

Лазакович Александр Романович

Студент Дальневосточного государственного аграрного университета, г. Благовещенск,
Россия, e-mail: alexandr-lazakovich@yandex.ru

Ижендеев Алексей Валерьевич

Кандидат технических наук, доцент Дальневосточного государственного аграрного
университета, г. Благовещенск, Россия, e-mail: Alex_izhendeev@mail.ru

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПУТИ ЕЁ ПОВЫШЕНИЯ: ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель статьи является попытка обобщения исследовательского опыта в области огнестойкости строительных конструкций и путей её повышения; рассматриваются теоретические и экспериментальные данные в области: а) влияния неконтролируемого горения на основные строительные материалы – дерево, сталь, бетон (железобетон); б) механизмы обеспечения эффективности их огнезащиты. Используемые методы: диалектический, логический, анализа и синтеза, анализ литературных источников, описательный, научного прогноза. Представленный научный материал, способствует принятию эффективных решений как инженерами-конструкторами в применении основного строительного материала и огнеупоров, так и ориентирует представителей научного сообщества на разработку новых технологий в сфере обеспечения пожаровзрывобезопасности.

Ключевые слова: строительные конструкции, огнестойкость, огнезащита, предел огнестойкости, строительные материалы, пожарная безопасность, огнезащитные составы, инновационные технологии в обеспечении пожарной безопасности, проектирование огнезащиты.

The purpose of the article is an attempt to summarize research experience regarding the fire resistance of building structures and ways to improve it; theoretical and experimental data in the field are considered.: Gorenje: a) the effects of uncontrolled combustion on the main building materials – wood, steel, concrete (reinforced concrete); b) mechanisms to ensure the effectiveness of their fire protection. Methods used: dialectical, logical, analysis and synthesis, analysis of literary sources, descriptive, scientific forecasting. The presented scientific material contributes to the adoption of effective decisions by both design engineers in the application of basic building materials and

refractories, and orients representatives of the scientific community to the development of new technologies in the field of fire and explosion safety.

Keywords: building structures, fire resistance, fire protection, fire resistance limit, building materials, fire safety, flame retardants, innovative technologies in fire safety, fire protection design.

Длительное время основными материалами в строительстве остаются дерево, сталь и бетон (железобетон). Каждый из перечисленных строительных материалов имеет свои «плюсы» и «минусы», которые подтверждены «народной практикой строительства» и экспериментальными исследованиями. Опуская рассмотрение вопроса «плюсов» и «минусов» каждого материала, отметим то, что они имеют один общий недостаток – незначительную огнестойкость, и требуют защиты от огня. Выбор способа их огнезащиты основывается на оценке свойств материала, анализе физико-химических и технических процессов, приводящих строительный объект к разрушению в результате неконтролируемого горения.

1. Некоторые теоретические и экспериментальные исследования в области огнестойкости дерева, стали, бетона (железобетона).

1.1. Дерево – единственный материал из основных строительных материалов, обладающий горючестью. Дерево разлагается под действием высокой температуры, что ведёт к снижению прочности строительной конструкции и к её обрушению.

Важное значение для огнестойкости деревянных конструкций имеют различные факторы. Так, в исследовании О. В. Арцыбашевой, А. Ю. Гречко, Б. Б. Серкова, А. Б. Сивенкова выявлена зависимость между параметрами обугливания деревянных конструкций и длительностью срока их эксплуатации, равно как и показана зависимость процесса обугливания от породы дерева. Авторы указывают на то, что при длительной эксплуатации деревянных конструкций возрастает интенсивность процесса обугливания [4, с. 66], а также отмечают прямую зависимости между скоростью обугливания и породой дерева. В представленной авторами статье таблице при стандартном температурном режиме пожара скорость обугливания ели составляет 1,2 v, мм/мин, сосны – 0,95 v, мм/мин, берёзы – 0,675 v, мм/мин, дуба – 0,46 v, мм/мин, а при плотности внешнего теплового потока 20 кВт/м², она (скорость обугливания) заметно увеличивается и составляет для этих же пород деревьев 0,9, 0,75, 0,55, 0,45 v, мм/мин. [4, с. 65]. Исследователи отмечают, что наибольшая интенсивность обугливания характерна для конструкций из древесины хвойных разновидностей. При этом объёмная масса угля сгоревших хвойных пород значительно выше по сравнению с лиственными породами. Последнее они связывают с интенсивностью выделения легколетучих горючих компонентов при термическом разложении и горении хвойных разновидностей древесины. Полученные исследователями данные свидетельствуют о зависимости между длительностью эксплуатации деревянных конструкций и

интенсивностью процесса обугливания – чем выше длительность эксплуатации, тем интенсивнее процесс обугливания [4, с. 41]. Данную зависимость также подтверждает исследование, проведённое Ж. К. Макишевым и А. Б. Сивенковым, которое также позволяет утверждать, что деревянные конструкции с длительным сроком эксплуатации в условиях пожара имеют более низкий предел огнестойкости, а их несущая способность по сравнению с новыми изделиями, ниже в 2,2 раза [15, с. 41].

Вместе с тем, беря в расчёт показатели огнестойкости различных пород древесины, не следует исходить из того, что огнестойкость лиственных пород выше, чем у хвойных. Так, в исследовании «Современные тенденции в области огнестойкости деревянных зданий и сооружений» отмечается, что наиболее огнестойкими из широко распространённых в российском строительстве пород деревьев являются сооружения из лиственницы, наименее огнестойкими – из сосны; показатели разницы в огнестойкости лиственницы и сосны колеблется в пределах 25 % [3, с. 188].

На огнестойкость древесины также влияют: а) площадь нагрева и размер (толщина) материала; скорость воздушного потока (тяги). В исследовании «Основные способы повышения огнестойкости строительных конструкций из стали, дерева и бетона (железобетона)» нами отмечалось, что при длительном нагревании температура самовозгорания дерева снижается в 2 раза (с 339°С до 166°С при нагреве в течение 20 часов), что необходимо учитывать при размещении деревянных конструкций вблизи нагреваемых предметов (отопительных приборов, труб, дымоходов и т.п.). В последнем случае, длительно действующая температура не должна превышать 50°С [10, с. 35].

1.2. Сталь, в отличие от дерева, не обладает горючестью, однако, под воздействием высокой температуры она быстро нагревается и теряет несущую способность. Исследование зависимости огнеустойчивости стали от температуры проведено Г. И. Сметанкиной и А. А. Кузьменко, которые подтвердили факт связанности низкой огнеустойчивости стали от особенностей кристаллической решётки металла: чем больше электронов слабо связанных с ядром размещено на последнем энергетическом уровне кристаллической решётки, тем выше теплопроводность стали [24]. Перемещаясь по всему объёму нагреваемого металла в виде т. н. «электронного газа», свободные электроны делают металл «тягучим», заметно снижая физико-технические свойства строительной конструкции. Поэтому, предел огнестойкости сталей в среднем составляет 15 мин., и, во многом, зависит от отношения площади поперечного сечения конструкции к периметру её обогрева. Как и в случае с деревом, очевидно, что при увеличении объёма металла и уменьшении поверхности его обогрева рост нагрева стали снижается, однако, и в данном случае важное значение имеет форма металла. При рассмотрении указанной закономерности уместно

справедливое замечание Д. Г. Пронина, который обращает внимание на недопустимость сравнения огнеупорности двутавровой балки и швеллера [22, с. 18-24].

1.3. Бетон (железобетон), как и стали, не обладает горючестью, однако, в условиях пожара также меняет свои физико-технические свойства и теряет несущую способность. В статье «Прочность и огнестойкость железобетонных конструкций», узбекские исследователи рассматривая огнестойкость бетона (железобетона), отмечают, что значительную часть своей прочности бетон сохраняет при температуре до 300°C, с дальнейшим повышением температуры до 500°C происходит линейная потеря прочности, а уже резкая потеря прочности - при температуре около 600-700°C, когда прочность утрачивает арматура. Потеря прочности бетона и железобетона логично связывается исследователями как с расширением цементного камня и потерей воды в микропорах - в случае с бетоном, так и с изменением кристаллической решётки металла и утратой им способности противостоять огню [1, с. 668].

Важным аспектом огнестойкости железобетонной конструкции является влияние температуры на сцепление бетона с арматурой. При рассмотрении данного аспекта интерес представляет книга известного исследователя А.Ф.Милованова «Стойкость железобетонных конструкций при пожаре» [17], изданная в 1998 году и ставшая, если так можно выразиться, «классикой» при написании теоретических и экспериментальных исследований, включая диссертации, посвящённых проблеме влияния огня на бетон и железобетонные конструкции [23]. В 2025 году, используя методику механического моделирования, исследователями были установлены уже конкретные показатели снижения прочности бетона, арматуры и «сцепки», отсутствовавшие в работе А.Ф.Милованова: при температуре 600°C прочность бетона снижается на 45 %, а арматуры — на 30 %; после часового воздействия на бетон температуры 800°C остаточная несущая способность конструкции сохраняется лишь на 55% от исходной, а «зоны сцепления» имеют прочность около 40% от исходной, что критически для строительного объекта [6, с. 38].

Таким образом, материалы, используемые в современном строительстве – дерево, сталь, бетон (железобетон) подвержены действию огня, а отказ от их огнезащитной обработки может привести ни только к разрушению строительной конструкции, но и к человеческим жертвам. Очевидно, что повысить их огнестойкость могут специальные методы и средства огнезащиты, которым также посвящены многие исследования.

2. Некоторые теоретические и экспериментальные исследования в области обеспечения эффективности огнезащиты дерева, стали, бетона (железобетона).

2.1. Учитывая то, что дерево является горючим материалом и подвержено обугливаю, важным направлением в повышении его физико-технических характеристик являются меры направленные на обеспечение его огнестойкости. Повышение огнестойкости дерева подробно (с

физико-химическим уклоном) изложено в статье «Повышение огнестойкости строительных деревянных конструкций» [8], написанной под руководством доктора технических наук, профессора А.И.Гусева, и опубликованной в ВАКовском журнале «Пожаровзрывобезопасность» ещё в 2006 году. Авторы статьи осуществляют глубокий научный анализ процесса обугливания и средств защиты древесины от горения, уделяя особое внимание антипиренам – средствам, изменяющим механизм пиролиза, уменьшающим выход горючих продуктов, или ингибирующим пламенное горение, и, таким образом, уменьшающим количество тепла при экзотермическом процессе окисления в газовой фазе [8, с. 32]. Экспериментальным исследованиям по влиянию отдельных видов антипиренов на процесс горения, равно как и на другие процессы, связанные с ним, осуществлены в трудах Б.С.Карпо, А.А.Леоновича, Н.К.Лунёвой, С.Н.Пазниковой, Е.Н.Покровской, Н.А.Тычино [9; 11; 13; 14; 19; 21; 27] и др. исследователей.

Следует обратить особое внимание на то, что применение антипиренов в современных российских реалиях – дорогой и, нередко, технологически не осуществимый способ огнезащиты древесины; также наблюдается и недостаток сырья для их (антипиренов) производства, что ориентирует строителей на использование иных огнезащитных средств - огнезащитных красок и лаков вспенивающего типа, огнезащитных паст и штукатурных растворов, огнестойких стеклообой, жёстких экранов в виде огнестойких листов, плит и панелей.

2.2. Методы огнезащиты стали включают как изменение её структуры путём включения в её состав хрома, никеля, марганца и др. тугоплавких добавок, так и защиту от внешнего воздействия огня. В первом случае речь идёт о жаропрочных сталях с высокой огнестойкостью, способных выдержать температуру до 1000°C и выше - до $1400-1500^{\circ}\text{C}$ (жаропрочные нержавеющие стали). Во втором, как и в случае с деревом, о применении огнезащитных составов - напыляемых минеральных материалов с неорганическим вяжущим, огнезащитных штукатурках, огнезащитных вспучивающихся красках и составах; а также цементно-песчаной штукатурке, обетонировании, облицовке кирпичом, минерало-ватными и вермикулитовыми плитами, применении гипсовой штукатурки и подвесных потолков [20, с. 32-33]. Механизм действия огнезащитных составов сталей, как и в случае с деревом, заключается в создании теплоизоляционного слоя, способного предотвратить прямое влияние огня на конструкцию, не допустив активного движения свободных электронов на внешнем уровне кристаллической решётки металла.

Интересным направлением в исследованиях огнезащиты сталей является т.н. «контрольная проверка». Экспериментальные исследования В.В.Павлова, А.В.Пехотикова, О.В.Кривошапкина показывают, что, к сожалению, некоторые огнезащитные составы, используемые в России, ни только недостаточно эффективны, но и характеризуются высокой пожарной опасностью, а их

применение может быть небезопасно не только для государственного и муниципального имущества, но и для здоровья человека [18, с. 41].

2.3. Для повышения огнестойкости бетона (железобетона) также применимы два подхода:

а) изменение его структуры, б) обеспечение его внешней огнезащиты. Если во втором случае, применяются методы и средства схожие или аналогичные с огнезащитой дерева и стали, то в первом - синтетические добавки в виде вяжущих веществ, а также синтетические волокна, обладающие низкими теплопроводными и высокими огнеупорными свойствами. Огнеупорные бетоны, получаемые с помощью добавления синтетических волокон, способны выдерживать температуру выше 1580°C; а введение в состав тяжёлых бетонов полипропиленовой микрофибры (ППМФ), увеличивает их пористость, предотвращая появление критического внутреннего давления, а, следовательно, и уменьшает вероятность взрывообразной потери целостности (ВЦП) всей конструкции [2, с. 58; 16]. Кроме того, бетон с добавлением различных синтетических армирующих материалов, включая углеродные волокна и стекловолокно, улучшает термостойкость и долговечность железобетонной конструкции, что подтверждается результатами экспериментальных исследований, проведённых учёными и преподавателями из Донского и Майкопского государственных технологических университетов [26].

Учитывая факт повышения огнестойкости бетона (железобетона), армированного синтетическими волокнами, возникает вопрос возможности замены стальной арматуры стеклопластиковой, обладающей низкими теплопроводными свойствами. Исследования, проведённые на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г.Шухова, показывают слабую применимость данной идеи по следующим основаниям: а) потере массы синтетических волокон и эпоксидных смол в процессе нагревания; б) нарушения строения арматуры (её «слоение» на волокна) в результате вскипания клея. Однако, многочисленные эксперименты в данном направлении позволили белгородским исследователями считать, допустимым применение в строительных конструкциях арматурных синтетических полимеркомпозитных стержней при соблюдении ряда условий: а) в случае проектирования строительной конструкции с запасом огнепрочности, б) теплоизоляции углепластика, в) улучшения сцепления углепластика и бетона, г) применения метода затяжки, предполагающего вклеивание полимеркомпозитного холста или ленты в канал железобетонного элемента [25, с. 20].

Так как бетоны содержат различные синтетические «наполнители», актуальнейшим направлением в исследовании данного вида материалов является использование техногенных отходов, способных под воздействием высоких температур, повышать огнеупорные свойства бетонной конструкции, давая при этом незначительную усадку. Одно из исследований в данном направлении было проведено в г. Апатиты, учёными Института химии и технологии редких

элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева Кольского научного центра РАН. В результате проведённых ими экспериментов, удалось разработать технологию получения огнеупорного безобжигового бетона из отходов Ковдорского горно-обогатительного комбината [5, с. 31]. Данное направление в исследовании физико-технических свойств бетонов в перспективе не только позволит ускорить строительство объектов, требующих высоких показателей огнеупорности конструкции, но и позволит утилизировать отходы предприятий горной, перерабатывающей промышленности, и также выбросы ряда объектов ЖКХ.

Но, не только синтетические и минеральные «добавки» способны улучшить устойчивость бетонов к действию огня, но и способы производства бетонных изделий и увеличение спектра строительных материалов. В данном плане интерес представляет исследование А.Н.Винюкова и В.А.Артёмова, которые обращают внимание на то, что неавтоклавный газобетон жаропрочными характеристиками превосходит обычный бетон, газосиликат и кирпич, а его огнеупорность при воздействии открытого огня (900 °С) достигает 4 часов [7, с. 5].

В отношении огнеупорности железобетонов важна не только стойкость бетона к огню, но и огнеупорность стали, поэтому актуальными становятся исследовательские направления, связанные с повышением жаропрочностных характеристик арматуры, равно как и направления по разработке огнеупорных составов, которые бы, с одной стороны, защищали арматуру от действия высоких температур и препятствовали передаче температурного воздействия на бетон, а, с другой стороны, не снижали (незначительно снижали) сцепление арматуры с бетоном. Если первая проблема частично решена, то вторая ещё требует решения.

Литература

1. Аблаева У.Ш., Досалиев К.С., Абдужалилов Х.Б. Прочность и огнестойкость железобетонных конструкций // Экономика и социум. — 2025. — № 4 (131). — С. 667-670.
2. Антонов С.П., Гаращенко А.Н., Голованов В.И., Новиков Н.С. Прогнозирование огнестойкости железобетонных конструкций с полипропиленовой микрофиброй или огнезащитой // Пожаровзрывобезопасность. — 2023. — № 6. — С. 56-68.
3. Арцыбашева О.В., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Современные тенденции в области огнестойкости деревянных зданий и сооружений // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2013. — С. 178-196.
4. Арцыбашева О.В., Гречко А.Ю., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Исследование параметров обугливания деревянных конструкций длительного срока эксплуатации // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2013. — С. 64-68.
5. Белогурова О.А., Саварина М.А., Шарай Т.В. Техногенные отходы ковдорского гока — сырьё для неформованных материалов // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. — 2022. — № 2. — С. 30-40.

6. Бердикулов А.М., Имматов З.О. Устойчивость и несущая способность железобетонных конструкций при длительном воздействии экстремальных температур // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. — 2025. — № 5(134). — С. 37-39.

7. Винюков А.Н., Артёмов В.А. Формирование финансового результата предприятия в условиях диверсификации производства // *Политика, экономика, инновации*. — 2018. — № 6 (23). — С. 1-11.

8. Гусев А.И., Пазникова С.Н., Кожевникова Н.С. Повышение огнестойкости строительных деревянных конструкций // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2006. — Т.15. — № 3. — С. 30-35.

9. Карпо Б. С., Мишков С. Н. Термографические исследования фосфата этилендиамина в качестве антипирена для целлюлозосодержащих материалов // *Научные труды Московского государственного университета леса*. — 1998. — № 290. — С. 74-79.

10. Лазакович А.Р., Ижендеев А.В. Основные способы повышения огнестойкости строительных конструкций из стали, дерева и бетона (железобетона) // *Международная научно-практическая конференция «Вопросы развития науки, технологий и общества»*. — Мельбурн: ICSRD «Scientific View», 2025. 151 с. — С. 32-44.

11. Леонович А.А., Васильев В.В. Обеспечение огнезащитности древесно-стружечных плит с помощью амидофосфата КМ // *Деревообрабатывающая промышленность*. — 1997. — № 5. — С. 6-7.

12. Леонович А.А. Химический подход к проблеме снижения пожароопасности древесных материалов // *Пожаровзрывобезопасность*. — 1996. — Т. 5. — № 3. — С. 10-14.

13. Литвинец Ю.И., Дедюхин В.Г., Смольникова Е.В. Исследование горючести облицовочной плитки из древесного пластика // *Сборник трудов «Технология древесины, плит и пластиков»*. — Екатеринбург: Уральская государственная лесотехническая академия, 1995. — С. 56-62.

14. Лунёва Н.К., Аринкин С.М., Воробьев В.К., Петушок И.А., Коматов В.С. Технология придания древесным материалам огнебиозащитности с использованием полифосфорных соединений // *Тезисы докладов I Всероссийской конференции по полимерным материалам пониженной горючести*. — Волгоград, 1995. — С. 33-35.

15. Макишев Ж. К., Сивенков А. Б. Огнестойкость деревянных конструкций с длительным сроком эксплуатации // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2016. — № 3. — С. 34-44.

16. Мешалкин Е.А., Антонов С.П. Исследование процесса разрушения бетонных изделий при пожаре с учетом их взрывообразной потери целостности // *Технологии бетонов*. — 2019. — № 5-6. — С. 43-45.

17. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. — М: Стройиздат, 1998. — 301 с.

18. Павлов В. В., Пехотиков А. В., Кривошапкина О. В. Экспериментальные исследования огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных составов для стальных конструкций, позиционируемых как эффективные средства обеспечения огнестойкости несущих конструкций зданий и сооружений I и II степеней огнестойкости, применяемых в современной строительной практике // Лакокрасочные материалы и их применение. — 2015. — № 7. — С. 38-41.
19. Пазникова С.Н., Балакин В.М., Шагинурова В.В. Влияние азотфосфорсодержащих огнезащитных составов на горючесть древесных материалов // Межвузовский сборник трудов «Технология древесных плит и пластиков». — Екатеринбург, 2004. — С. 70-75.
20. Пехотиков А.В., Павлов В.В. Средства огнезащиты для стальных конструкций, актуальные вопросы при их применении, оценка технико-эксплуатационных характеристик // Промышленные покрытия. — 2015. — № 5-6. — С. 30-34.
21. Покровская Е.Н., Недомивин Ю.Н., Никифорова Т.П. Фосфорсодержащие антипирены и механизм их действия // Сборник трудов «Теоретические и практические аспекты огнезащиты древесных материалов». — Рига: Знание, 1985. — 239 с. — С. 118-121.
22. Пронин Д.Г. Огнестойкость стальных несущих конструкций. — М.: Аксиом график юнион, 2015. — 27 с.
23. Самошкин А.С. Исследование взаимодействия арматуры с бетоном расчетно-экспериментальными методами: дисс... канд. техн. наук. — Новосибирск. — 2017. — 122 с.
24. Сметанкина Г.И., Кузьменко А.А. Разрушение строительных металлоконструкций в условиях пожара // E-Scio. — 2022. — Страницы не указаны.
25. Смоляго Г.А., Обернихина Я.Л. Обзор эффективности усиления полимеркомпозитными материалами. Огнестойкость конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2021. — № 2. — С. 15-27.
26. Соловьёва А.И., Георгиев С.В., Меретуков З.А. Углеродное волокно - как хороший материал для усиления железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 9. — Страницы не указаны.
27. Тычино Н. А., Яцукович А. Г. Огнезащитная пропиточная композиция для древесины, образующая пористый теплоизолирующий слой на ее поверхности // Пожаровзрывобезопасность. — 1999. — Т. 8. — №1. — С. 35-39.