитная облицовка: плита OSB Толщина з.с. $0 \leq w \leq 40$ мм	Классы огнестойкости			
			R 30	R 60	R 90	R 120
1	Минимальные размеры сечения для уровня нагрузки $\eta_{fi,t} \leq 0,3$ ширина / толщина защитного слоя (мм)	100/40 200/0 300/0 400/0	200/20 300/0 400/0	300/30 400/4	300/40 400/25	

2	Минимальные размеры сечения для уровня нагрузки $\eta_{fi,t} \leq 0,5$ ширина / толщина защитного слоя (мм)	200/0 300/0 400/0	200/35 300/8 400/0	300/34 400/9	400/28
3	Минимальные размеры сечения для уровня нагрузки $\eta_{fi,t} \leq 0,7$ ширина / толщина защитного слоя (мм)	200/4 300/0 400/0	200/40 300/12 400/0	300/38 400/13	400/30

Таким образом, разработан табличный метод, позволяющий эффективно определить проектные данные огнезащитной облицовки плитами OSB деревянных колонн квадратного сечения для обеспечения требуемого класса огнестойкости. Данные таблицы 5, определены с учетом погрешности 9,5 % при увеличении минимальных размеров. При этом табличные данные позволяют спроектировать огнезащитную облицовку деревянных колонн квадратного сечения с гарантированным классом огнестойкости, который указан в таблице 5. Это позволяет дополнить вторую часть Eurocode 5 дополнительными данными для проектирования огнезащитной облицовки деревянных колонн квадратного сечения с гарантированной огнестойкостью.

Выводы

1. На основе результатов, полученных в ходе проведения полного факторного эксперимента, построена математическая модель, описывающая закономерность изменения предела огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой на основе плит OSB от их типовых размеров ширины, толщины облицовки и уровням нагрузки.

2. Доказано, что построенная математическая модель позволяет получать адекватные результаты, поскольку их средняя погрешность составляет менее 9,5 %.

3. На основе регрессионной линейной зависимости обоснован расчетный табличный метод оценки класса огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой ориентированно-стружечными плитами OSB.

4. Показано, что разработанный табличный метод оценки класса огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой ориентированно-стружечными плитами OSB в силу своей простоты и минимальной трудоемкости может служить дополнением к методической базе расчетных методов оценки огнестойкости деревянных конструкций второй части Eurocode 5.

Литература

1. Змага Я.В. Расчетный метод повышенной точности для оценки предела огнестойкости деревянных балок с огнезащитной пропиткой: Автореф. дис. на получение науч. степени канд. тех. наук: спец. 21.06.02 «Пожарная безопасность» / Я.В. Змага. - Харьков 2016.
2. Демешок В.В. Расчетный метод оценки огнестойкости деревянной плиты перекрытия с помощью метода конечных элементов / В. Демешок // Научный вестник: гражданская защита и пожарная безопасность. – Киев. – 2016. – № 2. – С. 67-74.
3. Barber D., Gerard R., Summary of the fire protection foundation report - fire safety challenges of tall wood buildings, (2015), available online: <https://firesciencereviews.springeropen.com/articles/10.1186/s40038-015-0009-3>.
4. Jones B. Modeling the Performance of Gypsum Plasterboard Assemblies Exposed to Real Building Fires and Standart Furnace Tests / B. Jones, H. Gerlich, A. Buchanan // Proceedings of the 4th International Conference

on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods (Melbourne, Australia, 2002).

5. Фещук Ю.Л. Экспериментальные исследования поведения деревянных колонн с огнезащитной облицовкой в условиях пожара [Электронный ресурс] / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздеев, В.В. Нижник / Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2017. – Вып. 42. – С. 155-164. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety//vol42/feshchuk.pdf>.
6. Фещук Ю.Л. Методика экспериментальных исследований поведения деревянных колонн с огнезащитной облицовкой и без нее в условиях пожара / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздеев, В.В. Нижник, О.П. Борис, Ю.В. Долишний // Научный вестник: гражданская защита и пожарная безопасность. – Киев, 2017. – № 1 (3). – С. 98-102.
7. Фещук Ю.Л. Геометрия зоны обугливания деревянных колонн с огнезащитной облицовкой и без нее в условиях пожара / Ю.Л. Фещук // Научный вестник: гражданская защита и пожарная безопасность. – Киев, 2018. – № 1 (5). – С. 4-12.
8. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий (EN 1995-1-1: 2004, IDT) ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1: 2010 [введен 01.01.2014] Минрегионстроя Украины от 27.12.2010 г. № 549 - 244 с - (Национальный стандарт Украины).
9. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-2. Общие правила. Расчет конструкций на огнестойкость (EN 1995-1-2: 2004, IDT) ДСТУ-Н Б EN 1995-1-2: 2012 [введен 01.07.2013] Минрегионстроя Украины от 21.12.2012 г. № 652 - 90 с - (Национальный стандарт Украины).

10. Vassart O., Zhao B., Cajot L.-G., Robert F., Meyer U., Frangi A. Eurocodes: background & applications. Structural Fire Design. Worked examples. Luxemburg: Publication Office of the European Union. – 2014. – 252 p.
11. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Хикс Ч. – М.: Мир, 1967. – 406 с.