

УДК 614.841.3+711.4

DOI 10.48612/ntp/za2b-77t1-3k44

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ РОСТА МЕГАПОЛИСОВ

Д. Н. САРАТОВ, Ю. Н. БЕЛЬШИНА, О. М. МАЕР

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы
МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
E-mail: belshina112@mail.ru

Активная урбанизация планеты Земля влечёт увеличение количества высотных зданий, их этажности и сложности конструкций. В свою очередь, эти факторы осложняют обеспечение пожарной безопасности и усложняют процесс тушения пожара в случае его возникновения. По мере активного строительства мегаполисов данная проблема становится все более острой, особенно в городах с высокой плотностью населения. В статье проведен анализ сферы обеспечения пожарной безопасности высотных зданий в условиях современной урбанизации, в результате которого вскрыт ряд проблемных вопросов. Проанализированы актуальные исследования в данной предметной области и выявлена зависимость взрывного роста количества высотных зданий (высотой более 200 метров), увеличение пожаров в них и общего количества населения больших городов. Резюмируется, что внешняя теплоизоляция и противопожарная защита высотных зданий будут не только оказывать более серьезное влияние на безопасность жизни и имущества жителей высотных жилых домов, но и играть ключевую роль в будущем развитии и строительстве мегаполисов. Для улучшения внешней теплоизоляции и противопожарной защиты крайне важно содействовать исследованиям и разработке негорючих и огнеупорных изоляционных материалов, а также их широкому применению.

Ключевые слова: анализ, проблема, обеспечение, пожарная безопасность, высотное здание, урбанизация.

CURRENT PROBLEMS OF ENSURING FIRE SAFETY OF HIGH-RISE BUILDINGS IN THE CONDITIONS OF GROWTH OF MEGAPOLITIES

D. N. SARATOV, Yu. N. BELSHINA, O. M. MAER

Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva
Russian Federation, Saint Petersburg
E-mail: belshina112@mail.ru

The rapid urbanization of planet Earth is leading to an increase in the number of high-rise buildings, their height, and structural complexity. These factors, in turn, complicate fire safety and make fire suppression more difficult. With the rapid construction of megacities, this problem is becoming increasingly acute, especially in cities with high population density. This article analyzes the fire safety of high-rise buildings in the context of modern urbanization, revealing a number of problematic issues. Current research in this area is analyzed, revealing a correlation between the explosive growth in the number of high-rise buildings (over 200 meters tall), the increase in fires within them, and the overall population of large cities. It is concluded that external thermal insulation and fire protection of high-rise buildings will not only have a more significant impact on the safety of the lives and property of residents of high-rise residential buildings but will also play a key role in the future development and construction of megacities. To improve external thermal insulation and fire protection, it is crucial to promote the research and development of non-combustible and fireproof insulation materials and their widespread use.

Key words: analysis, problem, provision, fire safety, high-rise building, urbanization.

Введение

Тенденция перенаселения городов наиболее выражена в крупнейших мегаполисах мира – Нью-Йорк, Токио, Лондон (развитые страны), а также Шанхай, Гуанчжоу, Мумбаи, Дубай (развивающиеся страны). Именно в этих экономических центрах высокая плотность населения и дефицит земли стимулируют строительство зданий повышенной этажности. В настоящей статье анализируются страны, которые вносят наибольший вклад в мировой парк высотных зданий (>200 м) – Китай (лидер по абсолютному числу), США, ОАЭ и страны Юго-Восточной Азии. Остальные государства исключены из анализа в силу пренебрежимо малого количества сверхвысоких зданий.

Под урбанизацией в данной работе понимается процесс концентрации населения и экономической активности в крупных городах, сопровождающийся ростом плотности застройки, дефицитом свободных территорий и необходимостью вертикального расширения

городского пространства. Согласно данным ООН, доля городского населения мира выросла с 30 % в 1950 году до 57 % в 2023 году, а к 2050 году достигнет 68 %. Именно в ведущих экономических центрах развитых стран (Нью-Йорк, Токио, Лондон) и развивающихся стран (Шанхай, Гуанчжоу, Мумбаи) этот процесс идёт наиболее интенсивно, что напрямую стимулирует строительство зданий высотой более 200 метров. Однако анализ всех стран мира нецелесообразен, так как 80 % сверхвысоких зданий (>200 м) сосредоточено в Китае, ОАЭ, США и Саудовской Аравии. Поэтому в настоящей статье выборка сфокусирована на государствах – лидерах по темпам высотного строительства, с особым вниманием к Китаю как абсолютному мировому лидеру (количество зданий >200 м выросло с 0 в 1990 г. до 340 000 (выше 75 м) и 1478 в мире на 2025 г.). Эту тенденцию отражает рисунок [1], в частности, количество высотных зданий (высотой более 200 метров) линейно росло в период с 1990 по 2025 год.

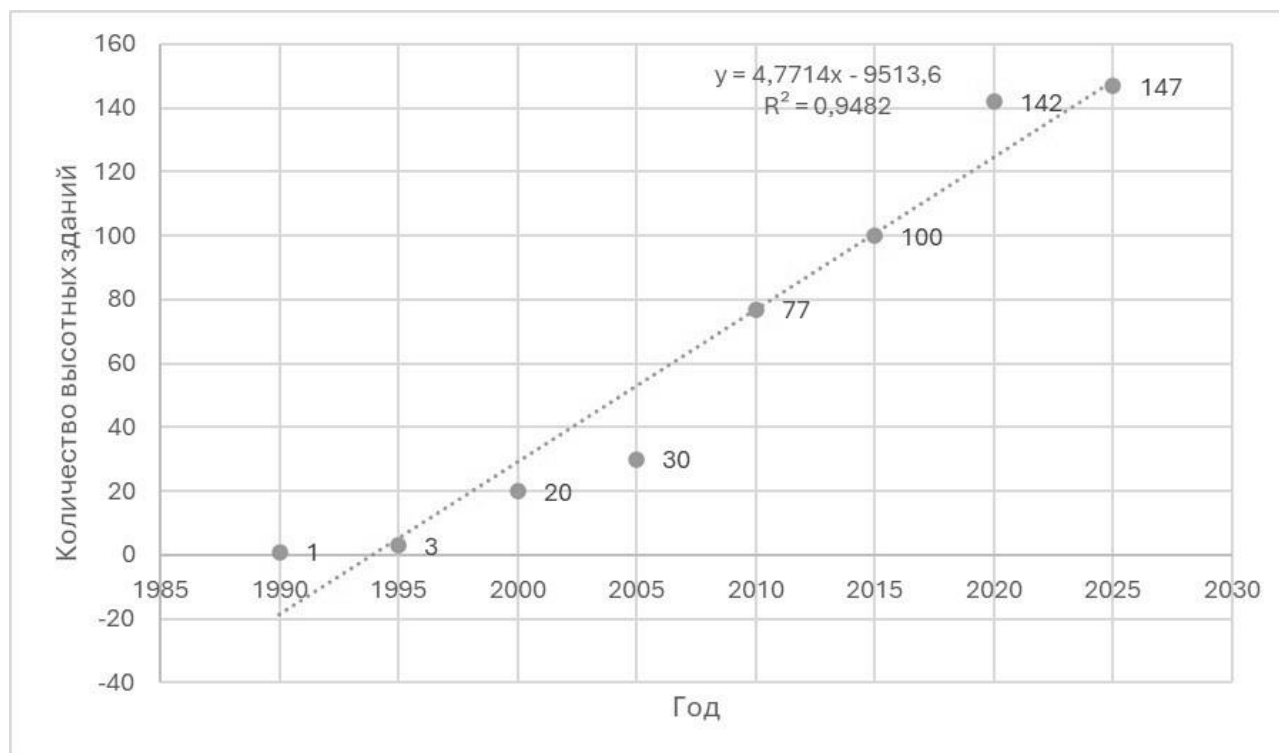


Рисунок. Количество высотных зданий высотой более 200 метров в Китае с 1990 по 2025 год

На текущий момент в мире существует 1478 высотных зданий высотой 200 метров и более, что по сравнению с 2010 годом (614 зданий) отличается на 141 % [2]. С точки зрения обеспечения пожарной безопасности высотные здания – это места массового скопления людей. Любое возгорание может нанести большой материальный и социальный ущерб [3]. В

настоящее время в Китае насчитывается более 340 000 высотных зданий (более 75 метров), и по количеству сверхвысоких сооружений страна занимает первое место в мире. Безопасность инженерных сооружений при пожарах и взрывах стала актуальной и сложной темой в академических и инженерных кругах после теракта 11 сентября 2021 г. [4]. За последние несколько

десятилетий в высотных или сверхвысоких зданиях (>200 м) различной конструкции происходили обрушения, вызванные пожарами [5]. Наиболее демонстративными из них являются обрушения зданий со стальным каркасом в США [6], Испании [7], Нидерландах [8]. Также отмечены случаи, когда применяемые средства пожарной автоматики не справлялись с контролем дыма [9, 10] и распространением огня [11]. В Китае в период с 2019 по 2025 год ежегодно происходило более 312 000 пожаров, в результате которых погибло 1628 человек, 501110 получили травмы, а прямой материальный ущерб составил до 38,59 миллиарда рублей. Количество пожаров в многоэтажных жилых домах с каждым годом возрастает, и почти 80 % смертельных случаев, связанных с пожарами, происходят в жилых домах. Наибольшую опасность представляют пожары, происходящие в ночное время. Порядка 70 % всех смертей от удушья происходит, когда человек спит [12, 13]. В 2025 году в экстренные службы одной из стран Азии поступило 252 000 сообщений о пожарах, в результате которых погибли 1183 человека, 775 получили ранения, а материальный ущерб составил до 45,39 млрд рублей. Из них 109 000 возникли в жилой зоне. Общее число пожаров в высотных зданиях составило 6987, что более чем на 10 % больше, чем в предыдущем году. Также наблюдается тенденция ежегодного роста количества пожаров во всем мире. Таким образом, целью статьи является анализ актуальных проблем и особенностей обеспечения пожарной безопасности высотных зданий в условиях современной урбанизации и выработка рекомендаций по дальнейшему проведению исследований в данной предметной области. Актуальность исследования подтверждается активной урбанизацией мегаполисов и бурным ростом количества высотных зданий.

Материалы и методы исследования

Основным источником материалов исследования были выбраны базы данных научных исследований русскоязычного (E-library) и англоязычного (Google Scholar) сегментов. Методологической базой для проведения анализа выступили основные положения критического анализа научных публикаций.

Поиск и отбор исследований, представляющих интерес для проведения анализа, осуществлялся в несколько этапов.

В начале были выделены критерии отбора:

- тип публикации: статья в журнале или диссертация;
- год публикации: не позднее 2016 года (включительно);

– статья должна быть в открытом доступе (доступна для прочтения).

Далее был осуществлен поиск публикаций в базах данных научных исследований, отобранных по критериям, указанным выше с использованием следующих ключевых словосочетаний:

- актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности высотных зданий;
- инновационные подходы к обеспечению пожарной безопасности высотных зданий;
- актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности высотных зданий в условиях современной урбанизации;
- инновационные подходы к обеспечению пожарной безопасности высотных зданий в условиях современной урбанизации.

При поиске публикаций в E-library и Google Scholar также была использована опция нейропоиска (поиска с применением методов искусственного интеллекта) исследований, с целью более обширного охвата.

Выбор стран для анализа (преимущественно Китай, а также США, Испания, Нидерланды) обусловлен следующими критериями: наличие в стране не менее 50 высотных зданий высотой >200 метров либо наличие задокументированных случаев обрушений высотных зданий при пожарах (для анализа инцидентности). Китай выбран в качестве основного объекта ввиду его лидерства по абсолютному числу высотных зданий (более 340 000 зданий >75 м) и темпам прироста (рисунок). Выборка не является сплошной, а репрезентативной – для выявления ключевых проблем пожарной безопасности.

В результате проведенного анализа был вскрыт ряд актуальных проблем обеспечения пожарной безопасности высотных зданий в условиях современной урбанизации, и на основе опыта исследований учёных в данной предметной области предложены инновационные подходы к их решению. Полученные данные были структурированы по блокам, представленным ниже.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам проведенного анализа было выделено 3 основных кластера, отражающих актуальные проблемы и особенности обеспечения пожарной безопасности высотных зданий в условиях современной урбанизации.

1. Особенности обеспечения пожарной безопасности высотных зданий.

1.1. *Сложность спасения людей.* Поскольку лифты являются основным средством передвижения внутри высотных жилых зданий, и большинство пассажирских лифтов не имеют

средств защиты от воздействия опасных факторов пожара (ОФП), спасение людей при возникновении пожара в таких зданиях представляет собой сложную задачу. Из-за возникновения тяги в лифтовой шахте во время пожара невозможно использовать лифты как средства эвакуации, вынуждая людей использовать пожарные лестницы для эвакуации на нижний этаж. Однако пожарные лестницы довольно узкие, что затрудняет данный процесс. Согласно статистическим данным, допустимое время эвакуации по пожарным лестницам из высотных зданий, как правило, превышает время наступления критических значений ОФП, что приводит к гибели людей и блокированию путей эвакуации [12]. Следует отметить, что высокие потолки и большие внутренние пространства в высотных зданиях приводят к быстрому задымлению, которое ухудшает зрение и физическое самочувствие людей, что затрудняет процесс эвакуации. Также многие высотные здания имеют стеклянные навесные стены, что увеличивает риск их повреждения в случае пожара и затрудняет спасательные операции на строительных площадках высотных зданий [13].

1.2. Сложность тушения пожаров. Тушение пожаров в высотных зданиях затрудняется рядом факторов. В частности, длина пожарных автолестниц ограничена и зачастую оказывается меньше высоты здания. Также при возникновении пожара в высотном здании может произойти продольное скопление дымовых газов в лестничных клетках, шахтах лифтов и других местах. В небольшом пространстве накапливается большое количество высокотемпературных газов и водяного пара, что затрудняет срабатывание автоматических систем пожаротушения, а также обеспечения эвакуации. Как следствие, большое количество дыма не может быть оперативно удалено, что может привести к удушью и смерти людей, которые будут эвакуироваться [14]. По мере роста

численности персонала в высотных зданиях увеличивается и количество их автомобилей. Однако количество парковочных мест ограничено, в связи с чем некоторые домовладельцы начали парковать свои машины, загораживая пожарный проезд, сильно затрудняя процесс прибытия спасательных служб к месту пожара [15].

1.3. Быстрое распространение пламени. На текущий момент для утепления высотных жилых зданий, как правило, используются горючие материалы. В связи с чем, при возникновении пожара огонь быстро распространяется, заполняя собой лестницы и лифты. Это приводит к возникновению «эффекта дымовой трубы» в вертикальных трубных колодцах, таких как лестничные клетки, шахты лифтов и вытяжные каналы, что является причиной нанесения большого материального и социального ущерба при пожарах в высотных зданиях [16, 17]. В рамках настоящего исследования особое внимание уделялось применяемым теплоизоляционным материалам посредством анализа основных характеристик высотных сооружений.

2. Специфика изоляционных материалов.

2.1. Классификация изоляционных материалов. В настоящее время во всем мире для наружных стен зданий используются три основные категории изоляционных материалов (Таблица): неорганические изоляционные материалы на основе минеральной ваты, стекловаты и каменной ваты, которые обычно считаются негорючими материалами; изоляционный материал на основе резиновой крошки и полистирола, представляющий собой органически-неорганический композитный изоляционный материал, который обычно относят к огнестойким материалам; органические изоляционные материалы из жесткого пенополиуретана и полистирола, которые принято считать горючими веществами.

Таблица. Теплопроводность, преимущества и недостатки различных изоляционных материалов

Теплоизоляционный материал	Теплопроводность, Вт/(м*К)	Преимущества	Недостатки
Плита из вспененного полистирола (пенополистирол)	0,038-0,041	Хорошая паропроницаемость и теплоизоляция, низкая цена	Невысокая прочность
Экструзионный пенополистирол	0,028-0,030	Отличная теплоизоляция, высокая прочность и влагостойкость	Высокая цена, требует подготовки основания
Минераловатная плита (каменная вата)	0,041-0,045	Пожаробезопасность, негорючесть	Высокая гигроскопичность, нестабильность теплоизоляционных свойств

Теплоизоляционный материал	Теплопроводность, Вт/(м*К)	Преимущества	Недостатки
Теплоизоляционная паста на основе гранул полистирола и связующего	0,057-0,06	Негорючесть, низкие требования к основанию	Низкая эффективность утепления, высокие требования к монтажу
Пенополиуретан	0,025-0,028	Хорошая гидроизоляция, отличная теплоизоляция, высокая прочность	Высокая цена, низкая огнестойкость
Перлитовые и другие штукатурные смеси/пасты	0,07-0,09	Хорошая огнестойкость, высокая термостойкость	Низкая эффективность утепления, высокое водопоглощение

2.2. Огнестойкость органических изоляционных материалов. На текущий момент невозможно полностью исключить применение органических материалов для теплоизоляции, в виду их выдающихся показателей по теплоизоляции, высокой плотности и низкой теплопроводности. Для снижения воспламеняемости можно использовать технологию покрытия огнезащитными свойствами, однако для этого необходимо провести ряд дополнительных исследований. С целью повышения огнестойкости органических изоляционных материалов необходимо разработать промышленные образцы легких, малотоксичных и огнестойких материалов, обладающих теплоизоляционными свойствами и минимизировать применение горючих компонентов.

2.3. Изоляционные системы для неорганических наружных стен. При использовании негорючих теплоизоляционных материалов, как правило не возникает существенных проблем пожарной безопасности [18]. В результате широкого использования легковоспламеняющихся пенополистирольных плит для утепления стен высотного здания значительно повышается риск возникновения пожара. Поэтому следует отдавать предпочтение негорючим неорганическим изоляционным материалам. Кроме того, в мире наблюдается отсталость в производстве высококачественных изоляционных материалов. В настоящее время доля применения этого типа наружных изоляционных систем во всем мире очень низка. В условиях огромного рынка наружной теплоизоляции минеральные ресурсы неорганических изоляционных материалов относительно ограничены и дороги [19]. Поэтому в дальнейшем необходимо проводить исследования в области разработки неорганических теплоизоляционных материалов.

3. Анализ архитектурных решений и применяемых средств пожарной автоматики.

3.1. Проектирование дымоотводных систем. Различные газы ОФП являются основной причиной гибели людей при пожарах [20].

Поэтому при проектировании строительных конструкций крайне важно учитывать меры по предотвращению задымления. В высотных жилых зданиях обычно рассматриваются как естественные, так и механические методы дымоотвода. Механический дымоотвод – это использование оборудования с вытяжными вентиляторами для осуществления принудительного дымоудаления, способствующего проведению противопожарных мероприятий. Эффективность механического дымоотвода, как правило, находится на высоком уровне, однако его использование в высотных зданиях имеет ряд недостатков. В связи с этим способ дымоотвода следует выбирать на этапе фактического проектирования противопожарной защиты, исходя из сложившейся обстановки. Первым вариантом должна быть естественная дымоуловительная система, поскольку во многих высотных зданиях лестничные клетки имеют определенную разницу температур, и дымовые газы остаются внутри. Поэтому при проектировании конструкции лестничной клетки необходимо точно спроектировать и расположить окна, устанавливая дымоотводные окна на стене, чтобы обеспечить вентиляцию, и функционирование системы дымоудаления. Для эффективной интеграции механического и естественного дымоудаления необходимо устанавливать окна во внутреннем дворе, а также дымонепроницаемые лестницы и пожарные лифты внутри высотных жилых зданий [21]. Например, можно построить систему подачи воздуха на эвакуационной лестнице и систему дымоудаления перед лифтом.

3.2. Автоматическая система пожарной сигнализации. В связи с увеличением числа высотных зданий, автоматическая система пожарной сигнализации играет незаменимую роль в прогнозировании развития пожара, своевременном тушении, эвакуации персонала и предотвращении распространения пламени. Ее сложность обусловлена многочисленными точками обнаружения и контроля, а также сложной

логикой управления. В проектирование системы управления пожарной сигнализацией включены системы пожаротушения с использованием пожарных гидрантов и автоматической спринклерной системы. Её главная цель – обеспечить контроль за запуском и остановкой пожарного насоса, чтобы контролировать процесс тушения пожара. При этом следует предусматривать возможность ручного запуска насоса, при выходе из строя средств пожарной автоматики [22].

Таким образом обеспечение пожарной безопасности высотных зданий в условиях современной урбанизации является перспективным и очень важным направлением дальнейших исследований. Резюмируя результаты проведенного анализа, можно сделать следующие выводы:

1. Планировка лестничного пролета должна обеспечивать безопасное расстояние для эвакуации и, насколько это возможно, предотвращать образование мешкообразных проходов.

2. Для обеспечения двусторонней эвакуации лестничный пролет должен располагаться вплотную к торцам стандартного перекрытия или огнеупорной перегородки.

3. Положение эвакуационной лестницы на каждом этаже должно быть вертикальным и не должно изменяться, за исключением лестниц, ведущих в подвал, и лестниц, ведущих на смещенный эвакуационный этаж в сверхвысоком здании.

4. На первом этаже должна быть дверь, ведущая непосредственно наружу. Изменение расположения лестничного пролета затруднит поиск ступеней персоналом в чрезвычайной ситуации, увеличит время эвакуации и повысит риск ненужных жертв, особенно в общественных зданиях, таких как гостиницы, рестораны и коммерческие здания.

5. Высотные здания должны быть спроектированы с наличием вертолетной площадки

на верхнем уровне для обеспечения быстрой транспортировки и эвакуации людей, оказавшихся в затруднительном положении на верхнем этаже.

6. Необходимо создавать лестничные клетки, обеспечивая их высокую огнестойкость.

7. Нецелесообразно делить лестницу с верхним этажом. На первом этаже обычно используется перегородка с пределом огнестойкости не менее 2 часов, разделяющая помещения на зоны и ведущая непосредственно наружу. Лестничные пролеты подвала и полуподвала на первом этаже должны вести непосредственно наружу для обеспечения быстрой эвакуации персонала. Для предотвращения случайного попадания эвакуируемых в подвал или полуподвал, а также для предотвращения распространения огня и дыма, противопожарные перегородки должны быть предусмотрены на лестничных пролетах первого этажа, а также в подвале и полуподвале.

Выводы

В современном процессе урбанизации, строительства и развития городов доля высотных зданий неуклонно растёт. Внешняя теплоизоляция и противопожарная защита высотных зданий будут не только оказывать более серьёзное влияние на безопасность жизни и имущества жителей высотных жилых домов, но и играть ключевую роль в будущем развитии и строительстве мегаполисов. Проведенный в статье анализ сферы обеспечения пожарной безопасности высотных зданий в условиях современной урбанизации, позволил выявить ряд актуальных проблемных вопросов и на основе опыта последних исследований выработать конструктивные подходы к их решению. В частности, для улучшения внешней теплоизоляции и противопожарной защиты крайне важно осуществить разработку негорючих и огнеупорных изоляционных материалов, а также обеспечить их широкое применение.

Список литературы

1. X. X. Chen and C. Tang. Analysis on fire safety status of high-rise buildings and research on fire prevention and control countermeasures, *Fire. Protect. Tod.*, 2019, vol. 4, issue 8, pp. 36–37.

2. H. Chen and J. Y. Liew. Explosion and fire analysis of steel frames using mixed element approach, *J. Eng. Mech.*, 2005, vol. 131, issue 6, pp. 606–616. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2005\)131:6\(606\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2005)131:6(606)).

3. A. Cowlard, A. Bittern, C. Abecassis-Empis, and J. Torero. Fire safety design for tall

buildings, *Procedia. Engineer.*, 2013, vol. 62, pp. 169–181, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.053>.

4. Седов Д. С. Вопросы пожарной безопасности высотных зданий // *Экономика строительства*. 2025. № 2. С. 374–377.

5. Медяник М. В. Особенности обеспечения пожарной безопасности в высотных жилых зданиях // *Естественные и технические науки*. 2023. № 4 (179). С. 305–307.

6. Final report on the collapse of the World Trade Center towers, NIST-NCSTAR-1, 2005, Gaithersburg, MD, US: National Institute of Standards, & Technology.

7. D. Parker. Madrid tower designer blames missing fire protection for collapse, *New. Civil. Engineer.*, 2005, vol. 2005, pp. 5-7,.

8. B. Meacham, M. Engelhardt and V. Kodur. Collection of data on fire and collapse, faculty of architecture building, delft university of technology, In Proc of NSF Engineering Research and Innovation Conference, (ERIC 2009), Honolulu, Hawaii, 2009, ResearchGate.

9. D. Madrzykowski and W. D. Walton. Cook County Administration Building Fire, 69 West Washington, Chicago, Illinois, October 17, 2003: Heat Release Rate Experiments and FDS Simulations, US: US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory, 2004.

10. Y. Wang, S. L. Shi, R. Q. Li, Y. Liu and X. Y. Chen. Statistical analysis and countermeasures of national fire accidents from 2013 to 2016, *Safety.*, 2018, vol. 39, no. 11, pp. 60–63.

11. G. B. Li. Analysis of fire safety status of high-rise buildings and research on fire prevention and control countermeasures, *China. Residential. Facilities.*, 2019, vol. 2019, no. 4, pp. 73–74.

12. J. C. Bai and L. Shang. Problem analysis and countermeasures on fire protection design of high-rise civil buildings, *Architecture. and Cult.*, 2020, vol. 2020, no. 5, pp. 212–213.

13. S. Y. Chen. Analysis and countermeasures of fire protection design problem of high-rise civil buildings, *Fire Prot. Circle*, 2019, vol. 5, issue 14, pp. 26-27. <https://doi.org/10.16859/j.cnki.cn12-9204/tu.2019.14.013>.

14. K. Zhang. Exploration of prefabricated prefabricated building design practice and engineering technology innovation of high-rise residential buildings, *Housing. and Real. Estate.*, 2020, vol. 2020, issue 24, pp. 80–80.

15. L. Zheng. Some thoughts on the design of smoke prevention and exhaust of high-rise buildings, *Fire Technol. and Product Inform.*, 2017, vol. 2017, issue 3, pp. 21–22.

16. Q. L. Meng. Analysis and countermeasures of fire protection design of high-rise civil buildings, *Shanxi Archit.*, 2020, vol. 46, issue 20, pp. 195–196. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6825.2020.20.076>.

17. W. Y. Zhang and Y. Q. Wang. Fire hazards and fire countermeasures of building exterior wall insulation engineering, *Fire Prot. Technol. and Product Inform.*, 2013, vol. 2013, issue 5, pp. 3–7. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-784X.2013.05.001>.

18. S. H. Lai. Discussion on fire prevention measures for external wall insulation system of high-rise buildings, *J. of Armed Police College*, 2013, vol. 29, issue 4, pp. 52–54.

19. H. C. Ding, Y. D. Xu, Q. L. Deng, and Z. X. Lian. Simulation study on influence of fire

smoke flow on evacuation in high-rise buildings, *China Safety Science J.*, 2020, vol. 30, issue 12, pp. 118–124. <https://doi.org/10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2020.12.017>.

20. L. H. Mai. Discussion on the application of green building design in residential building design, *Eng. Technol. Res.*, 2020, vol. 5, issue 14, pp. 202–203.

21. Z. M. Huang. Research on fire protection design problems and countermeasures of high-rise civil buildings, *Fire. Protect. Tod.*, 2021, vol. 6, issue 11, pp. 94–96.

22. L. D. Huang, K. Z. Luo, Y. Liu, J. J. Xu, X. X. Xu, and X. C. Wang. Crowd evacuation simulation of fire scene in elderly apartment, *Chinese J. of Safety Science*, 2020, vol. 30, issue 3, pp. 137-142. <https://doi.org/10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2020.03.021>.

References.

1. X. Chen and C. Tang. Analysis on fire safety status of high-rise buildings and research on fire prevention and control countermeasures, *Fire. Protect. Tod.*, 2019, vol. 4, issue 8, pp. 36–37.

2. H. Chen and J. Y. Liew. Explosion and fire analysis of steel frames using mixed element approach, *J. Eng. Mech.*, 2005, vol. 131, issue 6, pp. 606–616. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2005\)131:6\(606\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2005)131:6(606)).

3. A. Cowlard, A. Bittern, C. Abecassis-Empis, and J. Torero. Fire safety design for tall buildings, *Procedia. Engineer.*, 2013, vol. 62, pp. 169–181, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.053>.

4. Седов Д. С. Вопросы пожарной безопасности высотных зданий // *Экономика строительства*. 2025. № 2. С. 374–377.

5. Медяник М. В. Особенности обеспечения пожарной безопасности в высотных жилых зданиях // *Естественные и технические науки*. 2023. № 4 (179). С. 305–307.

6. Final report on the collapse of the World Trade Center towers, NIST-NCSTAR-1, 2005, Gaithersburg, MD, US: National Institute of Standards, & Technology.

7. D. Parker. Madrid tower designer blames missing fire protection for collapse, *New. Civil. Engineer.*, 2005, vol. 2005, pp. 5-7,.

8. B. Meacham, M. Engelhardt and V. Kodur. Collection of data on fire and collapse, faculty of architecture building, delft university of technology, In Proc of NSF Engineering Research and Innovation Conference, (ERIC 2009), Honolulu, Hawaii, 2009, ResearchGate.

9. D. Madrzykowski and W. D. Walton. Cook County Administration Building Fire, 69 West Washington, Chicago, Illinois, October 17, 2003: Heat Release Rate Experiments and FDS

Simulations, US: US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory, 2004.

10.Y. Wang, S. L. Shi, R. Q. Li, Y. Liu and X. Y. Chen. Statistical analysis and countermeasures of national fire accidents from 2013 to 2016, *Safety.*, 2018, vol. 39, no. 11, pp. 60–63.

11.G. B. Li. Analysis of fire safety status of high-rise buildings and research on fire prevention and control countermeasures, China. Residential. Facilities., 2019, vol. 2019, no. 4, pp. 73–74.

12.J. C. Bai and L. Shang. Problem analysis and countermeasures on fire protection design of high-rise civil buildings, *Architecture. and Cult.*, 2020, vol. 2020, no. 5, pp. 212–213.

13.S. Y. Chen. Analysis and countermeasures of fire protection design problem of high-rise civil buildings, *Fire Prot. Circle*, 2019, vol. 5, issue 14, pp. 26–27. <https://doi.org/10.16859/j.cnki.cn12-9204/tu.2019.14.013>.

14.K. Zhang. Exploration of prefabricated prefabricated building design practice and engineering technology innovation of high-rise residential buildings, *Housing. and Real. Estate.*, 2020, vol. 2020, issue 24, pp. 80–80.

15.L. Zheng. Some thoughts on the design of smoke prevention and exhaust of high-rise buildings, *Fire Technol. and Product Inform.*, 2017, vol. 2017, issue 3, pp. 21–22.

16.Q. L. Meng. Analysis and countermeasures of fire protection design of high-rise civil buildings, *Shanxi Archit.*, 2020, vol. 46, issue 20, pp.

195–196. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6825.2020.20.076>.

17.W. Y. Zhang and Y. Q. Wang. Fire hazards and fire countermeasures of building exterior wall insulation engineering, *Fire Prot. Technol. and Product Inform.*, 2013, vol. 2013, issue 5, pp. 3–7. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-784X.2013.05.001>.

18.S. H. Lai. Discussion on fire prevention measures for external wall insulation system of high-rise buildings, *J. of Armed Police College*, 2013, vol. 29, issue 4, pp. 52–54.

19.H. C. Ding, Y. D. Xu, Q. L. Deng, and Z. X. Lian. Simulation study on influence of fire smoke flow on evacuation in high-rise buildings, *China Safety Science J.*, 2020, vol. 30, issue 12, pp. 118–124. <https://doi.org/10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2020.12.017>.

20.L. H. Mai. Discussion on the application of green building design in residential building design, *Eng. Technol. Res.*, 2020, vol. 5, issue 14, pp. 202–203.

21.Z. M. Huang. Research on fire protection design problems and countermeasures of high-rise civil buildings, *Fire. Protect. Tod.*, 2021, vol. 6, issue 11, pp. 94–96.

22.L. D. Huang, K. Z. Luo, Y. Liu, J. J. Xu, X. X. Xu, and X. C. Wang. Crowd evacuation simulation of fire scene in elderly apartment, *Chinese J. of Safety Science*, 2020, vol. 30, issue 3, pp. 137–142. <https://doi.org/10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2020.03.021>.

Саратов Дмитрий Николаевич

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург кандидат технических наук, доцент

E-mail: saratovdn@mail.ru

Saratov Dmitry Nikolaevich

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva, Russian Federation, Saint-Petersburg

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

E-mail: saratovdn@mail.ru

Бельшина Юлия Николаевна

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург кандидат технических наук, доцент

E-mail: belshina112@mail.ru

Belshina Yulia Nikolaevna

Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
E-mail: belshina112@mail.ru

Маер Олег Михайлович

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
кандидат экономических наук
E-mail: oleg.maer.84@mail.ru

Maer Oleg Mikhailovich

Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg
Candidate of Economic Sciences
E-mail: oleg.maer.84@mail.ru