

Проблемы и перспективы в области огнестойкости деревянных конструкций для высотных зданий

© Т. Ю. Еремина, Ф. А. Портнов ✉

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

РЕЗЮМЕ

Введение. Значимой проблемой в области строительства в Российской Федерации является невозможность возведения высотных деревянных объектов. Для решения данной проблемы необходимо изучить состояние вопроса за рубежом и в Российской Федерации и проанализировать перспективы развития этого направления.

Основная (аналитическая) часть. В статье приведены примеры возведения современных объектов (в Берлине, Лондоне, Мельбурне и других городах), отражающие состояние высотного деревянного строительства за рубежом. В рассмотренных зданиях совместно с преобладающими деревянными конструктивными и деревосодержащими отделочными материалами использованы железобетонные конструктивные элементы, необходимые для реализации сложных технических систем, что позволяет значительно сократить сроки их возведения. Кроме того, выбранный подход позволяет обеспечить значительную экологичность зданий и сооружений: благодаря использованию деревосодержащих материалов консервируются огромные объемы углекислоты и значительно снижаются ее выбросы в атмосферу во время строительных работ. В работе отражены основные положения технического регулирования в области нормирования пожарной безопасности строительных материалов и конструкций в Российской Федерации. Показано, что основные причины невозможности использования деревянных конструкций в высотных зданиях связаны с особенностями технического регулирования в Российской Федерации, в частности с отсутствием необходимых методик для проведения испытаний и сертификации деревосодержащих строительных конструкций в высотном строительстве. Показана необходимость оптимизации существующих методов для испытания деревянных строительных конструкций. Приведены примеры различных документов, регламентирующих производство и использование деревянных и композитных строительных конструкций. В работе детально отражен международный опыт реализации основных положений нормативных документов, а также европейские испытания на огнестойкость, что показывает возможность реализации подобного опыта в Российской Федерации.

Выводы. Для разработки нормативной основы для возможности использования конструкций из древесины в высотном строительстве необходимо проведение крупномасштабных экспериментов на деревянных конструкциях в целях изучения их огнестойкости. При этом необходимо учитывать особенности горючих строительных материалов.

Ключевые слова: нормирование в строительстве; крупномасштабные огневые испытания; зарубежный опыт; пожарная безопасность; эксплуатационные характеристики конструкций.

Для цитирования: Еремина Т. Ю., Портнов Ф. А. Проблемы и перспективы в области огнестойкости деревянных конструкций для высотных зданий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2020. — Т. 29, № 2. — С. 34–43. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.34-43.

✉ Портнов Федор Александрович, e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Problems and perspectives of fire resistance for wooden constructions in high-storey buildings

© Tatyana Yu. Eremina, Fedor A. Portnov ✉

National Research Moscow State University of Civil Engineering
(Yaroslavlshosseye, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. A significant problem in construction area in the Russian Federation is the impossibility of high-rise wooden building. To solve this problem, it is necessary to study the state of the issue abroad and in the Russian Federation, and analyze the development prospects of this area.

Main (analytical) part. The article provides examples of modern facilities (in Berlin, London, Melbourne and other cities), reflecting the state of high-rise wooden construction abroad. In the buildings considered, together with the predominant wooden structural and wood-containing finishing materials, reinforced concrete structural elements necessary for the implementation of complex technical systems are used, which can significantly reduce the time of their construction. In addition, the chosen approach allows to enhance environmental friendliness of buildings and structures, — due to the use of wood-containing materials, huge volumes of carbon dioxide are preserved and its emissions into the atmosphere during construction work are significantly reduced. The paper

reflects the main provisions of technical regulation in the field of fire safety of building materials and structures in the Russian Federation. It is shown that the main reasons for the impossibility of using wooden structures in high-rise buildings are related to the peculiarities of technical regulation in the Russian Federation, in particular, the lack of the necessary methods for testing and certification of wooden building structures in high-rise construction. The necessity to optimize existing methods for testing wooden building structures is shown. Examples of various documents regulating the production and use of wooden and composite building structures are given. The work reflects in detail the international experience in the implementation of the main provisions of regulatory documents, as well as European tests for fire resistance, which shows the possibility of implementing such an experience in the Russian Federation.

Conclusions. To develop a regulatory framework for the possibility of using wood structures in high-rise construction, it is necessary to conduct large-scale experiments on wooden structures in order to study their fire resistance. In this case, it is necessary to take into account the features of combustible building materials.

Keywords: standardization in building; large-scale fire tests; foreign experience; fire safety; structural performance.

For citation: T. Yu. Eremina, F. A. Portnov. Problems and perspectives of fire resistance for wooden constructions in high-storey buildings. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2020, vol. 29, no. 2, pp. 34–43 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.34-43.

✉ Fedor Aleksandrovich Portnov, e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Введение

На протяжении четверти столетия вопросами исследования огнестойкости деревянных конструкций занимаются специалисты многих стран мира (Россия, Франция, США, Канада, Швейцария). Тем не менее по сравнению с традиционными строительными конструкциями эти исследования носят ограниченный характер. Это связано с редким применением деревянных конструкций в строительстве высотных зданий и отсутствием соответствующих методик проведения их испытаний. Особенно остро данный вопрос стоит в России. Одним из перспективных направлений исследований в области деревянного строительства является анализ поведения фрагментов зданий в условиях крупномасштабных огневых испытаний. Актуальность этих исследований связана с зарубежным опытом в данной области, который описан в ряде научных работ [1–3].

Современные технологии (клееная древесина, в частности CLT-панели (*Cross Laminated Timber*), композиты на основе ацетилированной древесины) позволяют создавать деревянные конструктивные элементы различных размеров и профилей, однако исходная древесина обладает высокой пожарной опасностью. Горючесть древесины исторически ограничивает ее использование в качестве строительного материала, что отражено в строительных нормах большинства стран, особенно для высотных зданий.

Целью настоящей работы является анализ состояния вопроса высотного деревянного строительства в целях обоснования необходимости разработки нормативных положений о возможности использования конструкций из древесины в высотном строительстве.

Задачи исследования:

- анализ зарубежного опыта строительства высотных зданий с использованием деревянных конструкций;

- оценка характеристик деревянных конструкций при использовании их в высотном строительстве и анализ методов оценки этих конструкций;
- оценка состояния российского сегмента строительства с точки зрения наличия действующих норм по оценке пожарной опасности древесных конструкций и материалов;
- анализ зарубежной нормативной базы в целях разработки российских аналогов в этой области.

Основная (аналитическая) часть

В ряде зарубежных стран в течение многих лет активно используют строительные конструкции из древесины для возведения высотных, в том числе жилых, зданий и сооружений. Весьма значимую роль в широком применении таких конструкций в высотном строительстве играют их исключительные эксплуатационные характеристики и экологическая сторона, что отражается во множестве научно-исследовательских работ [4–8]. В настоящей статье приведены наиболее значимые объекты высотного деревянного строительства.

В семиэтажном жилом здании Е3 в Берлине, построенном в 2008 г., все этажи, кроме цокольного, возведены из сборных деревянных конструктивных элементов. Несущая конструкция — каркас из клееных деревянных колонн и балок сечением 30×30 см, в который установлены массивные деревянные панели перекрытий и глухих стен, изготовленные по методу *brettstapel* (доски поставлены на кромку и скреплены гвоздями). Все промежутки между колоннами — глухие (панели) или остекленные [9], с широкими “французскими” окнами. После установки деревянных панелей перекрытий каждого этажа на них укладывали арматуру и заливали бетонную часть перекрытия. Таким образом, междуэтажная конструкция гибридная: нижняя часть — деревянная, верхняя — монолитная железобетонная. Деревянную поверхность в дальнейшем, на этапе

отделки, оставляли открытой, в результате чего все потолки в квартирах деревянные. На каждом этаже находится по одной квартире. Планировки всех квартир разные. Снаружи здания возведена открытая железобетонная лестница. Стены утеплены минеральной ватой и оштукатурены. Открытые колонны выполнены из стали и также покрыты штукатуркой по минераловатным матам.

Девятиэтажный дом Stadthaus в Лондоне, построенный в 2009 г., возведен с использованием многослойных клееных элементов из древесины. Значительное количество конструктивных элементов и проемов было изготовлено на высокоточном оборудовании на заводе, что обеспечило их высокое качество. Данная постройка была возведена менее чем за 50 недель, а на здание из подобных железобетонных конструкций (ЖБК) потребовалось бы времени примерно вдвое больше. Кроме того, для возведения несущих элементов понадобилось всего четыре строителя. Значительно снизились расходы на строительство в связи с возможностью использования менее сложных грузоподъемных механизмов.

Многэтажное здание Bridport в Лондоне возведено в 2011 г. В связи с особенностями строительного участка размещение тяжелых железобетонных конструкций было невозможно. Разумной альтернативой стало использование в качестве основного строительного материала многослойных клееных деревянных панелей. На возведение конструкции потребовалось лишь 12 недель. Для этого здания на заводе Stora Enso в Австрии изготовили 1576 м³ панелей CLT, которые были привезены в Лондон и доставлены на площадку с уже прикрепленными теплоизоляционными плитами из натурального волокна. Снаружи здание облицовано кирпичом. Внешний облик эффектно дополняют металлические консоли балконов. Здание выглядит так, как будто построено из кирпича, как и многие здания в Лондоне. Проект здания отмечен рядом общественных премий, в том числе за экологически ответственное строительство (в частности, за минимизацию так называемого углеродного следа). Согласно расчетам компании Wilmott Dixon благодаря выбору в пользу деревянного здания вместо бетонного в древесине конструкций законсервировано 2113 т углекислоты.

Жилое здание Forte Living высотой 32,2 м в Мельбурне возведено в 2012 г. с использованием 759 панелей, произведенных австрийской компанией KLN и доставленных в Австралию в 25 контейнерах. Здание является ярким примером комбинации железобетонных и деревянных конструкций. Для защиты нижних ярусов от насекомых было принято решение выполнить их из железобетона. Остальные конструкции здания изготовлены с исполь-

зованием деревянных конструктивных элементов. Деревянная конструкция собрана за 38 дней. Здание отвечает тем же требованиям по шумоизоляции и огнестойкости, что и железобетонное. Применение древесных материалов вместо бетона позволило предотвратить выброс в атмосферу и законсервировать в конструкциях здания 1451 т углекислоты. Ориентация застройщика на “зеленое” строительство проявилась не только в выборе конструкционного материала, но и в ряде ресурсосберегающих решений (светильники LED, система сбора дождевой воды и др.). Стоит отметить и широкие балконы с мини-огородами. Проекту присвоен сертификат Green Star Австралийского совета по экологически ответственному (“зеленому”) строительству (GBCA).

Девятиэтажный жилой комплекс Via Cenni возведен в Милане в 2013 г. Название объекта можно перевести как “здание с продуманным жизненным циклом”. Технология, предложенная компанией Cree GmbH, предполагает использование гибридных конструктивных элементов из клееной древесины, каркасных деревянных конструкций и железобетона. Лифтово-лестничный узел и цоколь здания выполнены из железобетона. Для стен применено довольно оригинальное решение — каркасные деревянные панели с уже прикрепленными к ним клееными деревянными колоннами. У сборных панелей перекрытия нижняя часть выполнена из клееных балок, верхняя — из железобетона. Эти части связаны арматурой и работают как одно целое, что обеспечивает высокую несущую и шумоизолирующую способность при существенной экономии основных стройматериалов. Клееные балки панелей перекрытия снизу остаются открытыми, являясь, наряду с деревянными колоннами, украшением интерьера, а пространство между балками используется для скрытой прокладки коммуникаций.

Четырнадцатипятиэтажный жилой дом Treet Bergen возведен в Бергене в 2015 г. По данным застройщика Bergen and Omegn Building Society (BOB) уже на начальном этапе строительства из 62 квартир этого дома половина были проданы. Особенностью проекта является сочетание в конструкции каркасных деревянных модулей, поставляемых с завода Kodumaja (Эстония) уже с готовой внутренней отделкой и установленными инженерными системами, и наружного мощного каркаса из клееных деревянных элементов метровой толщины в виде крупногабаритных ферм, поставляемых с завода Moelven (Норвегия). На завершающем этапе строительства здания был возведен фасад из стекла и бетонных элементов.

Здание Brock Commons в Канаде, построенное для проживания студентов, представляет собой совмещение технологий деревянного строительства и объемного с использованием железобетона. Фонда-

мент состоит из бетона, а для создания устойчивости здания конструкцию поддерживают железобетонные стержневые элементы. Кроме того, в таких значимых для обеспечения безопасности людей элементах, как лифтовые шахты и лестничные клетки, не обошлось без применения металлических конструкций. Остальная часть здания возведена исключительно из конструкций с использованием древесины. Эта особенность здания вместе с большим количеством древесных отделочных материалов обеспечивает его высокую экологичность, что наблюдалось и при строительстве, так как было отмечено значительное снижение выброса углекислого газа за счет использования большого количества древесных материалов вместо традиционных.

Деревянный комплекс NoHo Wien высотой 84 м, площадью 25 тыс. м² состоит из трех корпусов. В небоскребе есть жилая и деловая зоны, отель, ресторан, спортивный, косметический и оздоровительный центры. Около 75 % постройки (каркас, фасад, стены, отделка помещений) составляет дерево. По технологии деревянное здание возводится вокруг железобетонного колодца с лифтовыми шахтами, лестницами, коммуникациями и инженерными системами.

Десятиэтажный жилой комплекс Banyan Wharf с одно-, двух- и трехкомнатными апартаментами выполнен из стали и многослойной клееной древесины.

Благодаря использованию деревянных конструкций обеспечивается:

- экологичность строительства;
- устойчивость конструкции здания;
- теплоустойчивость здания;
- экономичность изготовления элементов;
- скорость монтажа.

В целом исследования огнестойкости деревянных конструкций носили ограниченный характер по сравнению с традиционными строительными конструкциями (металлические, железобетонные), так как деревянные конструкции применялись при проектировании высотных зданий крайне редко. Это связано также с отсутствием соответствующих методик проведения их испытаний. В международной практике при испытаниях на огнестойкость применяются следующие нормативные документы: ISO 834-1:1999 “Fire-Resistance Tests — Elements of Building Construction — Part 1: General Requirements”, ASTM E 119 “Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials”, ГОСТ 30247.0–94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования”, ГОСТ 30247.1–94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции”, ГОСТ 30403–2012

“Конструкции строительные. Метод испытаний на пожарную опасность”, ГОСТ Р 53309–2009 “Здания и фрагменты зданий. Метод натурных огневых испытаний. Общие требования”.

Одним из перспективных направлений по оценке огнестойкости деревянных конструкций для высотных зданий является анализ поведения фрагментов зданий в условиях крупномасштабных огневых испытаний.

Возможности проведения крупномасштабных специализированных исследований с натурными испытаниями фрагментов зданий привлекают внимание большого круга специалистов в области комплексной безопасности. В международном масштабе существует потребность в крупномасштабных специализированных испытаниях, результаты которых могут использоваться совместно различными странами. Крупномасштабное специализированное оборудование доступно в NIST, FM Global, Канадском национальном научно-исследовательском совете и Университете Карлтона в Оттаве, во Франции, в Японии и Австралии.

Международный опыт свидетельствует о том, что выбор высоты здания при проведении крупномасштабных специализированных исследований с натурными испытаниями его фрагментов имеет решающее значение. Для малоэтажных зданий обеспечение безопасности людей означает выполнение условия безопасной эвакуации из здания. В высотных зданиях многие люди могут оказаться над этажом возникновения пожара. Для зданий до 8 этажей (высота пожарных лестниц) существует возможность пожаротушения и спасения людей с помощью лестниц, но применение этих способов становится затруднительным, когда высота здания увеличивается более чем на 3 или 4 этажа. Чем больше высота здания, тем выше вероятность возникновения пожара на верхних этажах и вероятность блокирования людей на этажах выше этажа возникновения пожара [10]. При проектировании деревянных зданий высотой более 8 этажей требуется предусматривать увеличенную огнестойкость конструкций по сравнению с нормативной.

Существует также опасность вертикального распространения огня через окна, по деревянным фасадным облицовкам. Известно, что многие архитекторы рассматривают деревянные облицовочные покрытия как неотъемлемую часть деревянных зданий, по крайней мере при высоте до 8–10 этажей.

Кроме того, если огонь распространяется до отметки, которая выше максимальной высоты пожарных лестниц, для обеспечения безопасности людей необходимы соответствующие пределы огнестойкости конструкций и здания.

Таким образом, основное внимание в международных исследованиях уделяется огнестойкости деревянных конструкций и деревянных конструктивных элементов для узлов, соединений и поведению в условиях пожара композитных деревосодержащих материалов для изготовления фасадных деревянных панелей.

В Российской Федерации в соответствии со ст. 87 и табл. 21, 28 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ) использование деревянных конструкций в высотных зданиях ограничено.

Методология испытаний

В Российской Федерации возможность использования древесины в строительстве определяется группой испытаний, которые разделяются на испытания древесины в качестве строительного материала и в качестве строительной конструкции. Соответственно, древесине присваивается как класс пожарной опасности строительных материалов, так и класс пожарной опасности строительных конструкций [11, 12].

В Российской Федерации основным документом, регламентирующим проведение испытаний деревянных строительных конструкций, является ГОСТ 30403–2012. При испытаниях других типов строительных конструкций проводится оценка пределов огнестойкости металлических и железобетонных конструкций. Тем не менее в российских

нормативных документах отсутствуют положения и требования, необходимые для испытаний подобных деревянных конструкций.

В ГОСТ 30247.1–94 предельным состоянием по потере несущей способности (R) является обрушение конструкции или возникновение предельных деформаций. Кроме того, в данном документе регламентируется предельное состояние по теплоизолирующей способности (I), которое ограничивается достижением предельных температур на необогреваемой поверхности, а также по потере целостности (E) при возникновении сквозных отверстий и трещин, что приводит к проникновению сквозь них продуктов горения и пламени.

В ГОСТ Р 53295–2009 “Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности” описан метод определения времени достижения предельного состояния, характеризующегося критической температурой внутри образца или на его необогреваемой поверхности.

Метод, приведенный в ГОСТ 30403–2012, позволяет оценивать поведение строительной конструкции в натурных условиях: часть образца находится в огневой камере, что симулирует пожар, а часть отделена перегородкой с проемом, что позволяет оценивать поведение необогреваемых конструкций в случае возникновения пожара. На основании результатов подобных испытаний строительным конструкциям может быть присвоен класс пожарной опасности.

Таблица 1. Испытания по определению пожароопасных характеристик материалов в Российской Федерации

Table 1. Tests to determine the fire hazard characteristics of materials in the Russian Federation

Документ / Document	Основные положения / Keypoints
ГОСТ Р 57270–2016 “Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть” GOST R 57270–2016 “Building materials. Methods for combustibility tests”	Устанавливает методы определения группы строительных материалов по горючести на основании ряда параметров: температуры дымовых газов, степени повреждения по массе и длине, а также продолжительности самостоятельного горения It establishes methods to determine the combustibility of building materials based on a number of parameters of flammability: the temperature of smoke gases, the extent of damage by weight and length, as well as the duration of self-burning
ГОСТ Р 51032–97 “Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени” GOST R 51032–97 “Building materials. Spread flame test method”	Устанавливает метод определения группы по распространению пламени на основании определения критической поверхностной плотности теплового потока, необходимой для горения образца Establishes a method to determine the group of flame spread based on the determination of the critical surface density of the thermal flow necessary for the combustion of the sample
ГОСТ 12.1.044–89 “Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения” GOST 12.1.044–89 “Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination”	Устанавливает методы определения группы по дымообразующей способности исходя из степени снижения видимости при дымообразовании образца, подвергающегося термическому разложению, а также группы по токсичности продуктов термического разложения на основании их воздействия на подопытных животных Establishes methods to determine the group of smoke-forming ability based on the degree of reduced visibility in the smoke formation of a sample subjected to thermal decomposition, as well as the toxicity group of thermal decomposition products based on their impact on experimental animals

Таблица 2. Зарубежные нормативные документы, регламентирующие производство и применение деревянных строительных конструкций / **Table 2.** Foreign regulations for production and use of wooden building structures

Документ, организация, страна Document, organization, country	Основные положения Keypoints
Fire Safety in Timber Buildings — Technical Guideline for Europe. SP Report 2010:19, Швеция [13] Fire Safety in Timber Buildings — Technical Guideline for Europe. SP Report 2010:19, Sweden [13]	Справочная информация и методы проектирования для деревянных зданий, которые должны иметь такую же пожарную безопасность, что и здания из других материалов. Системы классификации по реакции на воздействие огня строительных изделий, огнестойкость элементов конструкций, огнестойкость кровель, огнезащитные свойства облицовок. Пределы огнестойкости изделий из древесины в соответствии с европейской системой классификации: деревянные панели; конструкционные пиломатериалы; клееный брус (Glulam); панели из массива и деревянные полы. Характеристики класса К для деревянных облицовок с огнезащитной обработкой. Расчетные методы для противопожарных преград из древесины. Методы проверки структурной устойчивости деревянных конструкций в случае пожара с применением классификации по огнестойкости по критерию R. Основные требования к композитным материалам. Решения по предотвращению распространения огня между частями здания Information and design methods for wooden buildings that should have the same fire safety as buildings made of other materials. Systems of classification of the reaction to the impact of fire construction products, fire resistance of elements of structures, fire resistance of roofs, fire retardant properties of cladding. Limits of fire resistance of wood products in accordance with the European classification system: wooden panels; structural lumber; glued beam (Glulam); panels made of wooden array and wooden floors. K class characteristics for wood cladding with fire retardant treatment. Calculated methods for fire barriers from wood. Methods to check the structural stability of wooden structures in the event of a fire using the classification of the R criterion on fire resistance. Basic requirements for composite materials. Decisions to prevent the spread of fire between parts of the building
R. Gerard, D. Barber, A. Wolski, 2013. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings. Arup North America Ltd. San Francisco, CA, and Fire Protection Research Foundation Quincy, MA, U.S.A [14]	Всесторонний анализ проблем, необходимый для будущих исследований и испытаний: испытания на огнестойкость инновационных деревянных конструкций и смешанных решений; полномасштабные/крупномасштабные огневые испытания макетов высоких деревянных каркасов; экономический анализ для количественной оценки строительства, эксплуатации и стоимости высотных деревянных зданий; эффективный обмен информацией о рисках Comprehensive analysis of the problems needed for future research and testing: test on fire resistance of innovative wooden designs and mixed solutions; full-scale/large-scale fire tests of high wooden frame layouts; economic analysis to quantify the construction, operation and cost of high-rise wooden buildings; effective sharing of information about risks
FP Innovations, 2013, проект “Технического руководства по проектированию и строительству высоких деревянных зданий в Канаде” FP Innovations, 2013, Project “Technical guidance for the design and construction of tall wooden buildings in Canada”	Разработка “альтернативного проекта”, который соответствует минимальным требованиям к “приемлемым решениям” NBCC (National Building Code of Canada) Develop an “alternative project” that meets the minimum requirements for “acceptable solutions” NBCC (National Building Code of Canada)

Для решения проблемы необходима оптимизация нормативных положений, регламентирующих проведение испытаний для деревянных конструкций (табл. 1).

Так, при испытаниях изгибаемых конструкций по ГОСТ 30247.1–94 предельным состоянием по

потере несущей способности является обрушение конструкции или возникновение предельных деформаций, что может быть использовано в рамках исследования деревянных конструкций. Известно, что расчетным критерием для определения предела огнестойкости древесных конструкций (например,

деревянной балки) является время достижения предельной площади сечения, при котором прочность сечения станет равной расчетному изгибающему моменту от нагрузки. Очевидно, что современные методы расчета должны иметь экспериментальное подтверждение, что в свою очередь требует разработки соответствующих методов испытаний.

Достаточно проработанным в Российской Федерации является вопрос определения класса пожарной опасности строительных материалов, который складывается из групп пожарной опасности. По совокупности характеристик материалов конструкций по пожарной опасности устанавливается класс конструктивной пожарной опасности здания.

В европейских странах в рамках программы “Деревянная Европа” и аналогичных программ разрабатываются различные документы, регламентирующие производство и использование деревянных и композитных строительных конструкций (табл. 2).

Международный опыт реализации основных положений нормативных документов

Вопросы огнесохранности древесных материалов и конструкций рассматриваются в большом количестве зарубежных научных работ [13–16]. Ванкуверский архитектор Майкл Грин (Michael Green) (2012) представил возможные проекты 10-, 20- и

Таблица 3. Европейские испытания на огнестойкость / **Table 3.** European fire resistance tests

Испытания / Tests	Основные результаты / Key results
Hakkarainen, 2002: комнатные испытания на огнестойкость деревянных конструкций с инкапсуляцией и без нее Hakkarainen, 2002: room tests on fire resistance of wooden structures with and without encapsulation	Температура в помещении во время пожара во всех случаях была одинаковой, но из-за некапсулированных (без конструктивной огнезащиты) деревянных конструкций наблюдался сильный выброс пламени из окон. Это было вызвано негоревшими газами, образующимися в помещении из-за недостатка кислорода The temperature in the room during the fire in all cases was the same, but from un-encapsulated (without constructive fire protection) wood structures there was a strong flame coming out of the windows. This was caused by unburned gases forming indoors due to lack of oxygen
Frangi and Fontana, 2005: испытания в Швейцарии Frangi and Fontana, 2005: Tests in Switzerland	Результаты, аналогичные Hakkarainen, 2002. Продemonстрировано также, что путем адекватной защиты конструкции древесины можно добиться полного выгорания пожарного отсека без применения пожаротушения без какого-либо существенного повреждения структуры древесины. Серия испытаний, выполненных с активированным спринклером, подтвердила, что с помощью спринклерной системы с быстрым откликом влияние горючей конструкции на пожарную безопасность компенсируется и цели пожарной безопасности могут быть достигнуты и при наличии горючих деревянных конструкций. Несмотря на быстрое развитие пожара, конструкция не была повреждена, потому что спринклерная система потушила пожар на ранней стадии Results similar to Hakkarainen, 2002. It has also been demonstrated that by adequately protecting the wood structure, it is possible to achieve the complete burnout of the fire compartment without the use of firefighting, without any significant damage to the structure of the wood. A series of tests performed with an activated sprinkler confirmed that with a rapid response sprinkler system, the impact of combustible structures on fire safety is compensated and fire safety targets can be achieved with availability of combustible wooden structures. Despite the rapid development of the fire, the structure was not damaged because the sprinkler system extinguished the fire at an early stage
Frangi et al., 2008: полномасштабное испытание 3-этажного здания, изготовленного из панелей CLT, в условиях естественного пожара; панели CLT защищены одним или двумя слоями негорючих гипсокартонных листов Frangi et al., 2008: a full-scale test of a three-storey building made of CLT panels was carried out in a natural fire environment; CLT panels were protected by one or two layers of non-flammable drywall sheets	Испытания подтвердили, что с помощью конструктивных мер можно ограничить распространение огня в одном помещении даже при наличии деревянных конструкций The test confirmed that with the help of constructive measures it is possible to limit the spread of fire in one room even if there are wooden structures

30-этажных деревянных зданий в документе “The Case for Tall Wood Buildings — How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures”.

Skidmore Owings и Merrill (SOM, 2013) подготовили технико-экономическое обоснование для 42-этажного деревянного здания в Чикаго “The Timber Tower Research Project”, основанное на анализе существующей железобетонной башни того же размера. В работе подчеркнута необходимость анализа времени выгорания и исключения распространения пожара по этажам [10]. Рекомендованы также испытания на воспламеняемость (табл. 3).

Бьюкенен (2001) в документе “Structural Design for Fire Safety” выделяет четыре критерия, которые учитываются при определении уровня огнестойкости в зависимости от размера и типа здания:

- время безопасной эвакуации;
- время проведения спасательных работ пожарными;
- время локализации и ликвидации огня пожарными;
- полное выгорание пожарного отсека без вмешательства пожарных подразделений.

Таким образом, еще раз подчеркнем, что при реализации проектов с заданными технико-экономическими показателями различные национальные нормативные документы по пожарной безопасности содержат следующие требования, направленные на обеспечение:

- заданных техническими регламентами пределов огнестойкости конструкций и степени огнестойкости здания;
- пожаробезопасности, эквивалентной стальной или бетонной конструкции, соответствующей стандартам;
- фактических пределов огнестойкости (для обеспечения безопасной эвакуации и/или пожаротушения);
- огнесохранности до полного выгорания при отсутствии пожаротушения.

Высотные здания должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить очень низкую вероятность распространения пожара на верхние этажи и очень низкую вероятность разрушения конструкции в любой момент пожара, независимо от того, есть ли способы влияния на развитие пожара (пожарные подразделения, системы пожаротушения) [10].

Заключение

Для разработки нормативных положений о возможности использования конструкций из древесины в высотном строительстве необходимо проведение крупномасштабных экспериментов на деревянных конструкциях. Основной тенденцией в данных экспериментах является анализ модели “выгорания пожарных отсеков” и исследование разрушения конструкций и вертикального распространения огня. Необходима оптимизация методологических положений в техническом регулировании данного вопроса. На основании подобной оптимизации возможно расширение научно-технической базы. Научные работы, которые могут быть основой для дальнейших исследований в этой области, уже проводятся российскими специалистами [17–20].

В связи с увеличением объемов строительства многоэтажных деревянных зданий важно тщательно учитывать свойства горючих материалов, в частности когда не предусмотрена герметизация или устройство спринклеров. Например:

- определить поведение деревянных конструкций (с учетом сечения, пород древесины, структуры конструкции) в условиях пожара;
- исследовать развитие пожара при наличии пустот в вертикальных и горизонтальных деревянных конструкциях;
- определить влияние активной и пассивной противопожарной защиты на возможность снижения пределов огнестойкости конструкций и степени огнестойкости здания;
- прогнозировать пределы огнестойкости в случае отказа активной и пассивной противопожарной защиты;
- определить скорость обугливания как функции воздействия огня и исследовать условия самозатухания обугленной деревянной конструкции для моделирования расчетных значений пожара;
- способствовать созданию международной базы данных о времени разрушения облицовки и определить характер распространения пожара по деревянным фасадным облицовкам в высотных зданиях;
- изучить эксплуатационные характеристики и устойчивость различных типов соединений в условиях пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hodgin D. A.* Mid-rise wood frame construction: a good idea or are we asking for trouble? // Eighth Congress on Forensic Engineering (November 29 – December 2, 2018, Austin, Texas). — Reston, Virginia : American Society of Civil Engineers, 2018. — P. 62–72. DOI: 10.1061/9780784482018.007.
2. *Wimmers G.* Wood: a construction material for tall buildings // Nature Reviews Materials. — 2017. — Vol. 2, No. 12. — Article Number 17051. DOI: 10.1038/natrevmats.2017.51.

3. Mohammadi J., Ling L. Can wood become an alternative material for tall building construction? // *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. — 2017. — Vol. 22, No. 4. — Article Number 04017014. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000334.
4. Деглиз К. “Экологический менеджмент” лесов и изделий из древесины // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*. — 2017. — Т. 21, № 4. — С. 6–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.
5. Pastori Z., Czipy I., Gorbacheva G. A. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*. — 2017. — Vol. 21, No. 4. — P. 89–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-89-94.
6. Pasztory Z., Peralta P. N., Molnar S., Peszlen I. Modeling the hygrothermal performance of selected North American and comparable European wood-frame house walls // *Energy and Buildings*. — 2012. — Vol. 49. — P. 142–147. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.02.003.
7. Ramage M. H., Burrige H., Busse-Wicher M., Fereday G., Reynolds T., Shah D. U., Wu G., Yu L., Fleming P., Densley-Tingley D., Allwood J., Dupree P., Linden P. F., Scherman O. The wood from the trees: The use of timber in construction // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2017. — Vol. 68. — P. 333–359. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.107.
8. Kaushik K., Tannert T. Feasibility study of a novel tall concrete-wood hybrid system // *Structures Congress 2017: Business, Professional Practice, Education, Research, and Disaster Management (April 6–8, 2017, Denver, Colorado)*. — Reston, Virginia : American Society of Civil Engineers, 2017. — P. 411–418. DOI: 10.1061/9780784480427.035.
9. Беличенко М. Ю., Ахметова Л. Р., Дроздов В. А. Строительство многоэтажных зданий на основе древесины // *Проблемы современной науки и инновации*. — 2016. — № 12. — С. 31–37.
10. Buchanan A., Östman B., Frangi A. White paper on fire resistance of timber structures / NIST.GCR.15-985. — 2014. — 24 p. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/gcr/2015/NIST.GCR.15-985.pdf> (дата обращения: 05.02.2020).
11. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М. : Пожнаука, 2001. — 382 с.
12. Михалева С. А. Деревянные высотки в России — инновационный взгляд на современное строительство // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2016. — № 4-7(46). — С. 19–21. DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.174.
13. Östman B., Winter S., Mikkola E. Fire safety in timber buildings — Technical guideline for Europe / SP Report 2010:19. — Stockholm, Sweden : SP Technical Research Institute of Sweden, 2010. — 88 p.
14. Gerard R., Barber D., Wolski A. Fire safety challenges of tall wood buildings. — San Francisco, CA : Arup North America Ltd.; Quincy, MA : Fire Protection Research Foundation, 2013. — 162 p.
15. Bartlett A. I., Hadden R. M., Bisby L. A. A review of factors affecting the burning behaviour of wood for application to tall timber construction // *Fire Technology*. — 2019. — Vol. 55, No. 1. — P. 1–49. DOI: 10.1007/s10694-018-0787-y.
16. Suzuki J., Mizukami T., Naruse T., Araki Y. Fire resistance of timber panel structures under standard fire exposure // *Fire Technology*. — 2016. — Vol. 52, No. 4. — P. 1015–1034. DOI: 10.1007/s10694-016-0578-2.
17. Асеева П. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение и пожарная опасность древесины // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 19–32.
18. Покровская Е. Н., Портнов Ф. А., Кобелев А. А., Корольченко Д. А. Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. — 2013. — Т. 22, № 10. — С. 40–45.
19. Eremina T. Yu., Korolchenko D. A., Kuznetsova I. N. Comprehensive assessment of fire protective intumescent paint “terma” // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2019. — Vol. 1425. — Article Number 012099. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012099.
20. Konstantinova N. I., Eremina T. Yu., Kuznetsova I. N. Development of fireproof textile materials safe on contact with human skin // *Fibre Chemistry*. — 2019. — Vol. 51, No. 2. — P. 131–134. DOI: 10.1007/s10692-019-10058-9.

REFERENCES

1. D. A. Hodgin. Mid-rise wood frame construction: a good idea or are we asking for trouble?. In: *Proceedings of Eighth Congress on Forensic Engineering (November 29 – December 2, 2018, Austin, Texas)*. Reston, Virginia, American Society of Civil Engineers, 2018, pp. 62–72. DOI: 10.1061/9780784482018.007.
2. G. Wimmers. Wood: a construction material for tall buildings. *Nature Reviews Materials*, 2017, vol. 2, no. 12, article number 17051. DOI: 10.1038/natrevmats.2017.51.
3. J. Mohammadi, L. Ling. Can wood become an alternative material for tall building construction? *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 2017, vol. 22, no. 4, article number 04017014. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000334.
4. X. Deglise. “Ecological management” of forests and wood products. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 6–9 (in Russian). DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.X.

5. Z. Pastori, I. Czupy, G. A. Gorbacheva. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 89–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-89-94.
6. Z. Pasztory, P. N. Peralta, S. Molnar, I. Peszlen. Modeling the hygrothermal performance of selected North American and comparable European wood-frame house walls. *Energy and Buildings*, 2012, vol. 49, pp. 142–147. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.02.003.
7. M. H. Ramage, H. Burrridge, M. Busse-Wicher, G. Fereday, T. Reynolds, D. U. Shah, G. Wu, L. Yu, P. Fleming, D. Densley-Tingley, J. Allwood, P. Dupree, P. F. Linden, O. Scherman. The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 68, pp. 333–359. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.107.
8. K. Kaushik, T. Tannert. Feasibility study of a novel tall concrete-wood hybrid system. In: *Structures Congress 2017: Business, Professional Practice, Education, Research, and Disaster Management (April 6–8, 2017, Denver, Colorado)*. Reston, Virginia, American Society of Civil Engineers, 2017, pp. 411–418. DOI: 10.1061/9780784480427.035.
9. M. U. Belichenko, L. R. Ahmetova, V. A. Drozdov. Multi-storey construction of the wood based buildings. *Problemy sovremennoy nauki i innovatsii / Problems of Modern Science and Innovation*, 2016, no. 12, pp. 31–37 (in Russian).
10. A. Buchanan, B. Östman, A. Frangi. *White paper on fire resistance of timber structures*. NIST.GCR.15-985, 2014. 24 p. Available at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/gcr/2015/NIST.GCR.15-985.pdf> (Accessed February 2, 2020).
11. V. M. Roytman. *Inzhenernyye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemyykh i rekonstruiuemyykh zdaniy* [Engineering solutions for evaluation of fire resistance of designed and reconstructed buildings]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2001. 382 p. (in Russian).
12. S. A. Mikhaleva. Wooden skyscraper in Russia — an innovative approach to modern construction. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal / International Research Journal*, 2016, no. 4-7(46), pp. 19–21 (in Russian). DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.174.
13. B. Östman, S. Winter, E. Mikkola. *Fire safety in timber buildings — Technical guideline for Europe. SP Report 2010:19*. Stockholm, Sweden, SP Technical Research Institute of Sweden, 2010. 88 p.
14. R. Gerard, D. Barber, A. Wolski. *Fire safety challenges of tall wood buildings*. San Francisco, CA, Arup North America Ltd.; Quincy, MA, Fire Protection Research Foundation, 2013. 162 p.
15. A. I. Bartlett, R. M. Hadden, L. A. Bisby. A review of factors affecting the burning behaviour of wood for application to tall timber construction. *Fire Technology*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 1–49. DOI: 10.1007/s10694-018-0787-y.
16. J. Suzuki, T. Mizukami, T. Naruse, Y. Araki. Fire resistance of timber panel structures under standard fire exposure. *Fire Technology*, 2016, vol. 52, no. 4, pp. 1015–1034. DOI: 10.1007/s10694-016-0578-2.
17. R. M. Aseeva, B. B. Serkov, A. B. Sivenkov. Combustion and fire safety of wooden materials. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 19–32 (in Russian).
18. E. N. Pokrovskaya, F. A. Portnov, A. A. Kobelev, D. A. Korolchenko. The smoke generation property and combustion products toxicity of wood which was modified by organoelemental compounds. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 10, pp. 40–45 (in Russian).
19. T. Yu. Eremina, D. A. Korolchenko, I. N. Kuznetsova. Comprehensive assessment of fire protective intumescent paint “terma”. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1425, article number 012099. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012099.
20. N. I. Konstantinova, T. Yu. Eremina, I. N. Kuznetsova. Development of fireproof textile materials safe on contact with human skin. *Fibre Chemistry*, 2019, vol. 51, no. 2, pp. 131–134. DOI: 10.1007/s10692-019-10058-9.

Поступила 11.01.2020, после доработки 18.03.2020; принята к публикации 27.03.2020
Received January 11, 2020; Received in revised form March 18, 2020; Accepted March 27, 2020

Информация об авторах

ЕРЕМИНА Татьяна Юрьевна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-1427-606X; e-mail: main@stopfire.ru

ПОРТНОВ Федор Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-7409-0844; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Information about the authors

Tatyana Yu. EREMINA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1427-606X; e-mail: main@stopfire.ru

Fedor A. PORTNOV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7409-0844; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com