

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ТИПОВЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ

Нехань Д.С., Полевода И.И., Зайнудинова Н.В., Ивлев Ю.П., Ботян С.С., Лишай И.Л.

Цель. Установить критерии выбора типовых представителей железобетонных изделий для испытаний по определению предела огнестойкости при проведении процедур по оценке соответствия техническим требованиям.

Методы. Обобщение подходов по распространению результатов испытаний на огнестойкость строительных конструкций и теоретических методов оценки их огнестойкости. Анализ влияния количественных и качественных показателей железобетонных изделий на их теоретическую огнестойкость, а также результаты огневых испытаний, в том числе их распространение.

Результаты. Разработан алгоритм и определены критерии выбора типовых представителей железобетонных изделий для проведения сертификационных испытаний на огнестойкость, основанные на комплексном анализе упрощенных методов и существующих табличных данных по оценке огнестойкости. Их применение позволяет обеспечить пожарную безопасность зданий за счет выбора для проведения сертификационных испытаний на огнестойкость железобетонного изделия, структурные и конструктивные особенности которого свидетельствуют о том, что оно потенциально обладает наиболее низкой огнестойкостью из всех изделий серии.

Область применения исследований. Полученные результаты могут использоваться при конструировании железобетонных изделий, а также при проектировании зданий и сооружений. Органы по сертификации могут использовать полученные результаты в рамках оценки (подтверждения) соответствия серии железобетонных изделий техническим требованиям при выборе типовых представителей железобетонных изделий для испытаний. Результаты, полученные в настоящей работе, включены в Положение по выбору типовых представителей железобетонных изделий для проведения испытаний по определению прочности, жесткости, трещиностойкости, предела огнестойкости при проведении процедур по оценке соответствия.

Ключевые слова: железобетонные изделия, огнестойкость, предел огнестойкости, огневые испытания, типовой представитель, критерии выбора, оценка соответствия, технические требования, толщина защитного слоя бетона.

(Поступила в редакцию 14 января 2025 г.)

Введение

В Республике Беларусь ежегодно происходит около шести тысяч пожаров, приводящих к социальному и экономическому ущербу. В таких условиях задача обеспечения огнестойкости зданий при пожаре требует особого внимания. Огнестойкость строительных конструкций является показателем их качества при возникновении пожара, а ее обеспечение равно выполнению одного из существенных требований безопасности зданий и сооружений¹. В связи с этим огнестойкость изделий, в том числе железобетонных, – один из ключевых факторов, определяющих их область применения.

В настоящее время для серийно выпускаемых изделий проводится оценка соответствия их предъявляемым техническим требованиям. Испытания, проводимые испытательной лабораторией (центром), являются неотъемлемой процедурой в рамках подтверждения соответствия, в результате которой определяются один или несколько количественных и (или) качественных показателей (характеристик) объекта оценки соответствия (образца

¹ Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ. – Введ. 01.08.2010. – Минск: Госстандарт, 2015. – 28 с.

продукции)². Такая процедура является основным способом подтверждения качества сертифицируемой продукции в части соблюдения существенных требований, по результатам которой делается общий вывод о серии (партии) продукции. Выбор необходимого числа изделий для испытаний – одна из важнейших составляющих при оценке соответствия серийной продукции техническим требованиям. Непрактичным является проведение испытаний большого массива однотипных железобетонных изделий, образующих серию, но при этом обладающих вариативностью формы, размеров и конструктива.

Параметры железобетонных изделий, влияющие на их огнестойкость, достаточно обширны^{3, 4}. Существующая степень разрешенных вариаций при прямом распространении результатов огневых испытаний строительных изделий достаточно консервативна и основывается на минимальном уровне общего достигнутого соглашения между изделиями⁵. При этом результаты испытаний изделий серии, выбираемых техническим экспертом по сертификации, должны с высоким уровнем достоверности гарантировать для всей серийной продукции выполнение своих функций при пожаре в течение предписываемого промежутка времени. Указанные факторы усложняют процедуру поиска оптимального для испытаний изделия серии с точки зрения выполнения комплекса экономических и социальных, экономических и научно-технических мер системы пожарной безопасности. Поэтому разработка алгоритма и определение критериев, позволяющих выбрать из перечня железобетонных изделий типового представителя для проведения испытаний по определению предела огнестойкости при проведении процедур по оценке соответствия техническим требованиям (далее – типовой представитель), является актуальной задачей. Решение такой задачи позволит обеспечить соответствие серийной продукции существенным требованиям безопасности при строительстве зданий и сооружений.

Основная часть

Огнестойкость определяется как способность зданий (пожарных отсеков), сооружений и строительных конструкций сохранять свои функции при пожаре⁶. Огнестойкость зданий (пожарных отсеков) и сооружений характеризуется степенью огнестойкости, а строительных конструкций – пределом огнестойкости, под которым принято понимать промежуток времени от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного из нормируемых для данной конструкции предельных состояний.

В настоящее время вывод об обеспечении огнестойкости делается на основании сопоставления требуемой (предписывающей) $CO_{тр}$ и фактической степеней огнестойкости здания (пожарного отсека) $CO_{ф}$. Требуемая (предписывающая) степень огнестойкости определяется по приложениям Б–Е СН 2.02.05⁷ в зависимости от класса функциональной пожарной опасности зданий, их этажности (высоты), площади этажа, для общественных зданий – дополнительно вместимости, для производственных, складских и сельскохозяйственных зданий – дополнительно категории по взрывопожарной и пожарной опасности. Фактическая

² Об оценке соответствия техническим требованиям и аккредитации органов по оценке соответствия: Закон Респ. Беларусь, 24 окт. 2016 г., № 437-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11600437> (дата обращения: 04.01.2025).

³ Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости: ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). – Введ. 01.01.2009 (с отменой на территории Респ. Беларусь П1-02 к СНБ 2.02.01-98). – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 135 с.

⁴ Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1992-1-2-2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 87 с.

⁵ Испытания на огнестойкость. Часть 1. Общие требования: СТБ EN 1363-1-2009. – Взамен СТБ EN 13501-3-2009; введ. 01.01.2010. – Минск: БелГИСС, 2010. – 92 с.

⁶ Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03-95. – Введ. 01.10.1995. – Минск: Госстандарт, 2011. – 25 с.

⁷ Пожарная безопасность зданий и сооружений: СН 2.02.05-2020. – Введ. 04.04.2021 (взамен СН 2.02.01-2019, с отменой ТКП 45-2.02-315-2018 (33020)). – Минск: Минстройархитектуры, 2023. – 74 с.

степень огнестойкости здания (пожарного отсека) определяется огнестойкостью строительных конструкций, из которых оно выполнено [1].

Для оценки фактических значений пределов огнестойкости $ПО_{\text{ф}}$ используются не только экспериментальные, в отличие от определения прочности бетонных образцов и арматурных стержней, но также теоретические подходы. В соответствии с п. 5.2.2 СН 2.02.05⁸ огневые испытания определены как первообразная составляющая для установления предела огнестойкости. При этом в случае невозможности создания реальных условий работы строительных конструкций при проведении огневых испытаний предел огнестойкости конструкций определяют расчетом, содержащимся в технических нормативных правовых актах (далее – ТНПА). Собственный (фактический) предел огнестойкости железобетонной конструкции (изделия) зависит от характеристик бетона и арматуры, условий ее применения, конструктива, технологии изготовления и других факторов [1]. Следует отметить, что в действующих сериях (рабочих чертежах), где железобетонные изделия отличаются между собой по целому ряду признаков, определено единственное значение предела огнестойкости, которое, как правило, является заявленным значением при проведении испытаний. При этом не устанавливается, для какого конкретного изделия был определен указанный показатель.

Требуемые для заданной строительной конструкции пределы огнестойкости $ПО_{\text{тр}}$ устанавливаются на основании требуемой (предписывающей) степени огнестойкости здания (пожарного отсека) по таблице 1 СН 2.02.05. При этом для случаев использования изделий плит перекрытия в качестве противопожарных 1-го типа предписывающий предел огнестойкости REI150. Для плит перекрытия, отделяющих подземные этажи от наземной части в высотных зданиях, предписанный СН 3.02.08⁹ предел огнестойкости REI120. В ряде случаев для колонн, балок (ригелей) и других изделий, используемых в качестве несущих конструкций здания, предписывающий предел огнестойкости должен быть повышен¹⁰ до R150. Отдельно следует отметить предписанные СН 3.02.08 пределы огнестойкости для несущих, ограждающих конструкций, в том числе конструкций противопожарных преград, и конструкций инженерных коммуникаций в высотных зданиях. Данные значения существенно превышают показатели, приведенные в таблице 1 СН 2.02.05, по тексту СН 2.02.05, СН 2.02.07¹¹, СН 4.02.03¹² и других ТНПА.

Для выполнения условия безопасности по огнестойкости фактическая (собственная) огнестойкость здания (пожарного отсека) и строительных конструкций должны быть не ниже предписанных ТНПА, т.е. $СО_{\text{ф}} \geq СО_{\text{тр}}$, $ПО_{\text{ф}} \geq ПО_{\text{тр}}$.

Железобетонные изделия занимают особое место в формировании среды обитания человечества [2]. Применение их в качестве строительных конструкций определяется государственными и межгосударственными стандартами, устанавливающими для них перечень различных требований [3]. К железобетонным изделиям, для которых требования государственных (межгосударственных) стандартов (действующих на территории Республики Беларусь) определяют необходимость установления предела огнестойкости, относятся: панели стеновые железобетонные (СТБ 1185-99); плиты перекрытий железобетонные многопустотные (в том числе безопалубочного формования), плиты перекрытий железобетонные сплошные, плиты перекрытий железобетонные ребристые (СТБ 1383-2003); плиты балконов и лоджий

⁸ Пожарная безопасность зданий и сооружений: СН 2.02.05-2020. – Введ. 04.04.2021 (взамен СН 2.02.01-2019, с отменой ТКП 45-2.02-315-2018 (33020)). – Минск: Минстройархитектуры, 2023. – 74 с.

⁹ Высотные здания: СН 3.02.08-2020. – Введ. 24.03.2021 (с отменой ТКП 45-2.02-108-2008 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 69 с.

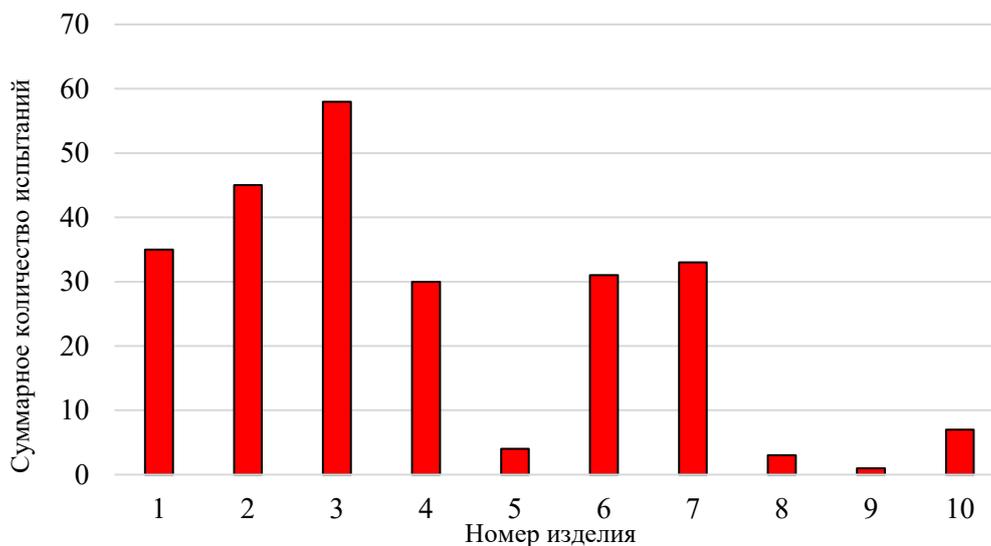
¹⁰ Пределы огнестойкости конструкций, на которые опирается противопожарная преграда, и узлов сопряжения между ними по признаку R должны быть не менее требуемого предела огнестойкости противопожарной преграды.

¹¹ Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции: СН 2.02.07-2020. – Введ. 10.05.2021 (с отменой ТКП 45-4.02-273-2012 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 20 с.

¹² Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СН 4.02.03-2019. – Введ. 08.09.2020 (с отменой СНБ 4.02.01-03). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 73 с.

железобетонные (СТБ 1237-2000); прогоны железобетонные, балки стропильные и подстропильные железобетонные, ригели железобетонные (СТБ 1186-99); колонны железобетонные (СТБ 1178-99); фермы железобетонные (СТБ 2075-2010); марши и площадки лестниц железобетонные (СТБ 1169-99); блоки вентиляционные железобетонные (СТБ 2172-2011); блоки шахт лифтов, панели стеновые шахт лифтов, плиты перекрытия над шахтами лифтов (СТБ 1513-2004); изделия железобетонные сборные для многоэтажных зданий с безбалочными перекрытиями (ГОСТ 27108-86); панели бетонные и железобетонные из легких бетонов (ГОСТ 32488-2013); складки сборные железобетонные предварительно напряженные (СТБ 1514-2004); рамы железобетонные для однопролетных сельскохозяйственных зданий (СТБ 1623-2006); блоки железобетонные объемные для зданий (СТБ 2215-2011).

Статистический анализ огневых испытаний железобетонных изделий в Республике Беларусь. Проведенный статистический анализ количественных данных НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси по испытаниям железобетонных изделий на огнестойкость за период 2004–2024 гг. (рис. 1) показал, что более 55 % от всех испытаний железобетонных изделий приходится на плиты перекрытия, в том числе сплошные (включая плиты балконов и лоджий), ребристые и многопустотные. С использованием подходов, аналогичных подходам к проверке плит перекрытия, испытываются лестничные марши и площадки: общее количество составляет более 25 % от всех испытанных железобетонных изделий. Особое место занимают панели стеновые железобетонные, для которых количество испытаний на огнестойкость в разрезе всех железобетонных изделий составляет около 15 %.



1 – панели стеновые железобетонные (СТБ 1185-99); 2 – плиты перекрытий железобетонные многопустотные (в том числе безопалубочного формования) (СТБ 1383-2003); 3 – плиты перекрытий железобетонные сплошные (СТБ 1383-2003); 4 – плиты перекрытий железобетонные ребристые (СТБ 1383-2003); 5 – плиты балконов и лоджий железобетонные (СТБ 1237-2000); 6 – марши лестниц железобетонные (СТБ 1169-99); 7 – площадки лестниц железобетонные (СТБ 1169-99); 8 – блоки вентиляционные железобетонные (2172-2011); 9 – панели стеновые шахт лифтов (СТБ 1513-2004); 10 – плиты перекрытия над шахтами лифтов (СТБ 1513-2004)

Рисунок 1. – Распределение испытаний на огнестойкость, проведенных в НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси за период 2004–2024 гг., по видам железобетонных изделий

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время не существует единых критериев (правил) выбора представителей серии для испытаний. Это касается не только испытаний на огнестойкость. Типовые представители для сертификационных испытаний продукции выбираются в случае большого количества однотипной продукции, которая соответствует одному или нескольким ТНПА и изготавливается по единой технологии. Образцы для сертификационных испытаний отбираются случайным образом из разных мест подконтрольной партии, назначенной в качестве типового представителя. В ряде случаев

в качестве типового представителя выступают изделия серии с минимальным и (или) максимальным значением показателя качества^{13, 14}.

С увеличением количества варьируемых параметров в серии любой продукции процедура выбора типового представителя усложняется ввиду увеличения факторов, влияющих на конечный результат испытания. При этом потенциальное число типовых представителей, если не установлена соответствующая корреляция между параметрами и их влиянием на конечный результат, увеличивается в $2^{n_{\phi}}$ раз, где n_{ϕ} – число варьируемых параметров (факторов), влияющих на конечный результат.

Рассматривая сертификационные испытания железобетонных изделий как форму подтверждения предела огнестойкости железобетонных изделий, приняв во внимание хотя бы два варьируемых параметра (например, толщина изделия и расстояние до оси арматуры) при неизменных остальных показателях (класс бетона, класс арматуры, уровень нагрузки при пожаре и т.д.), испытание четырех образцов с минимальными и максимальными значениями переменных параметров позволило бы получить четыре различных значения предела огнестойкости и присвоить изделиям в серии в зависимости от их параметров конкретное значение предела огнестойкости. При наличии трех переменных параметров количество испытываемых образцов выросло бы до восьми. Согласно требованиям ГОСТ 30247.0¹⁵, ГОСТ 30247.1¹⁶ число образцов одного конструктива для испытаний составляет не менее двух, поэтому число испытаний увеличивается до 16, что существенно удорожает сертификацию продукции. Учитывая отсутствие необходимости в распространении результатов испытаний типа «от... до...» (в серии и сертификате соответствия указывается единственное значение предела огнестойкости), достаточным является поиск изделия, которое однозначно обладает наименьшей огнестойкостью. Если такая однозначность не достигается выбором одного изделия, то число изделий для испытаний увеличивается. Исходя из этого определено понятие типового представителя для сертификационных испытаний на огнестойкость – изделие, структурные и конструктивные особенности которого свидетельствуют о том, что оно потенциально обладает наиболее низкой огнестойкостью из всех изделий серии. При этом качество исходного сырья (материалов), соблюдение технологии производства железобетонных изделий в априори считается отвечающим установленным требованиям ТНПА и технической документации. В случае когда эти характеристики не подтверждены, проведение испытаний на огнестойкость считается нецелесообразным.

Процесс выбора типовых представителей должен основываться на учете различных факторов, которые могут повлиять на поведение изделий серии при пожаре, а также на оптимизации количества испытаний. Для оптимизации количества типовых представителей внешние факторы (неконструктивные и структурные особенности самого изделия) для таких испытаний должны быть исключены: одинаковый уровень нагрузки при пожаре, тепловое воздействие во времени, условия закрепления на экспериментальной установке, применяемое испытательное оборудование, идентификация признаков наступления предельных состояний и др.

Классификация железобетонных изделий. Для возможности определения порядка выбора типового представителя железобетонных изделий для сертификационных испытаний

¹³ Порядок обязательного подтверждения соответствия продукции требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности низковольтного оборудования»: ГОСТ Р 56017-2014. – Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартинформ, 2020. – 62 с.

¹⁴ Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний: ГОСТ Р 51327.1-2010. – Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартинформ, 2011. – 118 с.

¹⁵ Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0-94. – Взамен СТ СЭВ 1000-78; введ. 01.01.1996. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

¹⁶ Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции: ГОСТ 30247.1-94. – Взамен СТ СЭВ 1000-78, СТ СЭВ 5062-85; введ. 01.01.1996. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

на огнестойкость на этапе идентификации изделий серии их следует классифицировать. Исходя из особенностей поведения железобетонных конструкций (изделий) при пожаре, установлена классификация железобетонных изделий, которая определяет для них исходный перечень параметров (показателей), необходимых для установления типового представителя.

В зависимости от выполняемых функций железобетонные конструкции (изделия) подразделяются на несущие стержневые, несущие ограждающие, ненесущие ограждающие, системы несущих стержневых элементов, системы несущих ограждающих элементов. В зависимости от пространственного положения железобетонные конструкции (изделия) подразделяются на горизонтальные и вертикальные. В зависимости от схемы испытаний (работы в составе здания) железобетонные изделия подразделяются на консоли, с защемлением по двум и более концам, свободно опертые и работающие в двух направлениях (опирающиеся по четырем или трем сторонам), свободно опертые и работающие в одном направлении (опирающиеся по двум сторонам). В зависимости от нагреваемого периметра (количества нагреваемых сторон) железобетонные конструкции (изделия) могут подвергаться огневому воздействию с одной, двух параллельных, двух перпендикулярных, трех или четырех сторон, а также по всему периметру и по части периметра.

При наличии изделий в серии, не попадающих в классификацию, выбор типового представителя осуществляется техническим экспертом по сертификации на основании общих параметров, с учетом особенностей указанных изделий. Рекомендуются в данном случае провести расчет огнестойкости по методам, содержащимся в ТНПА.

Параметры железобетонных изделий, необходимые для выбора типового представителя по определению предела огнестойкости (далее – параметры изделий). Для рассмотренного перечня железобетонных изделий, требования государственных (межгосударственных) стандартов (действующих на территории Республики Беларусь) на которые определяют необходимость установления предела огнестойкости, можно выделить общие и частные параметры (показатели). Общие параметры характерны для всех изделий, к ним относятся:

- геометрические параметры поперечного сечения (ширина¹⁷ b , высота h , толщина t , диаметр D);
- класс бетона (характеристическая прочность бетона на осевое сжатие);
- критерий хрупкого взрывообразного разрушения (далее – ХР) при пожаре $F_{ХР}$;
- приведенный коэффициент температуропроводности бетона a_{red} .

К частным параметрам (показателям) изделий, характерным для определенных видов изделий, определяемых их классификацией, относятся:

- расстояние от нагреваемой поверхности до оси арматуры¹⁸ c (толщина защитного слоя бетона¹⁹ a и диаметр рабочей арматуры d_s) – для несущих элементов;
- класс арматуры (характеристическая прочность арматуры) – для несущих элементов;
- гибкость λ (расчетная длина (высота) l_0) – для вертикальных несущих элементов;
- длина пролета l_n – для горизонтальных несущих элементов;
- условия опирания (закрепления концов изделия) – для несущих элементов;
- уровень нагрузки при пожаре η_f (коэффициент использования несущей способности при пожаре η) (по ТКП EN 1992-1-2 и ТКП 45-2.02-110) – для несущих элементов;
- уровень нагрузки n при нормальной температуре (по ТКП EN 1992-1-2) – для вертикальных несущих стержневых элементов;
- коэффициент армирования ω (по ТКП EN 1992-1-2) – для вертикальных несущих стержневых элементов;

¹⁷ В качестве ширины ребер в ребристых плитах принимается ширина на уровне расположения растянутой арматуры.

¹⁸ В качестве расстояния до оси арматуры принимается расстояние от нагреваемой поверхности до оси рабочей арматуры.

¹⁹ В качестве толщины защитного слоя бетона принимается расстояние по нормали от нагреваемой бетонной поверхности до ближайшей к ней цилиндрической образующей арматурного стержня.

- эксцентриситет продольной силы e относительно центра поперечного сечения – для вертикальных несущих элементов;
- отношение объема бетона к геометрическому объему изделия V_c/V – для пустотелых изделий;
- расстояние от нагреваемой поверхности до пустот – для пустотелых изделий;
- расстояния от боковой(-ых) нагреваемой(-ых) поверхности(-ях) до оси арматуры c_{ω} – для горизонтальных несущих стержневых элементов, подвергаемых огневому воздействию с двух перпендикулярных и более сторон;
- жесткость элемента – для заземленных несущих элементов;
- длина заанкеренной арматуры (включая длину выпуска за торцевую часть изделия) – для горизонтальных пустотелых несущих преднапряженных элементов;
- степень предварительного напряжения – для несущих элементов с предварительно напряженной арматурой.

Перечень частных параметров по решению технического эксперта по сертификации может быть расширен с учетом заранее известной специфики работы рассматриваемых изделий (при учете работы на кручение, местном сжатии, местном отрыве, продавливании и др.).

Расстояние до оси арматуры c , толщина защитного слоя бетона a и диаметр рабочей арматуры d_s связаны следующей зависимостью:

$$c = a + 0,5d_s. \quad (1)$$

Длина пролета горизонтальных несущих элементов определяется по формуле²⁰:

$$l_n = l_{in} - h_{оп}, \quad (2)$$

где l_{in} – длина изделия;

$h_{оп}$ – глубина опирания изделия (рекомендуется принимать минимальное значение по серии).

Приведенный коэффициент температуропроводности бетона a_{red} , м²/ч, определяется по формуле [4]:

$$a_{red} = \frac{3,6\lambda_c(1+0,01W_c)}{(c_{p,c} + 0,05W_c)\rho_c}, \quad (3)$$

где λ_c – эффективный коэффициент теплопроводности бетона, Вт/(м·К);

$c_{p,c}$ – удельная изобарная теплоемкость бетона, кДж/(кг·К);

ρ_c – средняя плотность бетона, кг/м³;

W_c – весовая влажность бетона, %.

Критерий ХР при пожаре $F_{ХР}$ определяется в соответствии с приложением К ТКП 45-2.02-110. Для бетонов нормального веса с силикатным заполнителем при известных условиях эксплуатации (классах эксплуатации) $F_{ХР}$ допускается определять по формуле:

$$F = O \cdot \frac{f_{ck}^{0,3}}{\rho_c^{0,12}}, \quad (4)$$

где f_{ck} – характеристическая прочность бетона на осевое сжатие, МПа;

O – размерный параметр, кг^{0,12}·м^{-0,36}·МПа^{-0,3}. Допускается принимать равным 11 – для класса эксплуатации (по СТБ EN 206²¹) Х0; 17 – для ХС1; 30 – для ХС2; 25 – для ХС3; 35 – для ХС4.

Получаемое по формуле (4) значение $F_{ХР}$ применимо только для проведения оценочных действий в рамках выбора типового представителя.

²⁰ Fire-resistance tests – Elements of building construction – Part 1: General requirements: ISO 834-1:1999 (E). – Implemented 15.09.2000. – Geneva: ISO, 2000.

²¹ Бетон. Требования, показатели, изготовление и соответствие : СТБ EN 206-2016. – Введ. 01.07.2017. – Минск: Госстандарт, 2017. – 105 с.

Для серий, в которых не указываются уровень нагрузки при пожаре η_{fi} или контрольная нагрузка при испытании на огнестойкость $E_{d,fi}$, эти величины определяются в соответствии с п. 2.4.2 (3) ТКП EN 1992-1-2 с учетом приложения А СН 2.01.01²², положений СН 2.01.02²³ и СН 2.01.03²⁴. Для испытаний на огнестойкость допускается принимать $\eta_{fi} = 0,7$. Значение $E_{d,fi}$ (без учета собственного веса) определяется по формуле:

$$E_{d,fi} = \frac{E_{d,c}}{C} \cdot \eta_{fi}, \quad (5)$$

где $E_{d,c}$ – контрольная разрушающая нагрузка (нагрузка по прочности) (без учета собственного веса);

C – коэффициент безопасности по ГОСТ 8829²⁵.

Поведение железобетонных конструкций при пожаре во многом также определяется видом классом бетона, составом бетонной смеси, классом арматуры, ее критической температурой и положением. Поэтому после определения фактических общих и частных параметров (показателей) железобетонных изделий с целью возможности сравнения параметров (показателей) изделий между собой их необходимо привести к базовым. Базовыми могут считаться параметры полнотелого изделия с силикатным (гранитным) заполнителем, выполненного из бетона и арматуры класса не выше $C^{50}/_{60}$ (B60) и S500 (A500, A-III) соответственно.

Порядок приведения параметров железобетонных изделий к базовым показателям. Приведение параметров железобетонных изделий к базовым показателям производится в случае, если в серии применяются бетоны и (или) арматура различных классов и (или) различный вид крупного заполнителя.

При применении в изделиях, подвергаемых огневому воздействию с одной стороны, бетонов класса $C^{55}/_{67}$ и выше приведению к базовому показателю подлежит расстояние от нагреваемой поверхности до оси арматуры по формуле:

$$c_{пр} = c / k_c, \quad (6)$$

где k_c – коэффициент приведения, учитывающий класс бетона, равный 1,1, – для бетонов классов $C^{55}/_{67}$ – $C^{60}/_{75}$; 1,3 – для бетонов классов $C^{70}/_{85}$ – $C^{80}/_{95}$.

Для остальных изделий, выполненных из бетонов классов $C^{55}/_{67}$ и выше, приведению к базовому показателю подлежит расстояние от нагреваемой поверхности до оси арматуры по формуле (6), в которой принимается $k_c = 1,2$ – для бетонов классов $C^{55}/_{67}$ – $C^{60}/_{75}$ и $k_c = 1,6$ – для бетонов классов $C^{70}/_{85}$ – $C^{80}/_{95}$.

Для горизонтальных несущих элементов с предварительно напряженной арматурой в растянутой зоне классов выше S500 (A500, A-III) приведению к базовому показателю подлежит расстояние от нагреваемой поверхности до оси арматуры по формуле:

$$c_{пр} = c - k_s, \quad (7)$$

где k_s – коэффициент приведения, учитывающий класс арматуры (критическую температуру и предварительное натяжение), мм, равный 10 мм – для арматуры классов S800–S1200

²² Основы проектирования строительных конструкций: СН 2.01.01-2022. – Введ. 23.11.2022 (взамен СН 2.01.01-2019). – Минск: Минстройархитектуры, 2022. – 65 с.

²³ Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий: СН 2.01.02-2019. – Введ. 08.09.2020 (взамен ТКП EN 1991-1-1-2016 (33020)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 39 с.

²⁴ Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: СН 2.01.03-2019. – Введ. 01.01.2010 (с отменой ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 43 с.

²⁵ Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-2018. – Введ. 01.01.2010. – М.: Стандартинформ, 2009. – 30 с.

(A600–A1000, A-IV–A-VI) и 15 мм – для проволочной и канатной арматуры классов S1400 (B500, Bp1200, Bp1300, Bp1400, Bp1500, K1400, K1500) и выше.

Для случаев, когда все изделия серии имеют арматуру одинакового класса, расстояние до оси арматуры допускается к базовому не приводить, а оперировать фактическим значением.

В случае расположения рабочей арматуры на разных расстояниях от нагреваемой поверхности, а также при использовании в качестве рабочей арматуры разных классов фактическое значение расстояния до оси арматуры, подставляемое в формулы (6) и (7), определяется следующим образом:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n A_{si} f_{yki} c_i}{\sum_{i=1}^n A_{si} f_{yki}}, \quad (8)$$

где A_{si} – площадь поперечного сечения арматурного стержня;

f_{yki} – характеристическая прочность i -го арматурного стержня;

c_i – расстояние от ближайшей из нагреваемых (нижней или боковой) бетонной поверхности конструкции до оси i -го арматурного стержня.

Для изделий с карбонатным заполнителем приведению к базовому показателю подлежат ширина b и высота h поперечного сечения (толщина изделия t) по формуле:

$$b_{np} = b \cdot k_3, \quad (9_1)$$

$$h_{np} = h \cdot k_3, \quad (9_2)$$

$$t_{np} = t \cdot k_3, \quad (9_3)$$

где $k_3 = 1,11$ – коэффициент приведения, учитывающий вид крупного заполнителя.

Для пустотелых изделий, например плит перекрытия многопустотных, приведению к базовому показателю подлежит толщина изделия по формуле:

$$t_{np} = t \sqrt{V_c / V}, \quad (10)$$

где $V_c, V = L \cdot b \cdot t$ – объем бетона и геометрический объем изделия;

L, b, t – фактические длина, ширина и толщина изделия соответственно.

Выделение основных и дополнительных параметров железобетонных изделий при выборе типового представителя. Учитывая достаточно обширный перечень параметров железобетонных конструкций, оказывающих влияние на их предел огнестойкости, использование схемы, при которой не учитывается важность влияния отдельных параметров на огнестойкость, может привести к существенной неопределенности в части корректности выбора типового представителя. В зависимости от степени детализации при выборе типового представителя, с учетом оптимизации количества изделий, подвергаемых испытаниям на огнестойкость, параметры (показатели) изделий следует разграничить на основные (ключевые) и дополнительные (используемые при прочих равных основных параметрах). До тех пор, пока не установлены значения взвешивающих коэффициентов для всех входных показателей (параметров), оказывающих влияние на огнестойкость, предлагается в качестве основных использовать показатели (параметры), определяющие огнестойкость железобетонных изделий во всех расчетных подходах, в том числе табличных данных, и учитываемые при распространении результатов огневых испытаний.

На основании проведенного анализа факторов (параметров), определяющих распространение результатов испытаний железобетонных конструкций на огнестойкость, согласно международным стандартам ISO 834-4 (стены), ISO 834-5 (плиты перекрытий и покрытий), ISO 834-6 (балки, прогоны, фермы и другие растянутые элементы), ISO 834-7 (колонны), ISO 834-8 (перегородки), а также положений расчетных методов и методик, в том числе табличных данных, представленных в ТКП EN 1992-1-2, разделе 6 ТКП 45-2.02-110, СП 5.03.01,

ТКП EN 1992-1-1, СН 2.01.03, определены основные параметры (показатели) изделий, в зависимости от классификации рассматриваемого изделия:

- геометрические параметры поперечного сечения (ширина b , высота h , диаметр D) – для несущих стержневых элементов;
 - расстояние от нагреваемой поверхности до оси арматуры c – для несущих элементов;
 - толщина t , в том числе эффективная t_{eff} , – для ограждающих изделий;
 - расстояния от боковой(-ых) нагреваемой(-ых) поверхности(-ях) до оси арматуры $c_{\omega,i}$ – для горизонтальных несущих стержневых элементов, подвергаемых огневому воздействию с двух перпендикулярных и более сторон;
 - критерий ХР при пожаре $F_{ХР}$ – для всех изделий;
 - уровень нагрузки при пожаре η_f (коэффициент использования несущей способности при пожаре η , уровень нагрузки n при нормальной температуре для вертикальных несущих элементов) – для несущих элементов;
 - условия опирания – для горизонтальных несущих элементов;
 - гибкость λ (расчетная длина l_0 (высота)) – для вертикальных несущих элементов;
 - эксцентриситет продольной силы e относительно центра поперечного сечения – для вертикальных несущих элементов;
 - коэффициент армирования ω – для вертикальных несущих элементов;
 - приведенный коэффициент температуропроводности бетона a_{red} – для всех изделий.
- К дополнительным параметрам (показателям) изделий относятся:
- длина пролета l_n – для горизонтальных несущих элементов;
 - отношение периметра поперечного сечения к площади поперечного сечения – для горизонтальных ограждающих несущих элементов;
 - расстояние от нагреваемой поверхности до пустот – для пустотелых изделий;
 - жесткость – для заземленных несущих элементов;
 - класс арматуры (характеристическая прочность арматуры) – для несущих элементов;
 - класс бетона (характеристическая прочность бетона на осевое сжатие) – для несущих элементов;
 - длина заанкеренной арматуры (включая длину выпуска за торцевую часть изделия) – для горизонтальных пустотелых несущих преднапряженных элементов;
 - степень предварительного напряжения – для несущих элементов с предварительно напряженной арматурой.

Влияние параметров (показателей) железобетонных изделий на их огнестойкость. Проведенный анализ требований существующих стандартов по распространению результатов испытаний на огнестойкость, влияния входных параметров (количественных и качественных показателей) на результаты расчетной оценки пределов огнестойкости и огневых испытаний позволил установить, что при прочих равных условиях огнестойкость конструкции, как правило, повышается:

- при увеличении геометрических параметров поперечного сечения (ширины, высоты, диаметра);
- при увеличении расстояния от i -й нагреваемой поверхности до оси арматуры (при увеличении толщины защитного слоя бетона для рабочей арматуры со стороны i -й нагреваемой поверхности и увеличении диаметра арматуры);
- при увеличении толщины, в том числе эффективной, изделия (увеличении отношения объема бетона к геометрическому объему изделия);
- при уменьшении критерия ХР при пожаре;
- при уменьшении уровня нагрузки (коэффициент использования несущей способности) при пожаре, уровня нагрузки при нормальной температуре;
- при изменении шарнирного опирания на жесткое защемление (увеличении статической неопределимости);
- при уменьшении гибкости (расчетной длины (высоты) изделия);

- при уменьшении эксцентриситета продольной силы относительно центра поперечного сечения;
- при уменьшении коэффициента армирования;
- при уменьшении приведенного коэффициента температуропроводности;
- при уменьшении длины пролета;
- при уменьшении отношения периметра поперечного сечения к площади поперечного сечения;
- при уменьшении расстояния от нагреваемой поверхности до пустот;
- при уменьшении жесткости изделия;
- при уменьшении класса арматуры (для арматуры классов S500 (A500, A-III) (включ.));
- при увеличении длины заанкеренной арматуры (включая длину выпуска за торцевую часть изделия);
- при уменьшении класса бетона (для бетонов до класса C⁵⁰/₆₀ (B60) (включ.));
- при уменьшении степени предварительного напряжения (для арматуры классов S800, A600, A-IV и выше).

Порядок выбора типового представителя. Критериями для выбора типовых представителей являются основные и дополнительные (в случае необходимости) параметры (показатели) изделий серии, а также параметры испытательной установки. Общий алгоритм выбора типового представителя для испытаний на огнестойкость приведен на рисунке 2.

Для выбора типового представителя для всех изделий серии в соответствии с их классификацией на начальном этапе определяются общие и частные параметры, затем устанавливаются основные и дополнительные параметры. Параметры изделий, установленные из серии, подлежат приведению к базовым показателям.

Далее изделия, обладающие схожими количественными и (или) качественными показателями, группируются по соответствующим параметрам²⁶. В случае одинакового значения параметра (показателя) для всех изделий в серии указанный параметр (показатель) допускается не учитывать и соответствующую группу не формировать. Схожесть параметров (показателей) определяется их полным соответствием или попаданием в один диапазон (интервал) значений параметров (показателей)²⁷. Диапазон параметров (показателей), при которых изделия считаются схожими, определяется техническим экспертом по сертификации в зависимости от параметра (показателя). Каждое изделие серии относится только к одной группе по каждому параметру (показателю), выступающему в качестве критерия.

Сформированные группы по каждому параметру (показателю) ранжируются. Ранг группы изделий по параметру (показателю) определяется влиянием значения параметра (показателя) в этой группе на огнестойкость. Ранг группы по параметру (показателю) ниже в случаях, когда огнестойкость конструкции при прочих равных условиях выше. Количество рангов среди всех групп по параметру (показателю) соответствует числу сформированных групп изделий по этому параметру (показателю). Ранг 1 считается более высоким по сравнению с рангом 2, а ранг 2 более высоким по сравнению с рангом 3 и т.д. Группа с рангом 1 является

²⁶ Например, группы по расстоянию от нагреваемой поверхности до оси арматуры, группы по длине пролета, группы по толщине изделия, группы по ширине изделия, группы по уровню нагрузки при пожаре, группы по классу бетона, группы по классу рабочей арматуры и др.

²⁷ Например, по показателю «расстояние до оси арматуры», исходя из допусков (допустимых отклонений) диаметра арматуры от номинальных значений, изделия, имеющие расстояние до оси арматуры от 18 до 20 мм (включ.) попадают в одну группу, а со значением от 20 до 22 мм (включ.) – в другую, от 22 до 24 мм (включ.) – в третью. По показателю «длина пролета», учитывая возможные варианты глубины опирания согласно серии, изделия с пролетом (или длиной) от 4200 до 4500 мм (включ.) попадают в одну группу, от 4500 до 4800 мм (включ.) – в другую, от 4800 до 5100 мм (включ.) – в третью и т.д.

представительной группой по параметру²⁸. Неблагоприятность сочетания параметров изделия при оценке огнестойкости определяется количеством представительных групп и (или) групп соответствующих рангов по основным и дополнительным параметрам, к которым отнесено указанное изделие.



Рисунок 2. – Общий алгоритм выбора типового представителя

²⁸ По показателю «расстояние до оси арматуры» сформировано три группы: в первую вошли изделия с расстоянием до оси арматуры от 18 до 20 мм (включ.), во вторую – от 20 до 22 мм (включ.), в третью – от 22 до 24 мм (включ.). Поскольку уменьшение расстояния до оси арматуры при прочих равных условиях приводит к снижению огнестойкости изделия, ранг 1 присваивается первой группе, ранг 2 – второй группе, ранг 3 – третьей группе. Группа изделий № 1 по показателю «расстояние до оси арматуры» считается представительной.

В качестве типового представителя серии принимается изделие, имеющее такое сочетание количественных и качественных показателей (неблагоприятное), которое (по сравнению с остальными изделиями серии) свидетельствует о его более низкой огнестойкости, т.е. изделие, попавшее в наибольшее число представительных групп по основным параметрам (показателям), а при равенстве представительных групп по основным параметрам (показателям) – изделие, попавшее в наибольшее число представительных групп по дополнительным параметрам (показателям). Определенное таким образом количество типовых представителей серии может быть отличным от одного. В этом случае формируется перечень (потенциальных) типовых представителей. Наибольшая достоверность при распространении результатов испытаний на всю серию изделий достигается испытанием всех изделий, вошедших в такой перечень. Вместе с тем для оптимизации количества испытаний по решению технического эксперта по сертификации могут быть использованы следующие подходы для выбора типового представителя:

- проведение расчета огнестойкости всех изделий, вошедших в перечень (потенциальных) типовых представителей (в этом случае достигается наибольшая степень детализации) и принятие для испытаний изделия с наименьшей теоретической огнестойкостью;
- выбор изделия из перечня (потенциальных) типовых представителей, попавшего в наибольшее число групп по основному параметру, а в случае необходимости – по дополнительному, с рангом 2. Указанная процедура повторяется до тех пор, пока во внимание не будут приниматься группы с рангом²⁹ $N \leq 3$;
- выбор изделия из перечня (потенциальных) типовых представителей, отвечающего в наибольшей степени средневзвешенным параметрам изделий, вошедших в указанный перечень;
- на основании более подробного анализа конструктива изделий, вошедших в перечень (потенциальных) типовых представителей;
- выбор изделия из перечня (потенциальных) типовых представителей, имеющего более высокий (по отношению к другим изделиям) ранг группы по наиболее значимому параметру (показателю)³⁰.

После выбора типового представителя проводится сопоставление параметров испытательной установки с параметрами (показателями) типового представителя на предмет установления возможности его испытания на огнестойкость. В случае невозможности проведения стандартных огневых испытаний по ГОСТ 30247.0, ГОСТ 30247.1 следует провести натурные огневые испытания³¹ или расчет огнестойкости типового представителя.

Дополнительному испытанию на огнестойкость подлежит изделие из серии, обладающее максимальным значением $F_{ХР}$, если для типового представителя $F_{ХР} < 6$, а в серии имеются изделия с $F_{ХР} > 4$.

Перед испытанием типового представителя должны быть подтверждены следующие физико-механические параметры материалов:

- характеристическая (гарантированная) прочность бетона на сжатие;
- характеристическая прочность (сопротивление) арматуры;
- весовая влажность и теплофизические свойства бетона;
- состав бетонной смеси и ее качество.

²⁹ Рекомендуемое значение. Окончательное решение принимается техническим экспертом по сертификации с учетом технико-экономических показателей продукции.

³⁰ Значимость основного (дополнительного) параметра (показателя) определяется техническим экспертом по сертификации или порядком их изложения в разделе «Выделение основных и дополнительных параметров железобетонных изделий при выборе типового представителя».

³¹ Натурные огневые испытания – огневые испытания изделий в составе зданий (конструкций) на строительном объекте с целью установления фактических значений огнестойкости согласно требованиям норм проектирования и проектной документации.

При выборе типового представителя серии изделий рам и блоков объемных последовательно используются подходы выбора типового представителя для их составных элементов. Для выбора типового представителя узлов соединений их элементов необходимо исходить из условия их соответствия требованиям нормальной эксплуатации³². При этом предел огнестойкости узла должен быть не менее предела огнестойкости составного элемента рамы (блока объемного), обладающего более низкой огнестойкостью³³. Следует отметить, что для указанных изделий, а также балок, прогонов, ригелей изложенные в работе подходы по выбору типового представителя для испытаний могут быть взяты за основу при выборе изделия (изделий) из серии для расчета огнестойкости, а также могут быть применены с учетом перспективы расширения перечня продукции, испытываемой на полигоне НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. Их рассмотрение в разрезе испытаний по ГОСТ 30247.0 и ГОСТ 30247.1 при оценке соответствия техническим требованиям в настоящее время носит теоретический характер.

Заключение

Обеспечение огнестойкости строительных конструкций является неотъемлемой составляющей обеспечения соответствия зданий (сооружений) существенным требованиям безопасности. Требуемые (предписывающие) пределы огнестойкости строительных конструкций варьируются в широких диапазонах в зависимости от их области применения и назначения. Собственный (фактический) предел огнестойкости железобетонной конструкции (изделия) зависит от характеристик бетона и арматуры, условий ее применения, конструктива, технологии изготовления и других факторов. Указываемое в сериях рабочих чертежей значение предела огнестойкости должно основываться на возможных областях применения изделий серии, с учетом разрабатываемого для них конструктива, подбора физико-механических и теплофизических характеристик бетона и арматуры, предполагаемых эксплуатационных факторов.

При проведении сертификационных испытаний до момента отсутствия расчетных пределов огнестойкости для всех изделий в серии в качестве типового представителя для испытаний на огнестойкость должно выступать изделие из серии, потенциально обладающее наиболее низкой огнестойкостью (собственным пределом огнестойкости). В этом случае установленный результат испытаний позволяет сделать более корректно общий вывод о серии (партии) продукции и получить документ об оценке ее соответствия техническим требованиям.

Проведенный анализ требований существующих стандартов по распространению результатов испытаний на огнестойкость, а также влияния количественных и качественных показателей железобетонных изделий на результаты расчетной оценки пределов огнестойкости и огневых испытаний, позволил установить:

- классификацию железобетонных изделий, необходимую для установления перечня параметров (показателей), определяющих их огнестойкость и дающих возможность выбора из перечня изделия, потенциально обладающего наиболее низкой огнестойкостью;
- основные и дополнительные (используемые при прочих равных основных) параметры (показатели) железобетонных изделий, которые следует учитывать при выборе типового представителя;
- порядок приведения показателей железобетонных изделий к базовым;
- порядок ранжирования железобетонных изделий по параметрам, влияющим на их огнестойкость.

³² В первом приближении в качестве узла в типовом представителе должен выступать узел, в котором расстояние до оси арматуры минимально.

³³ Целесообразным в этом случае является проведение натуральных огневых испытаний.

На основе полученных результатов определены критерии выбора типовых представителей железобетонных изделий для проведения испытаний на огнестойкость при проведении процедур по оценке соответствия техническим требованиям. Предлагаемый подход учитывает конструктивные и структурные особенности рассматриваемых железобетонных изделий серии. Данный подход повышает уровень безопасного использования документов об оценке соответствия железобетонных изделий, применяемых в качестве строительных конструкций. Полученные результаты включены в соответствующий раздел Положения по выбору типовых представителей железобетонных изделий для проведения испытаний по определению прочности, жесткости, трещиностойкости, предела огнестойкости при проведении процедур по оценке соответствия.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности использования установленных критериев при корректировке содержания серий (рабочих чертежей), конструировании железобетонных изделий, а также при выборе типовых представителей для испытаний в рамках оценки (подтверждения) соответствия серии железобетонных изделий техническим требованиям.

Перспективным для модернизации разработанного подхода по выбору типового представителя является многокритериальный анализ, или Multiple-criteria decision analysis (MCDA), учитывающий научно обоснованные взвешивающие коэффициенты для различных параметров (показателей) железобетонных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полевода, И.И. Огнестойкость современных строительных конструкций из железобетона: монография / И.И. Полевода, С.М. Жамойдик, Н.В. Зайнудинова, Д.С. Нехань; под ред. И.И. Полеводы. – Минск: УГЗ, 2023. – 420 с. – ISBN: 978-985-590-194-6.
2. Сорока, А.В. Характеристика спроса и предложения и их свойств на рынке ЖБИ Беларуси / А.В. Сорока, Д.А. Жук // 72-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: тез. докл., 12–23 апр. 2021 г., г. Минск: в 4 ч. – Минск: БГТУ, 2021. – Ч. 3. – С. 67–68.
3. Давидюк, А.Н. Бетон в строительстве – новые вызовы и перспективы / А.Н. Давидюк // Вестник НИЦ «Строительство». – 2017. – № 1 (12). – С. 5–13. – EDN: YINMWP.
4. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.

**Критерии выбора типовых представителей железобетонных изделий
для проведения сертификационных испытаний на огнестойкость**
**Criteria for selecting typical representatives of reinforced concrete products
for certification fire resistance tests**

Нехань Денис Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
безопасности, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск
Email: denis_nechany@mail.ru
SPIN-код: 3773-9964

Denis S. Nekhan'

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Associate Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk
Email: denis_nechany@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7838-4663

Полевода Иван Иванович

доктор технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»,
начальник университета
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: ip@ucp.by
SPIN-код: 1662-9457

Ivan I. Palevoda

Grand PhD in Technical Sciences,
Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Head of University
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: ip@ucp.by
ORCID: 0000-0003-2469-3553

Зайнудинова Наталья Владимировна

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», отдел планирования,
стандартизации и методического обеспечения
образовательного процесса, начальник отдела
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: Zainudzinava@gmail.com
SPIN-код: 3032-4413

Natal'ya V. Zaynudinova

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Department of Planning, Standardization
and Methodological Support of the Educational
Process, Head of Department
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: Zainudzinava@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1848-1562

Ивлев Юрий Петрович

Учреждение «Научно-исследовательский
институт пожарной безопасности
и проблем чрезвычайных ситуаций»
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь, начальник
испытательно-исследовательского полигона
Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, Минск, Беларусь
Email: ivlev_83@outlook.com

Yuriy P. Ivlev

Institution «Scientific and Research Institute
of Fire Safety and Emergency Situations»
of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus,
Head of the Testing and Research Ground
Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus
Email: ivlev_83@outlook.com

Ботян Сергей Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
безопасности, начальник кафедры
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск
Email: aseckis@mail.ru
SPIN-код: 5948-1623

Sergey S. Botyan

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Head of the Chair
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk
Email: aseckis@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8593-4413

Лишай Игорь Леонидович

Научно-проектно-производственное
республиканское унитарное предприятие
«Стройтехнорм», генеральный директор
Адрес: ул. Кропоткина, 89,
220002, г. Минск, Беларусь
Email: lishay@stn.by

Igor L. Lishay

Scientific Designing-Manufacturing Republican
Unitary Enterprise «STROYTEKHNORM»,
General Director
Address: Kropotkina str., 89,
220002, Minsk, Belarus
Email: lishay@stn.by

CRITERIA FOR SELECTING TYPICAL REPRESENTATIVES OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS FOR CERTIFICATION FIRE RESISTANCE TESTS

Nekhan' D.S., Palevoda I.I., Zaynudinova N.V., Ivlev Yu.P., Botyan S.S., Lishay I.L.

Purpose. To establish criteria for selecting typical representatives of reinforced concrete products for testing to determine the fire resistance during conformity assessment procedures for technical requirements.

Methods. Generalization of approaches to the extension of the results of fire resistance tests of building structures and theoretical methods for assessing fire resistance of building structures. Analysis of the influence of quantitative and qualitative indicators of reinforced concrete products on their theoretical fire resistance, as well as the results of fire tests, including the extension of fire test results.

Findings. An algorithm has been developed and criteria for selecting typical representatives of reinforced concrete products for fire resistance certification tests have been defined, based on a comprehensive analysis of simplified methods and existing tabular data on fire resistance assessment. Their application makes it possible to ensure fire safety of buildings by selecting a reinforced concrete product for fire resistance certification tests, the structural and design features of which indicate that it potentially has the lowest fire resistance of all products in the series.

Application field of research. The obtained results can be used in the design of reinforced concrete structures, as well as in the design of buildings and structures. Certification bodies can use the obtained results within the framework of assessment (confirmation) of conformity of a series of reinforced concrete products to technical requirements when selecting typical representatives of reinforced concrete products for testing. The results obtained in the present work are included in the «Regulations on the selection of typical representatives of reinforced concrete products for testing to determine strength, stiffness, crack resistance, fire resistance during conformity assessment procedures».

Keywords: reinforced concrete products, fire resistance, fire resistance limit, fire tests, typical representative, criteria for selecting, conformity assessment, technical requirements, concrete cover thickness.

(The date of submitting: January 14, 2025)

REFERENCES

1. Palevoda I.I., Zhamoydik S.M., Zaynudinova N.V., Nekhan' D.S. *Ognestoykost' sovremennykh stroitel'nykh konstruksiy iz zhelezobetona* [Fire resistance of modern reinforced concrete building structures]: monograph. Ed. by I.I. Palevoda. Minsk: University of Civil Protection, 2023. 420 p. (rus). ISBN: 978-985-590-194-6.
2. Soroka A.V., Zhuk D.A. *Kharakteristika sprosa i predlozheniya i ikh svoystv na rynke ZhBI Belarusi* [Characteristics of supply and demand and their properties in the Belarusian reinforced concrete market]. *Proc. of 72nd scientific and technical conf. of pupils, students and master's students, Minsk, April 12–23, 2021*. In 4 parts. Part 3. Minsk: BSTU, 2021. Pp. 67–68. (rus)
3. Davidyuk A.N. *Beton v stroitel'stve – novye vyzovy i perspektivy* [Concrete construction – new challenges and prospects]. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*, 2017. No. 1 (12). Pp. 5–13. (rus). EDN: YINMWP.
4. Roytman V.M. *Inzhenernye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemykh i rekonstruiруemykh zdaniy* [Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings]. Moscow: Association «Pozharnaya bezopasnost' i nauka», 2001. 382 p. (rus)

Copyright © 2025 Nekhan' D.S., Palevoda I.I., Zaynudinova N.V.,

Ivlev Yu.P., Botyan S.S., Lishay I.L.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.