

ИССЛЕДОВАНИЕ УТРАТЫ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РИГЕЛЕЙ И БАЛОК

Приступюк Д.Н., Федоров В.Ю., Данилов Р.А.

Цель. Развитие теории огнестойкости конструкций, зданий и сооружений с учетом одного из направлений комбинированных особых воздействий с участием пожара – оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций с учетом длительности и условий их эксплуатации.

Методы. Для определения эксплуатационных пределов огнестойкости использован аналитический метод решения статической задачи, метод конечно-элементного анализа при решении теплотехнической задачи огнестойкости. Результаты огневых испытаний использованы для подтверждения достоверности данных, полученных методом моделирования.

Результаты. Установлено, что уже при снижении несущей способности в процессе эксплуатации на 25 % железобетонные конструкции теряют около 50 % своего первоначального значения предела огнестойкости. Доказано, что динамика утраты огнестойкости железобетонных ригелей и балок главным образом зависит от категории технического состояния, а не от их конструктивных параметров.

Область применения исследований. Представленные результаты исследований огнестойкости получены для эксплуатируемых железобетонных конструкций (ЖБК) и могут использоваться для прогнозирования поведения эксплуатируемых ЖБК в условиях пожара, разработки моделей и совершенствования норм в области проектирования пределов огнестойкости железобетонных конструкций.

Ключевые слова: огнестойкость, железобетонные конструкции, коэффициент утраты огнестойкости, коррозия, износ, железобетонные балки, железобетонные ригели, комбинированные особые воздействия.

(Поступила в редакцию 12 июля 2022 г.)

Введение

Железобетон является главным строительным материалом современности, который широко используется при возведении как жилого фонда, так и промышленных зданий. Активное применение железобетонных конструкций во всех сферах строительной области обусловлено спектром достоинств данного вида конструкций. Однако, несмотря на высокую прочность, кажущуюся невосприимчивость к воздействиям окружающей среды и негорючесть, на практике железобетонные конструкции также подвержены разрушению вследствие износа и коррозии. В зависимости от степени агрессивности среды это может происходить за считанные годы.

Дефекты и повреждения, появившиеся в условиях эксплуатации, приводят к изменению технического состояния, а в итоге к изменению пределов огнестойкости железобетонных конструкций.

Отсутствие учета коррозии и износа в нормативных документах и пособиях по проектированию пределов огнестойкости железобетонных конструкций приводит к весьма существенной недооценке реальной опасности пожаров для зданий и сооружений.

В настоящее время в Академии ГПС МЧС России проводится ряд научных исследований, направленных на изучение проблемы оценки пределов огнестойкости эксплуатируемых строительных конструкций. Выдвинута гипотеза, что пределы огнестойкости железобетонных элементов больше зависят от технического состояния конструкции, нежели от их конструктивных особенностей.

Таким образом, целью статьи является исследование изменения пределов огнестойкости железобетонных конструкций, а именно ригелей и балок в условиях эксплуатации.

Основная часть

Проблема оценки пределов огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций. Проблема устаревания зданий и износа строительного фонда актуальна для всех стран постсоветского пространства. Даже в России, которая является лидером региона с наиболее устойчивой и развитой экономикой, согласно статистическим данным средний возраст жилых зданий составляет 37 лет, треть жилых зданий построена до 1970 г. [1]. Площадь аварийного жилого фонда достигала в 2018 г. 25,5 млн м², средний возраст зданий по всем основным фондам достиг 42 лет, доля полностью изношенных основных фондов возросла с 17,9 % в 2017 г. до 20,6 % в 2020 г. [2]. Несмотря на громадные инвестиции в строительство, направлены они главным образом на постройку новых зданий с целью получения прибыли с аренды.

Аналогичная ситуация и в промышленности. Существенная часть всех производственных объектов была построена в СССР в период до 1970-х гг. В условиях дальнейшей стагнации экономики и распада страны в 1990-е новые производственные мощности вводились ограниченно, а затраты на их обновление снижались. Рост износа строительных конструкций происходит на фоне снижения коэффициента обновления основных фондов – параметра, свидетельствующего о степени обновления существующих объектов.

В 2000 г. он составлял 1,3 %, в 2017 г. – 0,7 % [3]. В то же время отсутствуют нормативные положения, регламентирующие необходимость учета длительности и условий эксплуатации железобетонных конструкций при определении их фактических пределов огнестойкости. Растущий из года в год ущерб от крупных пожаров на фоне общего сокращения их количества [4] также косвенно свидетельствует о проблеме утраты огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Средства и методы исследования. Наиболее достоверный метод для оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций – огневые испытания, однако они непрактичны, затратны и сложны в реализации [5; 6]. В настоящее время существенное развитие получило применение компьютерного моделирования, в том числе при исследовании огнестойкости железобетонных конструкций, которое позволяет варьировать больший спектр различных параметров, сохраняя высокую точность полученных результатов [6]. Таким образом, оценка влияния изменения несущей способности (технического состояния) железобетонных конструкций при воздействии пожара на их пределы огнестойкости в условиях эксплуатации проводилась путем численного эксперимента с помощью конечно-элементного анализа при использовании вычислительного комплекса Ansys Mechanical, модуль Transient Thermal (далее – ВК Ansys).

В математическое описание нагрева произвольных конструкций входит дифференциальное уравнение, описывающее распространение тепла в твердом теле с известными теплофизическими свойствами, а также начальные и граничные условия.

Нагрев наружной поверхности конструкций определялся граничными условиями 3-го рода с учетом конвективной и лучистой составляющей теплообмена [7]. При этом используется режим стандартного пожара¹, коэффициент теплоотдачи конвекцией от нагревающей среды к поверхности конструкции с равен 29 Вт/(м²×К), степень черноты поверхности бетона принята равной 0,7 и 1,0 для пламени (греющей среды), для контура примыкания бетона к стальной арматуре принят идеальный тепловой контакт. Места примыкания железобетонной балки (ригеля) к другим конструкциям (железобетонные плиты) принимали имеющими идеальную теплоизоляцию.

¹ Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75). – Введ. 01.01.96. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.

Коэффициент теплообмена на необогреваемой поверхности определялся по формуле:

$$\alpha' = 1,5\sqrt[3]{T_i - T_0} + 5,77\varepsilon_{red} \frac{(T_i/100)^4 - (T_0/100)^4}{T_i - T_0}, \quad (1)$$

где T_i и T_0 – температуры необогреваемой и обогреваемой поверхностей конструкции, К;

ε_{red} – степень черноты системы огневая камера – бетонная поверхность.

Для обеспечения достоверности результатов, получаемых с помощью ВК Ansys, необходимо проведение верификации разрабатываемых численных моделей на основе результатов огневых испытаний. В качестве таковых использовались результаты натурных огневых испытаний, полученные профессором А.И. Яковлевым². В качестве эталонных были выбраны железобетонные балки с различными техническими параметрами. Время огневого воздействия составило 120 мин; материал всех конструкций – тяжелый бетон на известняковом заполнителе, плотностью $\rho = 2250 \text{ кг/м}^3$ и влажностью 2 %. Зависимости теплофизических параметров бетона были приняты согласно работе А.И. Яковлева³.

Для проведения вычислительных операций были разработаны конечно-элементные модели сечений конструкций. В результате воссоздания огневых испытаний, в процессе численного эксперимента получены поля температур по сечениям конструкции, построен график изменения температуры конструкции в точке замера термодатчиков на опытном образце от времени огневого воздействия. Результаты сравнения полученных данных для железобетонных конструкций с результатами огневых испытаний на примере температуры растянутой арматуры балок в опорном и пролетных сечениях представлены на рисунках 1–2. Анализ полученных данных показывает, что результаты численного моделирования имеют отклонения от результатов огневых испытаний не более чем на 10 %. Таким образом, разработанная расчетная модель может быть использована для получения достоверных результатов на дальнейших этапах исследования огнестойкости железобетонных конструкций.

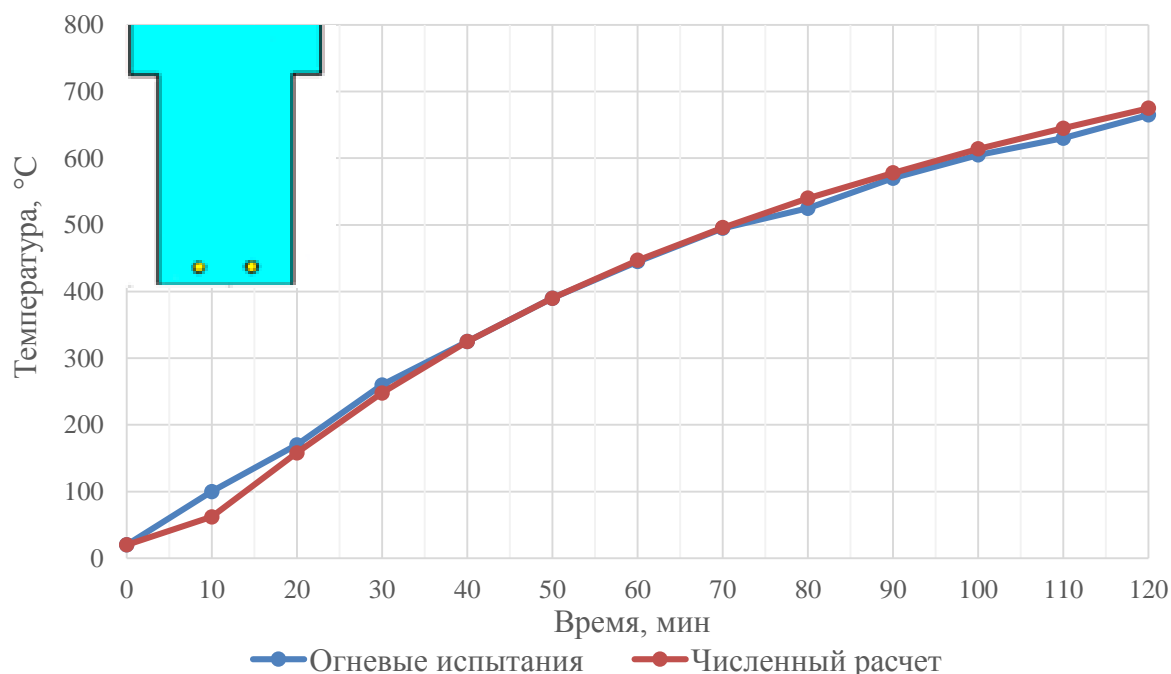


Рисунок 1. – Средняя температура арматуры в пролетном сечении балки

² Яковлев, А.И. Основы расчета огнестойкости железобетонных конструкций: дис. докт. техн. наук / А.И. Яковлев. – Москва, 1966. – 515 л.

³ См. сноску 2.



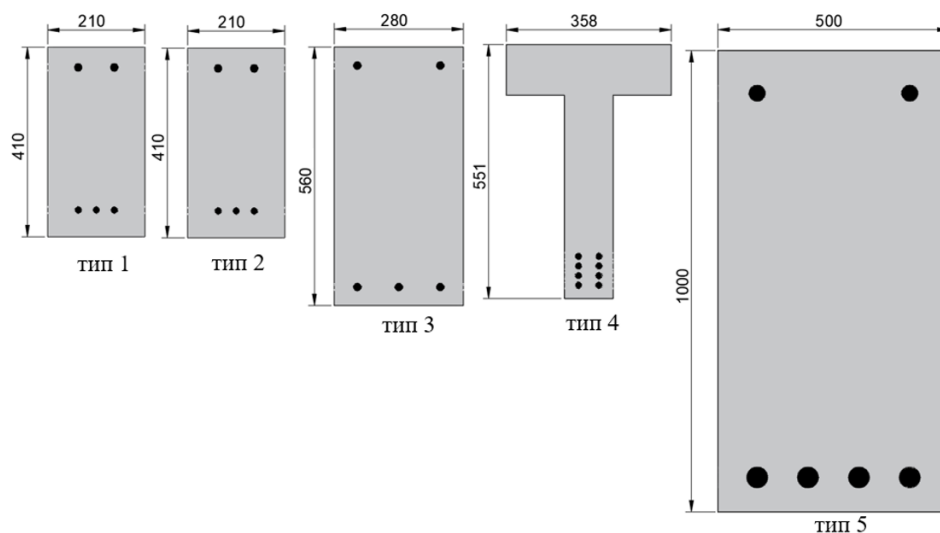
Рисунок 2. – Средние температуры растянутой арматуры в опорном сечении

Начальная температура рассматриваемых железобетонных конструкций до пожара и температура окружающей среды вне зоны пожара при задании начальных условий принималась равной $T_n = 293$ К.

Предметом исследования являлись железобетонные конструкции, а именно железобетонные ригели и балки. В конструкциях балок применены бетоны на известняковом заполнителе ($\rho = 2330$ кг/м³) с влажностью 4 % и гранитном заполнителе ($\rho = 2350$ кг/м³) с влажностью 2 %. Для ригелей использовался бетон на гранитном щебне ($\rho = 2430$ кг/м³) с влажностью 2 %.

В качестве рассматриваемых конструкций были приняты 5 типов железобетонных балок (рис. 3а) и 4 типа ригелей (рис. 3б).

Поперечное сечение балок и ригелей подвергалось равномерному тепловому воздействию по трем сторонам наружного периметра сечений.



а

Рисунок 3. – Поперечные сечения рассматриваемых типов железобетонных балок (а) и ригелей (б)

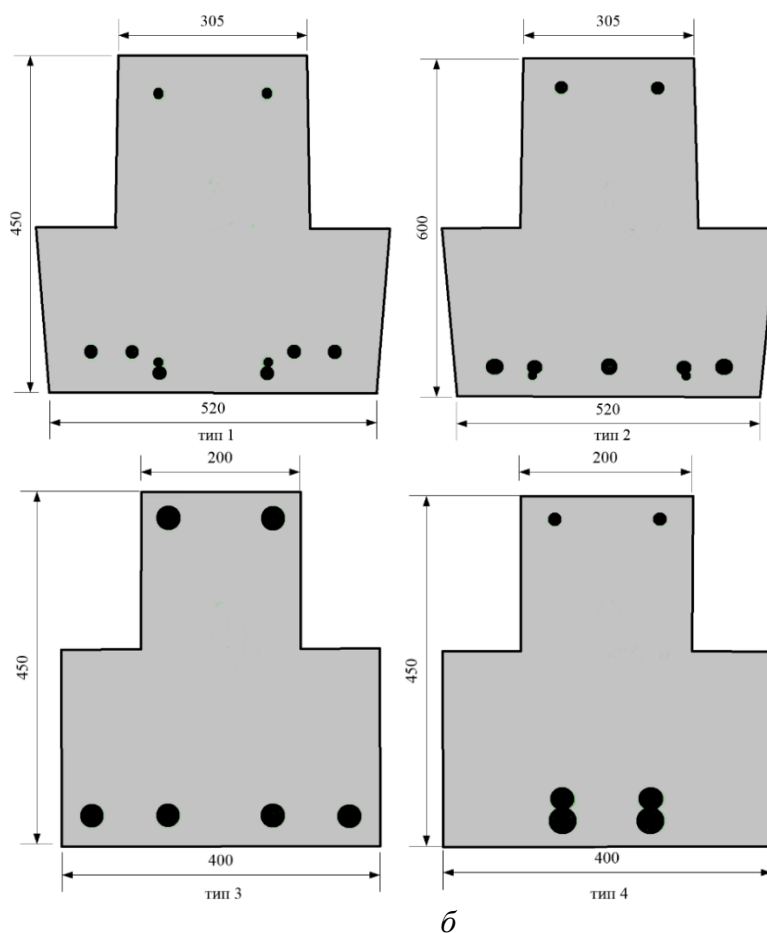


Рисунок 3. – Поперечные сечения рассматриваемых типов железобетонных балок (а) и ригелей (б)

Теплофизические зависимости для теплопроводности и теплоемкости бетонов на известняковом и гранитном заполнителе и для армирования принимались согласно нормативным документам СП 468.1325800.2019⁴ и СТО 36554501-006–2006⁵.

Результаты численного моделирования рассматриваемых железобетонных конструкций использовались при решении статической задачи. Для решения прочностной задачи огнестойкости железобетонных балок использовался зонный подход, изложенный в европейском стандарте EN 1992-1-2⁶.

Для решения прочностной задачи огнестойкости железобетонных ригелей использовался подход, изложенный в своде правил СП 468.1325800.2019⁷.

Результаты проведенных исследований. Агрессивными по отношению к железобетону могут быть как твердые вещества, так и жидкости, и газы. Воздействующие на материал среды приводят к возникновению и накоплению множества дефектов в структуре материала, основными из которых для ЖБК являются коррозия армирования, отслоение защитного слоя, снижение прочности бетона. Всего же согласно ГОСТ 31937–2011⁸ выделяют 16 видов дефектов и повреждений ЖБК. Их появление приводит к ухудшению

⁴ Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнестойкости: СП 468.1325800.2019. – Введ. 11.06.20. – М.: Стандартинформ, 2020. – 86 с.

⁵ Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций: СТО 36554501-006–2006. – Введ. 01.11.06. – М.: ФГУП «НИЦ Строительство», 2006. – 79 с.

⁶ Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design: EN 1992-1-2. Eurocode 2 / European committee for Standardisation. – Brussels, 2004. – 97 p.

⁷ См. сноску 4.

⁸ Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: ГОСТ 31937–2011. – Введ. 01.01.14. – М.: Стандартинформ, 2014. – 55 с.

эксплуатационных характеристик железобетонных конструкций, главным образом несущей способности. Растущий возраст зданий напрямую отражается на степени повреждений конструкций. Даже в слабоагрессивных средах длительные сроки эксплуатации зданий приводят к значительному снижению изначальных эксплуатационных характеристик конструкций [8].

Для классификации ЖБК в зависимости от доли снижения несущей способности существует понятие «категория технического состояния»^{9, 10}. Различают множество градаций данного параметра, представленных, например, в СП 13–102–2003 – 5 категорий (от исправного до аварийного состояния), и в ГОСТ 31937–2011 – 4 категории (от нормативного технического до аварийного состояния). Так как существующие классификации разрабатывались с целью определения снижения только несущей способности конструкций в процессе эксплуатации, для оценки пределов огнестойкости разработана специальная классификация [9]. Нужно отметить, что утрата огнестойкости конструкций вследствие износа рассматривается как один из видов техногенных комбинированных особых воздействий (СНЕ) с участием пожара [9–11]. В данном случае рассматривается комбинация особых воздействий на конструкции в последовательности «эксплуатационный износ – пожар».

Предел огнестойкости железобетонных конструкций напрямую зависит от их несущей способности, следовательно, изменение категории технического состояния в условиях эксплуатации должно приводить к снижению пределов огнестойкости. Проверка этой гипотезы проведена авторами на разных типах железобетонных ригелей и балок на основе метода компьютерного моделирования с применением ВК Ansys. Для воспроизведения в конструкции каждой из исследуемых категорий ее технического состояния в модели конструкции задавались соответствующие износу значения таких параметров, как: сечение конструкций, прочность бетона, диаметр арматуры и величина защитного слоя бетона в соответствии с нормативными документами^{11, 12}. Процент снижения несущей способности ЖБК по категориям принимался согласно классификации, представленной в комплексной методике МДС 13–20.2004¹³ и работе [12]: для I – до 5 %, II – до 15 %, III – до 25 %, IV – до 50 %, V – свыше 50 % (несущая способность не рассчитывалась из-за непригодности таких конструкций к эксплуатации). Всего было рассмотрено 4 марки ригелей^{14, 15}: РДП4.56-50АтV – тип 1, РДП6.86-50АтV – тип 2, РВ2-72-56 – тип 3, Р2-75-57 – тип 4 и 5 типов балок [13]. При этом для каждого типа ригеля предел огнестойкости определялся для четырех разных нагрузок. Для исследования предела огнестойкости ригелей при прочих равных условиях нагрузки выбраны таким образом, чтобы верхняя граница диапазона приводила к разрушению ригеля при любой категории технического состояния при пожаре за время не более 180 минут, а нижняя граница – чтобы нагрузки не превышали несущую способность ригеля на IV категории технического состояния до воздействия пожара. Таким образом нагрузки составили следующие значения: 110 % от несущей способности для

⁹ См. сноску 1.

¹⁰ Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений: СП 13–102–2003. – Введ. 21.08.03. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 27 с.

¹¹ Пособие по обследованию строительных конструкций. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2004. – 234 с.

¹² Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2001. – 100 с.

¹³ Комплексная методика по обследованию и энергоаудиту реконструируемых зданий. Пособие по проектированию: МДС 13–20.2004. – Введ. 14.04.04. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», ФГУП ЦПП, 2004. – 164 с.

¹⁴ Сборные элементы зданий каркасной конструкции. Ригели: типовые конструкции и детали зданий и сооружений. Серия ИИ–04–3. – Утв. 28.01.72. – М.: ЦНИИЭП торгово-бытовых зданий и туристских комплексов, НИИЖБ Госстроя СССР, 1972.

¹⁵ Конструкции каркаса межвидового применения для многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий: типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия 1.020–1/87. – Утв. 12.12.90. – М.: ЦНИИЭП торгово-бытовых зданий и туристских комплексов, ЦНИИПромзданий, 1990.

ригеля 0-й категории на 180-й минуте пожара (q_1), 120 % от несущей способности для ригеля IV категории на 40-й минуте (для ригеля тип 4 на 60-й минуте) (q_2), 75 % от нормативной нагрузки (q_3), установленной в сериях для каждого типа ригелей и для произвольной нагрузки (q_4), (для ригеля тип 1 – 49 кН/м, для ригеля тип 2 – 42 кН/м, для ригеля тип 3 – 60 кН/м, для ригеля тип 4 – 56,5 кН/м). Параметры армирования ригелей приведены в соответствующих типовых сериях. Параметры армирования балок принимались согласно работе [13].

Результаты исследования несущей способности ригелей при пожаре в зависимости от категории технического состояния представлены на рисунках 4–7, железобетонных балок на рисунках 8–12. Полученные результаты показывают, что, действительно, изменение категории технического состояния приводит к снижению потенциальной несущей способности ЖБК при пожаре, следовательно, следствием износа и коррозии железобетонных конструкций является утрата их огнестойкости.

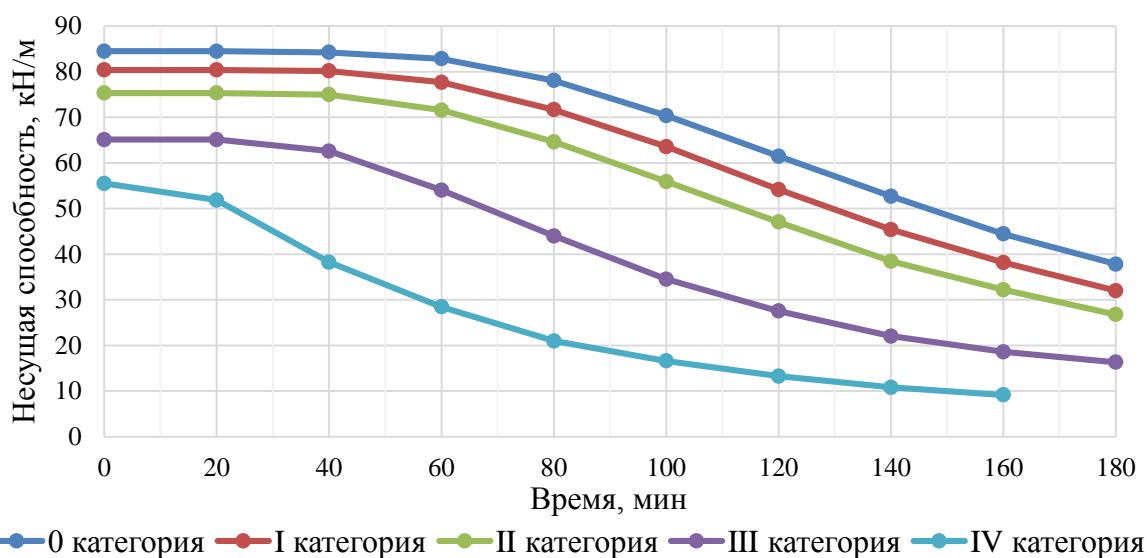


Рисунок 4. – Несущая способность ригеля РДП4.56-50АтV при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

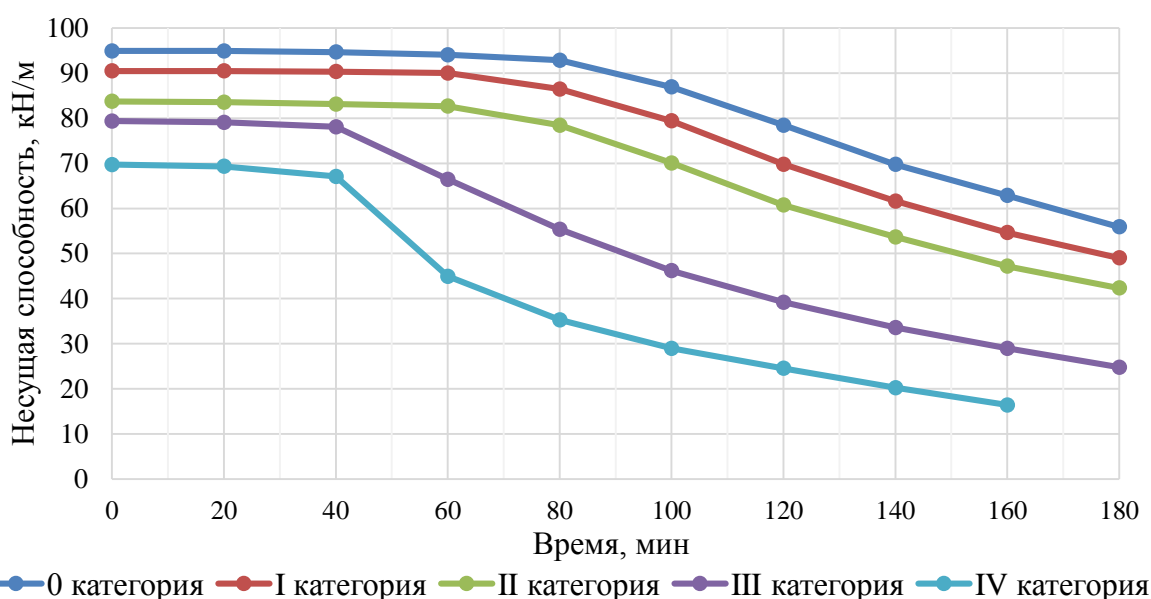


Рисунок 5. – Несущая способность ригеля Р2-72-57 при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

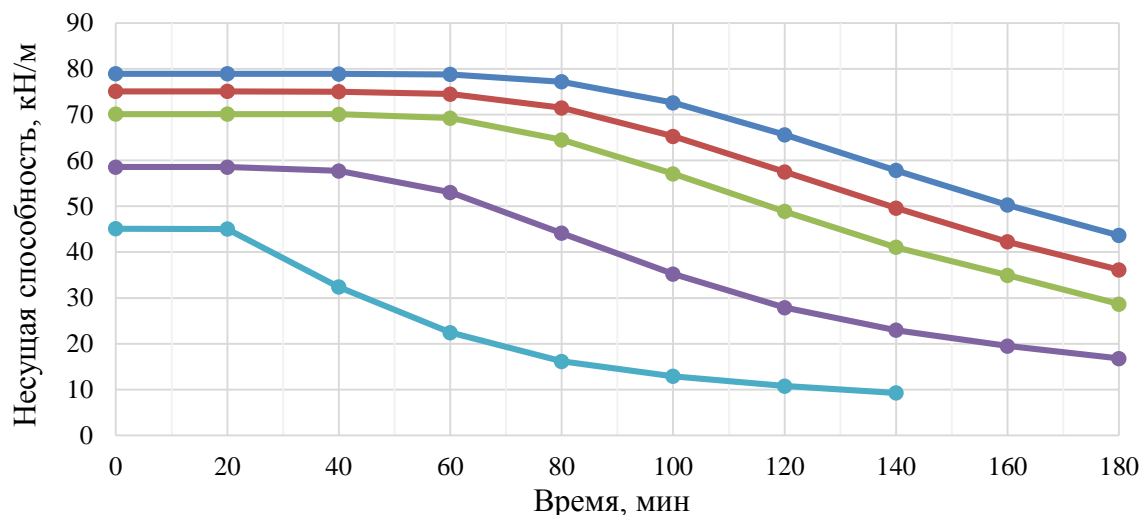


Рисунок 6. – Несущая способность ригеля РДП6.86-50АтV при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

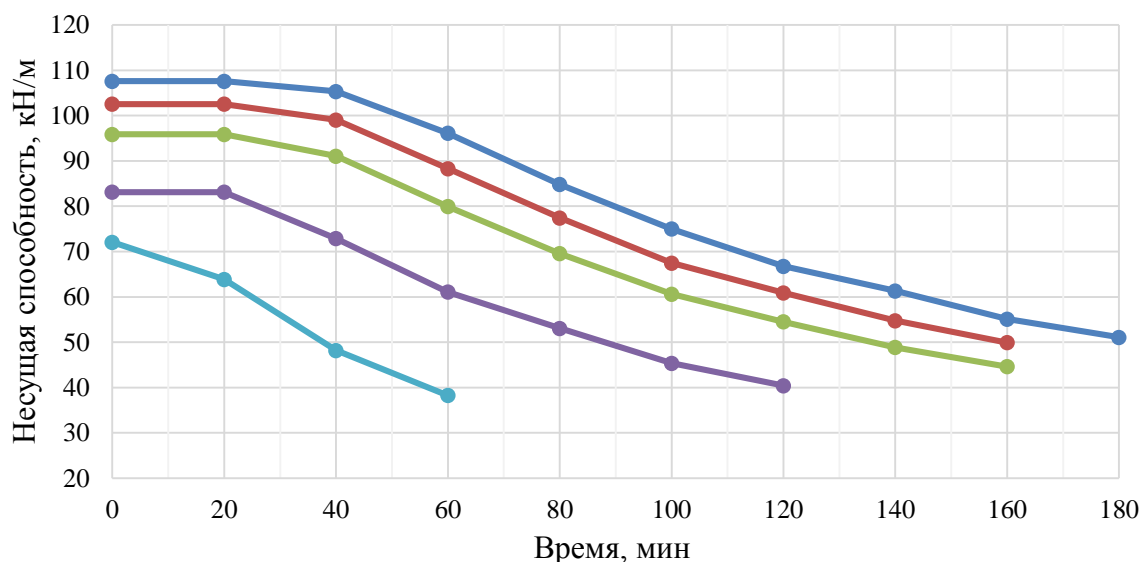


Рисунок 7. – Несущая способность ригеля RB2-72-56 при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

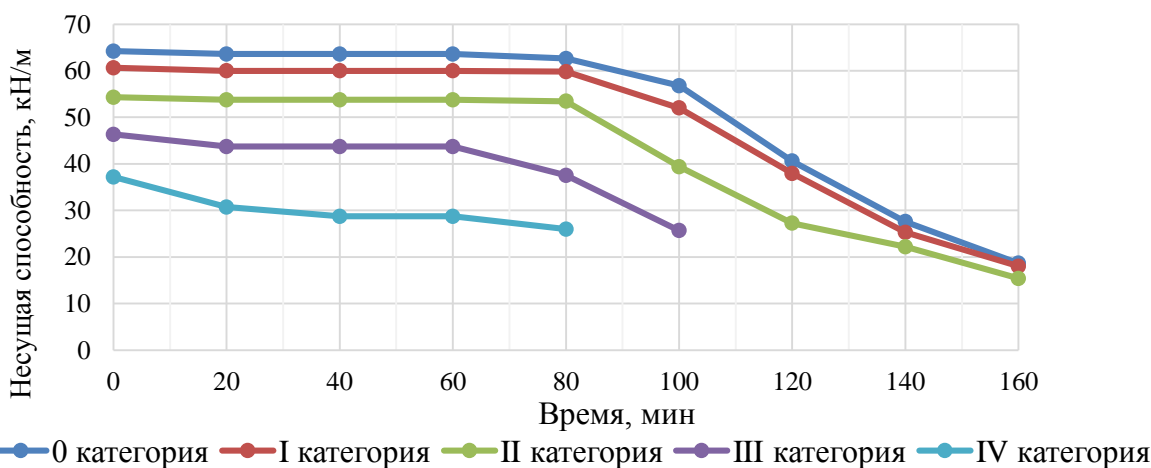


Рисунок 8. – Несущая способность балки (тип 1) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

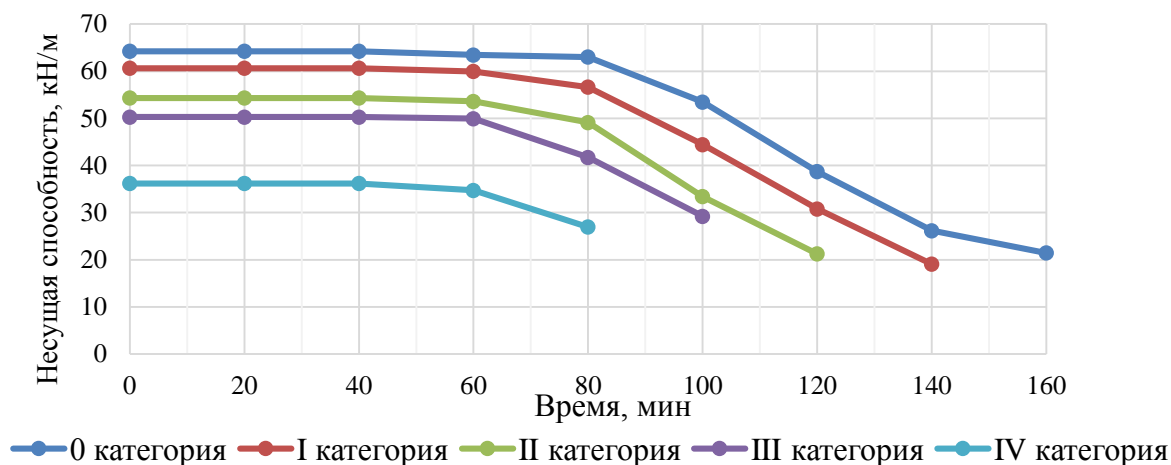


Рисунок 9. – Несущая способность балки (тип 2) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

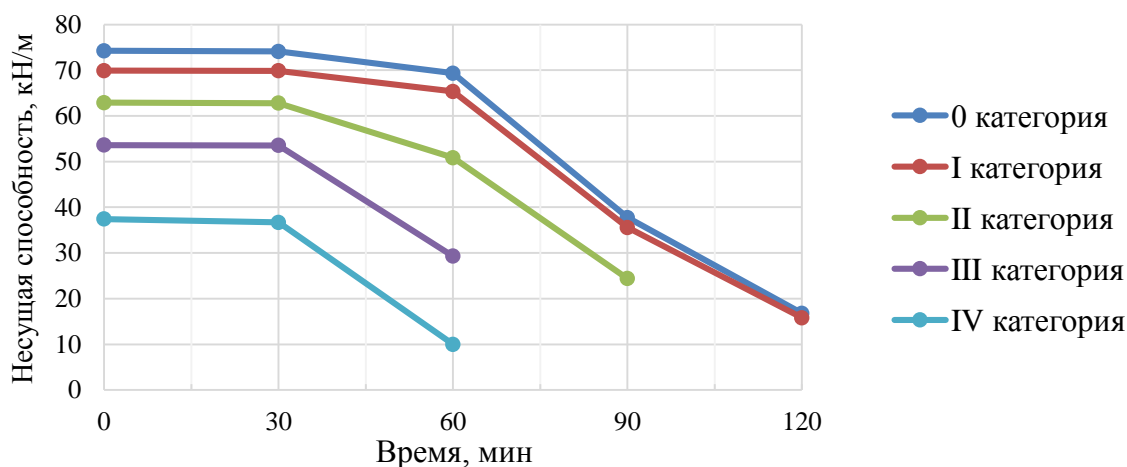


Рисунок 10. – Несущая способность балки (тип 3) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

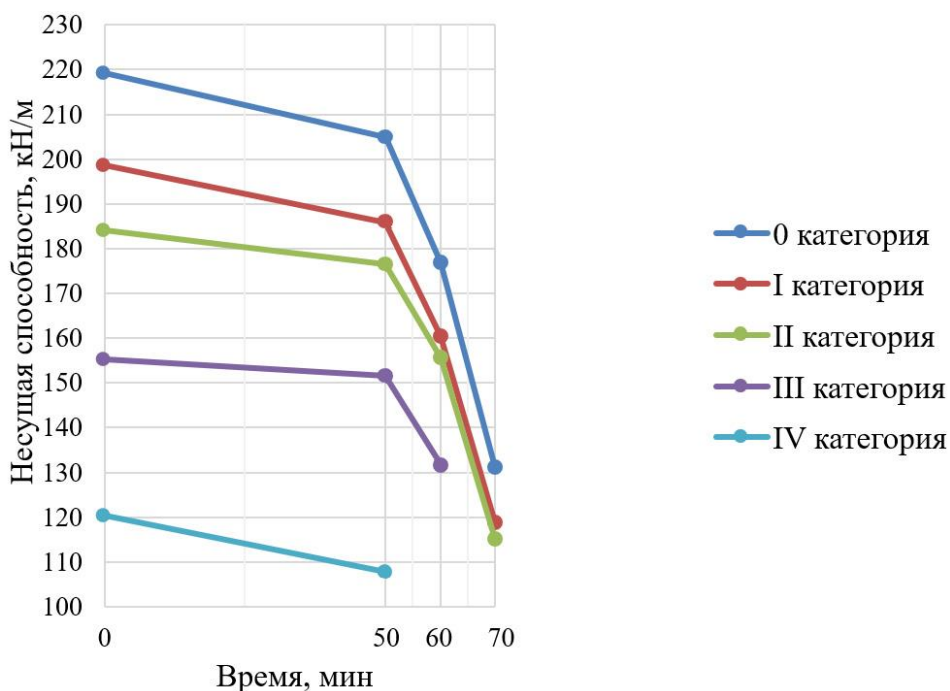


Рисунок 11. – Несущая способность балки (тип 4) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

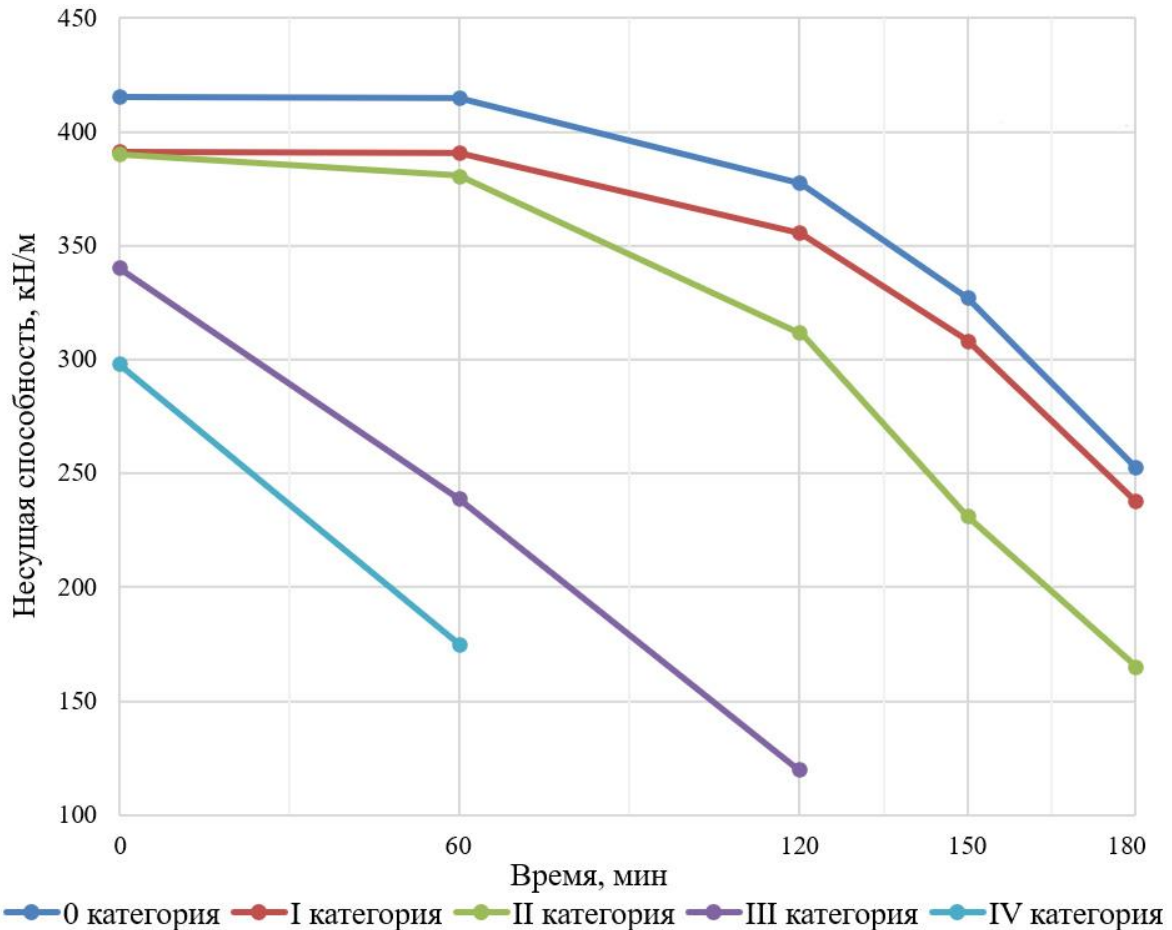


Рисунок 12. – Несущая способность балки (тип 5) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

Результаты проводимых вычислений по определению значений эксплуатационных пределов огнестойкости выбранных типов железобетонных балок в зависимости от уровня утраты их несущей способности представлены в таблице 1, для ригелей в таблице 2.

Таблица 1. – Результаты оценки эксплуатационных пределов огнестойкости железобетонных балок

Тип железобетонной балки	Значение эксплуатационного предела огнестойкости различных типов железобетонных балок (мин) в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 1	146	132	117	80	34	–
Тип 2	141	128	112	76	30	–
Тип 3	92	88	73	42	22	–
Тип 4	68	64	55	35	14	–
Тип 5	193	182	154	90	46	–

Таблица 2. – Результаты оценки эксплуатационных пределов огнестойкости железобетонных ригелей

Тип (нагрузка) железобетонного ригеля	Значение эксплуатационного предела огнестойкости различных типов железобетонных ригелей (мин) в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 1 (q_1)	168	150	133	85	35	–
Тип 1 (q_2)	156	139	123	76	29	–
Тип 1 (q_3)	183	164	145	95	43	–
Тип 1 (q_4)	149	132	116	70	24	–

Продолжение таблицы 2

Тип (нагрузка) железобетонного ригеля	Значение эксплуатационного предела огнестойкости различных типов железобетонных ригелей (мин) в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 2 (q_1)	167	144	122	71	–	–
Тип 2 (q_2)	194	171	147	92	30	–
Тип 2 (q_3)	201	178	154	97	33	–
Тип 2 (q_4)	185	161	138	85	25	–
Тип 3 (q_1)	156	135	114	72	30	–
Тип 3 (q_2)	151	130	109	68	28	–
Тип 3 (q_3)	171	147	125	80	34	–
Тип 3 (q_4)	144	123	102	63	25	–
Тип 4 (q_1)	164	140	118	69	45	–
Тип 4 (q_2)	186	163	139	83	52	–
Тип 4 (q_3)	188	166	142	85	53	–
Тип 4 (q_4)	178	155	132	78	50	–

Рассмотрение полученных данных вычислительных экспериментов свидетельствует о том, что эксплуатационный предел огнестойкости для всех типов рассматриваемых железобетонных балок и ригелей изменяется в зависимости от коррозии и износа в условиях эксплуатации и весьма существенно зависит от утраты их несущей способности в условиях эксплуатации.

Для определения доли снижения пределов огнестойкости железобетонных конструкций при пожаре в зависимости от категории технического состояния используется понятие «коэффициент утраты огнестойкости $C_{f,r}$ » [14] – отношение эксплуатационного предела огнестойкости конструкции к его проектной величине:

$$C_{f,r} = \tau_{f,r}^{\text{экспл}} / \tau_{f,r}^{\text{проект}}, \quad (2)$$

где $\tau_{f,r}^{\text{экспл}}$ – эксплуатационный предел огнестойкости конструкции (в зависимости от категории технического состояния в процессе эксплуатации);

$\tau_{f,r}^{\text{проект}}$ – предел огнестойкости строительной конструкции, полученный на основе стандартных испытаний до начала эксплуатации.

Коэффициент утраты огнестойкости может изменяться в пределах от 1 (новая конструкция) до 0 (полный износ). Полученные результаты были обработаны по приведенной выше формуле.

В ходе проведения вычислительных экспериментов были определены значения коэффициентов утраты огнестойкости рассмотренных типов железобетонных балок при различных уровнях утраты их несущей способности в условиях эксплуатации. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Впервые были получены усредненные значения изменения коэффициента утраты огнестойкости для различных марок железобетонных ригелей при разных нагрузках в зависимости от категории технического состояния (табл. 4).

Ригели и балки различной конструкции показывают схожий характер снижения пределов огнестойкости. Таким образом, уже при I категории технического состояния пределы огнестойкости составляют около 90 % от первоначальных значений, при II – около 75 %, при III – около 50 %, при IV – около 20 %.

Таблица 3. – Значения коэффициентов утраты огнестойкости рассматриваемых типов железобетонных балок в зависимости от уровня снижения несущей способности

Тип рассматриваемой конструкции	Коэффициент утраты огнестойкости $C_{f,r}$ различных типов железобетонных балок в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 1	1	0,9	0,801	0,548	0,233	–
Тип 2	1	0,908	0,794	0,539	0,213	–
Тип 3	1	0,956	0,793	0,457	0,239	–
Тип 4	1	0,941	0,809	0,515	0,206	–
Тип 5	1	0,943	0,798	0,466	0,238	–
Усредненное значение $C_{f,r}$	1	0,9296	0,799	0,505	0,2258	–

Таблица 4. – Усредненные значения коэффициентов утраты огнестойкости рассматриваемых типов железобетонных ригелей при различных нагрузках в зависимости от уровня снижения несущей способности

Тип рассматриваемой конструкции	Усредненный (по q_i) коэффициент утраты огнестойкости $C_{f,r}$ различных типов железобетонных ригелей при различных нагрузках в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 1	1	0,891	0,788	0,496	0,198	–
Тип 2	1	0,875	0,750	0,460	0,151	–
Тип 3	1	0,860	0,723	0,454	0,188	–
Тип 4	1	0,871	0,741	0,439	0,279	–
Усредненное значение $C_{f,r}$	1	0,874	0,750	0,462	0,204	–

Анализ данных, полученных в ходе исследования пределов огнестойкости железобетонных ригелей и балок в условиях эксплуатации, показал, что техническое состояние ЖБК является более значимым параметром при определении утраты огнестойкости по сравнению с конструктивными особенностями железобетонных элементов.

Полученные данные свидетельствуют об опасности недооценки пределов огнестойкости эксплуатируемых конструкций и существовании возможности преждевременного обрушения строительных конструкций при пожаре. Даже значительные пределы огнестойкости, предусмотренные проектом, на практике, учитывая длительный период эксплуатации, могут быть исчерпаны за считанные минуты.

Заключение

Основная опасность для зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара – это резкое уменьшение пределов огнестойкости объектов вплоть до их прогрессирующего обрушения. Одним из таких особых воздействий на конструкции до возникновения пожара является эксплуатационный износ.

Используемый в настоящее время подход по учету длительности и условий эксплуатации при оценке пределов огнестойкости ЖБК предполагает использование интегрального показателя – коэффициента утраты огнестойкости. Результаты сопоставления полученных коэффициентов утраты огнестойкости ригелей и балок подтверждают, что пределы огнестойкости железобетонных элементов зависят больше от технического состояния конструкции, чем от их конструктивных особенностей. Данный факт требует дальнейшего подтверждения на основе результатов исследования других видов железобетонных конструкций.

Необходимо отметить, что уже при снижении несущей способности в процессе эксплуатации на 25 % железобетонные конструкции теряют около 50 % своего первоначального значения предела огнестойкости. В условиях растущего возраста и износа строительного фонда проблема утраты огнестойкости железобетонных конструкций в этом аспекте приобретает все большую актуальность и подлежит дальнейшему тщательному изучению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие рынков ипотеки и жилищного строительства в 2000–2018 годах. – М.: ДОМ.РФ, 2019. – 52 с.
2. Строительство в России. 2020: сб. стат. / Росстат. – М., 2020. – 113 с.
3. Прохорова, Э.К. Влияние состояния основных фондов на развитие российской промышленности в условиях международных санкций / Э.К. Прохорова // Вестник международного института рынка. – 2019. – № 1. – С. 30–36. – EDN: ZBXKEX.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: сб. стат. / П.В. Полехин, М.А. Чебуханов, А.А. Козлов, А.Г. Фирсов, В.И. Сибирко, В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина. – Под общ. ред. Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2021. – 112 с.
5. Кудряшов, В.А. Результаты натурных огневых испытаний железобетонного монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания / В.А. Кудряшов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 49–66. – DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49. – EDN: EODTXX.
6. Полевода, И.И. Модельные огневые испытания железобетонных центрифугированных колонн с конструктивной огнезащитой / И.И. Полевода, С.М. Жамойдик, Д.С. Нехань // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5. – №. 3. – С. 289–299. – DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-3.289. – EDN: HJXXED.
7. Кошмаров, Ю. А. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле: учеб. для вузов МВД СССР / Ю.А. Кошмаров, М.П. Башкирцев. – М.: ВИПТШ, 1987. – 443 с.
8. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
9. Ройтман, В.М. Особенности оценки стойкости зданий и сооружений из железобетонных конструкций при комбинированных особых воздействиях с участием пожара / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступок // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 7. – С. 29–38. – EDN: MUJTCR.
10. Ройтман, В.М. Возникновение и развитие теории стойкости конструкций и зданий при комбинированных особенных воздействиях с участием пожара / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступок, В.В. Агафонова // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 10. – С. 7–10. – EDN: MVMUAT.
11. Ройтман, В.М. Особенности проектирования огнестойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара / В.М. Ройтман // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – №. 7. – С. 47–54. – EDN: RDHTTJ.
12. Ройтман, В.М. Метод оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций, с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступок, В.Ю. Федоров // Ройтмановские чтения: сб. материалов 7-й науч.-практ. конф., Москва, 28 февр. 2019 г. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 34–38. – EDN: UDGUCI.
13. Федоров, В.Ю. Огнестойкость железобетонных балок в зависимости от изменения их несущей способности в условиях эксплуатации / В.Ю. Федоров // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 1 (30). – С. 30–35. – EDN: RGEDUA.
14. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.

**Исследование утраты огнестойкости эксплуатируемых
железобетонных ригелей и балок**

**The study of the loss of fire resistance of the reinforced
concrete crossbars and beams in operation**

Приступюк Дмитрий Николаевич

кандидат технических наук

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, учебно-научный комплекс пожарной безопасности объектов защиты, кафедра пожарной безопасности в строительстве, начальник кафедры

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: zis.pbs@yandex.ru

Dmitriy N. Pristupyuk

PhD in Technical Sciences

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Educational and Scientific Complex of Fire Safety of Objects Under Protection, Chair of Fire Safety in Construction, Head of the Chair

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: zis.pbs@yandex.ru

Федоров Владимир Юрьевич

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, учебно-научный комплекс пожарной безопасности объектов защиты, кафедра пожарной безопасности в строительстве, преподаватель

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: v.fedorov2508@gmail.com

Vladimir Y. Fedorov

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Educational and Scientific Complex of Fire Safety of Objects Under Protection, Chair of Fire Safety in Construction, Head of the Chair

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: v.fedorov2508@gmail.com

Данилов Руслан Александрович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, факультет подготовки научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: ruslikdanilov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0276-5571

Ruslan A. Danilov

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: ruslikdanilov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0276-5571

THE STUDY OF THE LOSS OF FIRE RESISTANCE OF THE REINFORCED CONCRETE CROSSBARS AND BEAMS IN OPERATION

Pristupyuk D.N., Fedorov V.Y., Danilov R.A.

Purpose. The development of the theory of fire resistance of constructions, buildings and structures considering one of the directions of combined hazardous effects with the participation of fire – the assessment of fire resistance of reinforced concrete structures, having regard to the duration and conditions of their operation.

Methods. To determine the operational limits of fire resistance, an analytical method for solving a static problem, a finite element analysis method for solving a heat engineering problem of fire resistance were used. The results of fire tests are applied to confirm the reliability of the data obtained by the simulation method.

Findings. It has been found that already with a 25 % reduction in load-bearing capacity during use, reinforced concrete structures lose about 50 % of their original fire-resistance rating. It has been established that the dynamics of the loss of fire resistance of reinforced concrete crossbars and beams mainly depends on the category of technical condition, and not on their design parameters.

Application field of research. The presented research results of fire resistance were obtained for reinforced concrete structures in operation and can be used to predict the behavior of operating reinforced concrete structures in fire, as well as to develop models and improve standards in the field of designing fire resistance of reinforced concrete structures.

Keywords: fire resistance, reinforced concrete structures, coefficient of loss of fire resistance, corrosion, wear, reinforced concrete beams, reinforced concrete crossbars, combined hazardous effects.

(The date of submitting: July 12, 2022)

REFERENCES

1. *Razvitie rynkov ipoteki i zhilishchnogo stroitel'stva v 2000–2018 godakh [Market Development of mortgage and housing construction]*. Moscow: DOM.RF, 2019. 52 p. Available at: <https://дом.рф/upload/iblock/bad/badb70641c1cb561f2af6bc2e4a90074.pdf> (accessed: May 21, 2022). (rus)
2. *Stroitel'stvo v Rossii. 2020 [Construction in Russia 2020]: statistical compendium*. ROSSTAT. Moscow, 2020. 113 p. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/tASKTSkO/Stroitelstvo_2020.pdf (accessed: May 21, 2022). (rus)
3. Prohorova E.K. Vliyanie sostoyaniya osnovnykh fondov na razvitie rossiyskoy promyshlennosti v usloviyakh mezhdunarodnykh sanktsiy [Impact of the fixed assets on the development of Russian industry in the context international sanctions]. *Vestnik mezhdunarodnogo instituta rynka*, 2019. No. 1. Pp. 30–36. (rus). – EDN: ZBXKEX.
4. Polekhin P.V., Chebukhanov M.A., Kozlov A.A., Firsov A.G., Sibirko V.I., Goncharenko V.S., Chechetina T.A. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu [Fires and fire safety 2020]: statistical compendium; under the general editorship Gordienko D.M.* Moscow: VNIPO, 2021. 112 p. Available at: <https://mchs.fun/wp-content/uploads/2021/09/pozhary-i-pozharnaya-bezopasnost-v-2020-gordienko-vniipo.pdf> (accessed: May 21, 2022). (rus)
5. Kudryashov V.A., Zhamoydik S.M., Kurachenko I.Yu, Nguyen T.K. Rezul'taty naturnykh ognevykh ispytaniy zhelezobetonnoy monolitnoy perekrytiya v sostave eksperimental'nogo fragmenta karkasnoy zdaniya [Results of full-scale fire tests of the monolithic reinforced concrete slab as part of a fragment of a frame building]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 1. Pp. 49–66. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49. EDN: EODTXX.
6. Palevoda I.I., Zhamoydik S.M., Nekhan' D.S. Model'nye ognevye ispytaniya zhelezobetonnykh tsentrifugirovannykh kolonn s konstruktivnoy ognezashchitoy [Reinforced concrete centrifuged columns with structural fire protection model fire tests]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 3. Pp. 289–299. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-3.289. EDN: HJXXED.
7. Koshmarov Yu.A. *Termodinamika i teploperedacha v pozharnom dele [Thermodynamics and heat transfer in fire fighting]: textbook for universities of the Ministry of Internal Affairs of the USSR.* Moscow: VIPTSh, 1987. 447 p. (rus)

8. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Korroziya betona i zhelezobetona. Metody ikh zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete. Methods for their protection]. Moscow: Stroyizdat, 1980. 536 p. (rus)
9. Roytman V.M., Pristupyuk D.N. Osobennosti otsenki stoykosti zdaniy i sooruzheniy iz zhelezobetonnnykh konstruktsiy pri kombinirovannykh osobykh vozdeystviyakh s uchastiem pozgara [Features of the estimation of buildings and constructions resistance from reinforced concrete designs at the combined hazardous effects with fire participation]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2010. Vol. 19, No. 7. Pp. 29–38. (rus). EDN: MUJTCR.
10. Roytman V.M., Pristupyuk D.N., Agafonova V.V. Vozniknovenie i razvitie teorii stoykosti konstruktsiy i zdaniy pri kombinirovannykh osobennykh vozdeystviyakh s uchastiem pozgara [Emergence and development of the theory of stability of structures and buildings at the combined special influences with participation of a fire]. *Industrial and Civil Engineering*, 2010. No. 10. Pp. 7–10. (rus). EDN: MVMUAT.
11. Roytman V.M. Osobennosti proektirovaniya ognestoykosti konstruktsiy i zdaniy pri kombinirovannykh osobykh vozdeystviyakh s uchastiem pozgara [Features of designing of constructions and buildings fire resistance in conditions of combined hazardous effects accompanied by fire]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2013. Vol. 2, No. 7. Pp. 47–54. (rus). EDN: RDHTTJ.
12. Roytman V.M., Pristupyuk D.N., Fedorov V.Yu. Metod otsenki predelov ognestoykosti zhelezobetonnnykh konstruktsiy, s uchedom ikh tekhnicheskogo sostoyaniya v usloviyakh ekspluatatsii [Method of assessment of fire resistance limits of reinforced concrete structures considering their technical conditions of use]. Proc. 7th scientific-practical conf. «Roytmanovskie chteniya», Moscow, February 28, 2019. Moscow: Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2019. Pp. 34–38. (rus). EDN: UDGUCI.
13. Fedorov V.Yu. Ognestoykost' zhelezobetonnnykh balok v zavisimosti ot izmeneniya ikh nesushchey sposobnosti v usloviyakh ekspluatatsii [Fire resistance of reinforced concrete beams depending on the change of their bearing capacity under operating conditions]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2019. No. 1 (30). Pp. 30–35. (rus). EDN: RGEDUA.
14. Roytman V.M. Inzhenernye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemykh i rekonstruirovemykh zdaniy [Engineering solutions of assessment of fire resistance of designed and reconstructed buildings]. Moscow: Association «Fire Safety and Science», 2001. 382 p. (rus)