

УДК: 699.8:614.8

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОПРОСА ОЦЕНКИ
ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Портнов Федор Александрович, к.т.н., доцент НИУ МГСУ, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе 26, e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Ковалева Софья Андреевна, лаборант НИУ МГСУ, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе 26, e-mail: kovalisofi@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены основные подходы к оценке пределов огнестойкости железобетонных конструкций. Показано какими нормативными документами руководствуются при использовании тех или иных способов, описаны ключевые элементы процессов оценки, в том числе основные критерии сохранения устойчивости конструкции исходя из условий воздействия нагрузки и теплового воздействия на конструкцию. Представлены результаты проведенных экспериментальных исследований, компьютерного моделирования и расчета. В качестве объекта исследования использовалась железобетонная плита перекрытия. На основании данных практических примеров показаны преимущества и недостатки применяемых подходов, в частности, невозможность применения расчетных методов для оценки новых строительных материалов и конструкций, характеристики которых значительно отклоняются от имеющихся в пособиях по расчету. Установлена сходимость результатов экспериментального метода оценки и компьютерного моделирования. На основании проведенного анализа сделаны выводы о необходимости переработки расчетных методов, что в перспективе значительно улучшит порядок оценки пределов огнестойкости и оптимизации эксплуатационных характеристик строительных конструкций. В настоящее время наиболее эффективным порядком оценки является предварительная оценка пределов огнестойкости при помощи компьютерного моделирования в специализированных программных комплексах с последующим экспериментальным подтверждением.

Ключевые слова: оптимизация проектирования, огнестойкость, пожарная безопасность, эксплуатационные характеристики, строительные конструкции.

**STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE ISSUE OF EVALUATION
OF FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

Portnov Feodor Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, NRU MGSU Yaroslav shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation, e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Kovaleva Sofya Andreevna, laboratory assistant NRU MGSU Yaroslav shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation, e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Annotation. The paper considers the main approaches to assessing the limits of fire resistance of reinforced concrete structures. It shows what regulations are guided in the use of certain methods, described key elements of evaluation processes, including the main criteria for maintaining the stability of the structure based on the conditions of load impact and thermal impact on the design. The results of experimental research, computer modeling and calculation are presented. A reinforced concrete slab of the ceiling was used as the object of the study. These

practical examples show the pros and cons of the approaches used, in particular the impossibility of using calculated methods to evaluate new building materials and structures, the characteristics of which are significantly deviated from those in the calculation manuals. The convergence of the results of the experimental method of evaluation and computer modeling has been established. Based on the analysis, conclusions are drawn about the need to rework the calculation methods, which in the future will significantly improve the order of assessment of fire resistance limits and optimization of the operational characteristics of construction structures. Currently, the most effective assessment order is to pre-assess the limits of fire resistance using computer simulations in specialized software complexes, followed by experimental confirmation.

Key words: design optimization, fire resistance, fire safety, operational characteristics, building structures.

Введение. В настоящее время развитие строительного комплекса привело к появлению большого спектра строительных конструкций, в частности, номенклатура железобетонных конструкций насчитывает огромное количество наименований. Кроме того, что подобные конструкции различаются по пространственному расположению (горизонтальные и вертикальные), по характеру работы (изгибаемые и сжатые), сильное различие наблюдается при анализе однотипных конструкций применяемых в различных условиях, что влияет на их геометрические и механические характеристики и устанавливает различные требования к эксплуатационным характеристикам.

При разработке новых видов железобетонных конструкций требуется комплексный подход при оптимизации эксплуатационных характеристик, а также всесторонний анализ разрабатываемого объекта с использованием расчетных, а также экспериментальных методов оценки. Как известно, наступление предельных состояний подобных конструкций, в процессе эксплуатации, в том числе при возникновении различных негативных воздействий, приводит к значительным последствиям. Негативные воздействия на конструкции связаны с возникновением таких чрезвычайных ситуаций как пожар или взрыв бытового газа, кроме того, ухудшение эксплуатационных характеристик, приводящих к снижению предельных состояний конструкций, может быть вызвано неправильной эксплуатацией конструкций и воздействием на них неблагоприятных условий окружающей среды. [1-5].

Важной особенностью чрезвычайных ситуаций, сопровождаемых пожаром, является несоответствие реальных негативных факторов, воздействующих на конструкции и последующих опасных последствий тем, которые учитываются в условиях, формируемых в процессе эксперимента или моделирования. В связи с этим актуальным является анализ особенностей методов оценки пожарной опасности конструкций. [6-8]

Требования нормативных документов. Основным нормативным документом, устанавливающим требования к железобетонным изделиям, является ГОСТ 13015-2012 «Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения». В данном документе отражены основные требования к используемым в железобетонных изделиях бетону и арматуре, геометрическим параметрам изделий, в том числе к толщине защитного слоя бетона

Требования к проектированию железобетонных конструкций устанавливает СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». В документе представлены основные требования и порядок расчета конструкций в зависимости от нагрузки для обеспечения их прочности. Установлены требования к выбору бетонов и арматуры используемым в конструкции. В документе указано, что конструкция должна иметь такие характеристики, которые позволят ей функционировать при воздействии внешних негативных факторов (температурные воздействия, влажность и др.).

Ключевой характеристикой, определяющей безопасность бетонных и железобетонных

изделий, является условие, при котором усилие от внешних нагрузок и воздействий F не должно превышать предельного усилия F_{ult} , которое может быть воспринято элементом

$$F \leq F_{ult} \quad (1)$$

Требования пожарной безопасности определяются Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности ФЗ №123. Огнестойкость и класс пожарной опасности строительных конструкций должны обеспечиваться за счет их конструктивных решений, применения соответствующих строительных материалов, а также использования средств огнезащиты. В документе указаны основные пределы огнестойкости. В документе дана классификация строительных конструкций по огнестойкости и сведения о пределах огнестойкости, а также значения пределов огнестойкости в зависимости от вида конструкции и степени огнестойкости объекта.

К основным предельным состояниям конструкции относятся потеря несущей способности, потеря целостности и потеря теплоизолирующей способности. Для строительных конструкций обязательно подтверждение пределов огнестойкости, которые определяются расчетными и экспериментальными методами.

Методы оценки пожарной пределов огнестойкости ЖБК. В связи с особенностями различных материалов и конструкций существует несколько подходов к определению пределов огнестойкости. Наиболее очевидным методом является проведение натуральных испытаний с обеспечением условий, схожих с развитием пожара в реальных условиях.

Для проведения экспериментального определения пределов огнестойкости используются методы по ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования». Данный стандарт включает описание стендового оборудования, которое включает испытательные печи с системой подачи топлива, устройства для установки образцов и регистрирующие устройства. В данном случае испытательные печи должны обеспечивать возможность испытания элементов конструкций с расположением их в вертикальном или горизонтальном положении в зависимости от их условий эксплуатации. Кроме того, установлена зависимость, в соответствии с которой при испытаниях обеспечивается температурный режим:

$$T - T_0 = 345 \lg(8t + 1) \quad (2)$$

где температура в печи ($T, ^\circ\text{C}$) зависит от начальной температуры до теплового воздействия ($T_0, ^\circ\text{C}$), и времени, прошедшем от начала испытания (t , мин).

На основании большого объема данных по испытаниям было составлено большое количество зависимостей, составляющих расчет предела огнестойкости по потере несущей способности. Расчетные методы состоят из двух задач: тепловой и статической. Решение этих задач сводится к определению влияния теплового воздействия на механические характеристики конструкции в соответствии с условием (1). Ранее расчет пределов огнестойкости выполняется в соответствии с Пособием по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов, но в связи с его отменой действующими документами добровольного применения в настоящее время являются СТО 36554501-006-2006 «Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций» и Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона к данному, разработанное для данного СТО.

Значительным недостатком действующих стандартных расчетных методов связан с тем, что они основаны на устаревших опытных данных и расчетные зависимости и стандартные величины по используемым в конструкциях материалов не охватываемый весь спектр железобетонных конструкций и материалов, используемых в них. Кроме того, при проведении расчета невозможно провести оценку поведения конструкции в условиях пожара, так как решение тепловой задачи сводится к оценке прогрева арматуры через слой бетона. Особенности поведения материалов с различными характеристиками, а также

элементов сборно-монолитных железобетонных конструкций является актуальной задачей в связи с развитием этого направления.

Большое количество научных и проектных работ требуют проведения большого количества оценочных работ различных вариантов исполнения железобетонных конструкций для достижения оптимальных эксплуатационных характеристик. Проведение большого объема натуральных испытаний может быть затруднительно. Тем не менее это является единственным способом оценки пределов огнестойкости при сертификации.

Материалы и методы. С учетом вышесказанного выбор метода предварительной оценки предела огнестойкости с возможностью всесторонней оценки изучаемой конструкции является актуальной задачей.

Для решения данного вопроса был использован программный комплекс Ansys и проведено сравнение данных, полученных при расчете и в ходе моделирования с экспериментальными данными оценки предела огнестойкости железобетонной плиты. Проведен анализ эффективности использования выбранных методов оценки. Объект для исследования представляет собой плиту перекрытия из бетона класса В40 размерами (6170x2350) мм, толщиной 180 мм с напрягаемой арматурой в виде канатов марки 12К7-1500С по ГОСТ 13840-68.

В ходе экспериментальной оценки огнестойкости были получены данные по изменению температуры на необогреваемой стороне конструкции и по прогибу конструкции. Для оценки изменения температуры были установлены термопары в контрольных точках в центре и в середине прямых, соединяющих центр и углы образца. Также устанавливались дополнительные термопары на глубине 30 мм и 130 мм от необогреваемой поверхности для более детального анализа прогрева конструкции. Для оценки прогиба устанавливался соответствующий датчик в центре необогреваемой стороны конструкции. Режим испытаний соответствует зависимости (2), который на основании данных датчиков, установленных в огневой камере отражен на рисунке 1. В процессе испытаний на плиту было обеспечено воздействие распределенной нагрузки 350 кг/м^2 (всего 5 тонн).

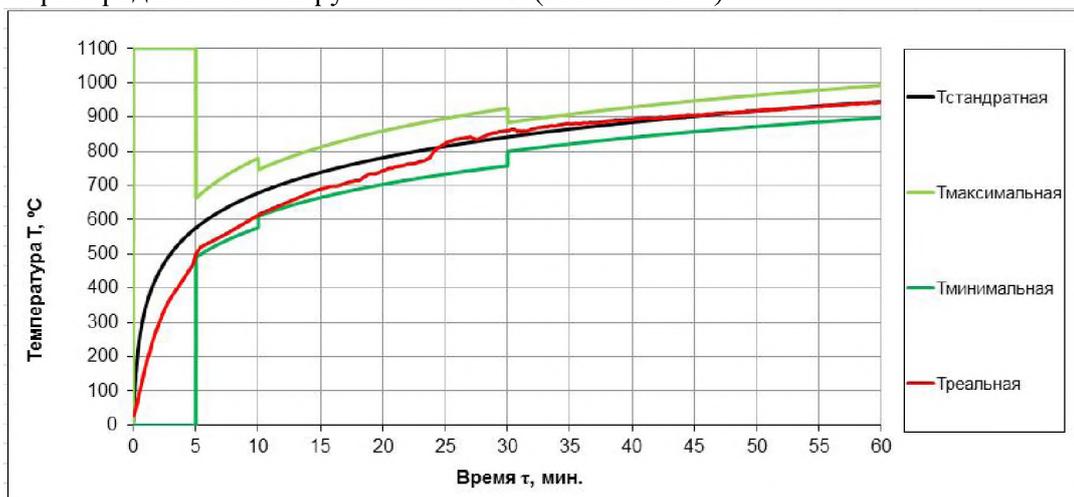


Рис 1. Зависимость среднеобъемной температуры (Треальная) в огневой камере печи от времени теплового воздействия на Образец (τ) (Стандартный температурный режим по ГОСТ 30247.0-94).

На рисунке 2 показано изменение температуры в условиях воздействия стандартного режима огневого воздействия.

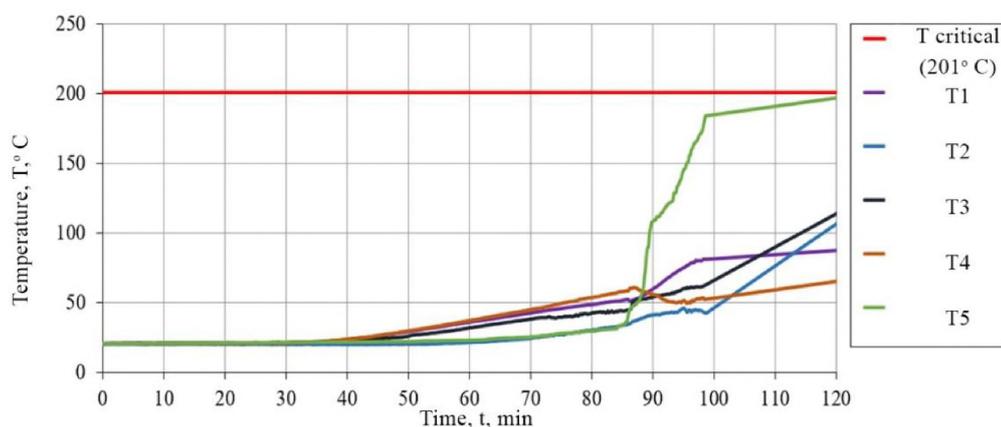


Рис 2. Температура в контрольных точках конструкции.

В соответствии с требованиями ГОСТ 30247.1-94 предельным состоянием по потере несущей способности (R) является максимальное значение прогиба – $L/20$ мм, где L – пролет конструкции, что в данном случае составляет 300 мм. Предельное состояние по потере теплоизолирующей способности (I) - повышение температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140 °C или в любой точке этой поверхности более чем на 180 °C в сравнении с температурой конструкции до испытания. В данной ситуации критическим значением является температура 201 °C. Время достижения предельного значения прогиба в результате испытаний составляет 135 минут, время достижения предельного значения температуры составляет 120 минут, соответственно предел огнестойкости конструкции составляет 120 минут.

Расчет на основании пособия по расчету огнестойкости показали результат 128 минут.

При моделировании в программном комплексе были воспроизведены условия натуральных испытаний. Схема конструкции представлена на рисунке 3.

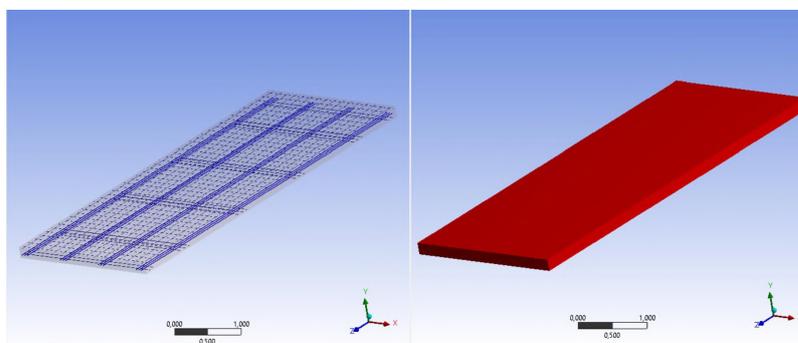


Рис 3. Компьютерная модель изучаемого объекта

В процессе анализа были получены поля распределения температуры объекту, что показано на рисунке 4.

Рис 4. Распределение температуры по плите

Критическая температура прогрева достигается за 120 минут. На рисунке 5 показан прогиб конструкции при воздействии заданной распределенной нагрузки.

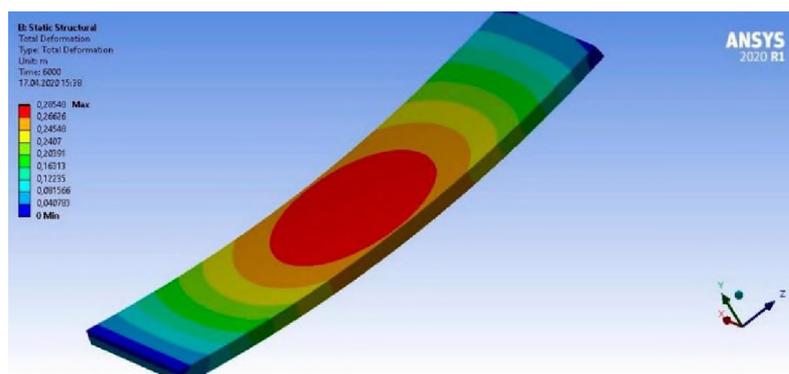


Рис 5. Изгиб плиты при тепловом воздействии под действием распределенной нагрузки.

Как видно из представленных рисунков, компьютерное моделирование дает возможность более детального анализа процесса огневого воздействия на конструкцию под действием нагрузок. Также как и в натуральных испытаниях появляется возможность оценки температурного воздействия в различных точках конструкций. Кроме того, натурные испытания и компьютерное моделирование позволяют отклоняться от стандартной температурной зависимости (2) в случае, если условия возникновения пожароопасной ситуации или особенности исследования поведения конструкции требуют этого.

На практике возникает необходимость улучшения эксплуатационных характеристик бетонов с целью увеличения эффективности конструкций, улучшения качества жизни и обеспечения безопасности. Возможность изменения эксплуатационных характеристик железобетонных изделий достигается несколькими путями:

- подбор бетона и арматуры в соответствии с требуемыми критериями (в том числе подбор бетона с введением огнеупорных добавок)
- разработка сборно-монолитных железобетонных конструкций

Во всех случаях возможно проведение натуральных испытаний для определения предела огнестойкости и проведения детального анализа для оценки особенностей поведения конструкции при испытаниях. При этом компьютерное моделирование позволяет. Однако проведение математических расчетов по стандартной методике во многих случаях не позволяет учесть характеристики новых строительных материалов и особенности поведения строительной конструкции. Примером таких конструкций являются Сборно-монолитные ЖБК с использованием газобетонных блоков.

Расчетные методы не позволяют учитывать факторы, в случае возникновения непредвиденных негативных воздействий на конструкции, таких как ударное воздействие. Кроме того, экспериментальные методы и компьютерное моделирование позволяет учитывать отклонения от известных нормативных зависимостей, характеризующих тепловое воздействие при пожаре.

Заключение

На основании проведенного анализа и исследования результатов оценки пределов огнестойкости различными путями можно заключить, что в настоящее время одной из важных задач в настоящее время является оптимизация расчетных методов с учетом особенностей современных строительных материалов и конструкций. На текущий момент одним из наиболее эффективных способов оценки пределов огнестойкости является использование компьютерного моделирование с использованием специализированных программных комплексов. Их использование позволяет оптимизировать эксплуатационные характеристики конструкций с дальнейшим их подтверждением экспериментальными методами.

Литература

1. Перцев В.Т., Леденев А.А. Изменение пожарно-технических характеристик железобетонных конструкций за счет применения комплексных добавок // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. №2. С. 105-111
2. Шилов А.В., Кузнецов А.И. К вопросу о проектировании усиления железобетонных конструкций композитными материалами // Строительство и архитектура – 2015 Материалы международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО "Ростовский государственный строительный университет", Союз строителей южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. 2015. С. 28
3. Сербиновский П.А., Сербиновский А.В., Маилян Д.Р. Новые конструкции усиления многопустотных железобетонных плит // Инженерный вестник дона. 2015. №4. С. 68
4. Коротков Л.И. Композитные материалы для армирования железобетонных конструкций мостов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2016. №1-2. С.21-23
5. Пехотиков А.В., Павлов В.В., Хасанов И.Р., Голованов В.И. Расчетные методики оценки огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций // Актуальные проблемы пожарной безопасности. Тезисы докладов XXX Международной научно-практической конференции. 2018. С. 359-361
6. Теличенко В.И., Ройтман В.М. Обеспечение стойкости зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара — базовый элемент системы комплексной безопасности. Повышение безопасности зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации (19 мая 2010 г.) // Матер-лы 1-го Национального конгресса «Комплексная безопасность в строительстве 2010», ВВЦ, 18—21 мая 2010 г., Москва : сб. научн. тр. 2010. Вып. 9.
7. Ройтман В.М. Стойкость зданий и сооружений против прогрессирующего обрушения при комбинированных особых воздействиях с участием пожара // Вестник МГСУ. 2009. Спец. вып. № 2. С. 37—59.
8. Ройтман В.М. Основы пожарной безопасности высотных зданий. М. : МГСУ, 2009. 107с.