

## Реферативный обзор зарубежных изданий (Journal of Structural Fire Engineering, Vol. 12, Issue 1, 2021)

### СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА



1. Сачин В., Суреш Н.

*Остаточные свойства бетона нормальной прочности при воздействии пожара и устойчивых повышенных температур: сравнительное исследование*

2. Халед Собхан, Дроннадула В. Редди, Фернандо Мартинес

*Огнестойкость корродированного высокопрочного конструкционного бетона*

3. Халед Ахмед Махмуд

*Характер поперечной деформации эксцентрично нагруженных тонких железобетонных колонн с различной степенью ротационного заземления конца колонны при повышенных температурах*

4. Сильвия Борон

*Численное моделирование изменений давления внутри защищенного помещения во время тушения пожара с использованием углекислого газа*

5. Оливер Бар

*Как режимы крепления и нагрева влияют на огнестойкость композитных каркасов*

6. Роберт Кюнен, Магед Юсеф, Салах Эль-Фитиани

*Метод эквивалентной продолжительности пожара при проектировании железобетонных балок на основе эксплуатационных характеристик*

7. Партхасарати Н., Сатьянараянан К.С.

*Характер прогрессирующего разрушения железобетонного каркаса, подвергнутого воздействию высокой температуры*

### ОСТАТОЧНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА НОРМАЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЖАРА И УСТОЙЧИВЫХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Сачин В., Суреш Н. (Индия)

#### Цель

Бетон является строительным материалом широкого применения, который может быть приготовлен с использованием местных ресурсов (заполнители, цемент и вода), следуя соответствующим стандартным рекомендациям. Остаточные свойства бетона, определяемые при нагревании в электрической печи, могут не совпадать с теми, которые возникают от воздействия пожара. Цель данной статьи – сравнить воздействие пожара на бетон с воздействием заданных эталонных температур на бетон нормальной прочности. С этой целью два набора образцов нагревались в пожарной печи, оснащенной газовыми горелками, а также в электрической печи.

#### Проект / методология / подход

Бетонные кубы и цилиндры подвергали воздействию температур 200, 400, 600 и 800 °С в печи с регулируемой подачей газа, а также в электрической печи в течение 2 часов. После охлаждения образцов на воздухе были определены физические свойства и механические характеристики бетона. Качество бетонных образцов определялось с помощью ультразвукового измерения скорости импульсов, а поверхностная твердость подвергнутых тепловому воздействию кубов регистрировалась с помощью отбойного молотка Шмидта.

#### Результаты исследований

Было обнаружено, что образцы, подвергшиеся воздействию пожара, имеют более низкие показатели остаточной прочности на сжатие, прочности на растяже-

ние, а также обладают более высокой пористостью/большим количеством пустот или внутренних трещин, чем образцы, нагретые в электрической печи при той же температуре. Кроме того, для каждой из двух систем нагрева (пламя, исходящее от газовых горелок и от электрической печи) наблюдалось хорошее соответствие показателей прочности на сжатии и критериев отскока.

### **Оригинальность/ценность**

Образцы бетона нормальной прочности, нагретые в электрической печи, не будут показывать одинаковые результаты с образцами, подвергшимися воздействию пожара, при одинаковой максимальной температуре. Кроме того, следует отметить, что бетон, подвергшийся воздействию повышенной температуры, чувствителен к способам нагрева, будь то пламя газовой печи или излучение электрической печи.

Ключевые слова: *характеристики бетона, повышенная температура, неразрушающий контроль, скорость ультразвукового импульса, отбойный молоток, прочность на сжатие, прочность на растяжение, бетон*

## **ОГНЕСТОЙКОСТЬ КОРРОДИРОВАННОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО КОНСТРУКЦИОННОГО БЕТОНА**

Халед Собхан, Дроннадула В. Редди, Фернандо Мартинес (США)

### **Цель**

Воздействие соленых сред на такие железобетонные конструкции, которые применяются в высотных жилых зданиях, мостах и опорах, включая воздействие противообледенительных солей, повышает склонность к коррозии арматурной стали. Воздействие пожара может еще больше ухудшить структурную целостность проржавевших бетонных конструкций. Это совокупное влияние коррозионного повреждения и воздействия пожара, как правило, не учитывается в сводах правил, касающихся конструкционного бетона. Исследование синергетического сочетания воздействия коррозии и пожара составляет основу данной работы.

### **Проект/методология/подход**

Для проведения испытаний были подготовлены образцы бетонных балок различной прочности, которые выдерживали во влажных условиях и подвергли коррозии с помощью подаваемого тока. Позже на них были нанесены надрезы для оценки коррозии, после чего половина образцов подверглась воздействию огня в газовой печи. Ущерб от пожара оценивался методом неразрушающего контроля с использованием ультразвукового импульсного метода. Затем для всех образцов была установлена остаточная прочность при изгибе. После этого они были вскрыты, и уровень коррозии был определен на основе потери массы арматуры.

### **Результаты исследований**

Для корродированных образцов потеря способности к изгибу из-за воздействия огня увеличивается по мере увеличения прочности на сжатие. В целом, чем выше скорость растрескивания, тем выше соответствующая потеря массы, если только не произошло частичное/сегментарное разрушение арматуры. Степень коррозии возрастает с уменьшением прочности на сжатие. Мощность остаточного момента, основанная на аналитически определенных мощностях некорродированных и не подверженных воздействию огня балок, была значительно ниже, чем у некорродированных балок, подвергшихся воздействию огня.

## **Оригинальность/ценность**

Совокупное воздействие коррозии и пожара на механические свойства конструкционного бетона относительно неизвестно, и в существующих кодексах проектирования нет указаний по решению этой проблемы. Соответственно, ожидается, что выводы этой статьи будут ценными как для исследователей, так и для инженеров-проектировщиков и могут рассматриваться как первоначальное исследование по этой теме.

Ключевые слова: *коррозия, скорость растрескивания, воздействие пожара, потеря массы арматурного стержня, момент нагрузки, высокая прочность, остаточная способность к изгибу*

## **ХАРАКТЕР ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЭКСЦЕНТРИЧНО НАГРУЖЕННЫХ ТОНКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ РОТАЦИОННОГО ЗАЩЕМЛЕНИЯ КОНЦА КОЛОННЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Халед Ахмед Махмуд (Египет)

## **Цель**

В литературе предыдущие исследования были сосредоточены на анализе железобетонных колонн с идеализированными условиями опирания концов колонн при воздействии пожара. Обычно полная неподвижность или свободное вращение на концах колонн не предусматривается. Такие концы можно считать частично ограниченными при вращении. Данная статья освещает проблему влияния различных степеней ограничения вращения на характер боковой деформации тонких нагретых железобетонных колонн, подверженных нелинейным распределениям деформаций, создаваемым зависящей от времени термической историей.

## **Проект/методология/подход**

Для вычисления значения распределения деформации по поперечному сечению был введен итерационный метод с использованием метода Ньютона-Рафсона. При введении надежной процедуры расчета характер боковой деформации выражается с помощью численных и поисковых методов. Представлена методология расчета коэффициента приведенной длины для железобетонных колонн при повышенной температуре.

## **Результаты исследований**

Результаты предложенной модели показали хорошее соответствие с имеющимися результатами экспериментальных испытаний. Также было обнаружено, что изменение степени ротационного защемления конца колонны оказывает значительное влияние на характер боковой деформации нагреваемых тонких железобетонных колонн. Кроме того, эффективность и достоверность аналитической модели должны быть подтверждены путем одновременной проверки осевых и боковых деформаций. Помимо этого, коэффициент приведенной длины нагреваемой колонны был выше, чем коэффициент приведенной длины соответствующей колонны при температуре окружающей среды.

## **Оригинальность/ценность**

В данной статье показано влияние различных граничных условий на поведение нагреваемых тонких железобетонных колонн. В ней предложены эффективные методы определения бокового прогиба и коэффициента приведенной длины при высоких температурах.

Ключевые слова: *огнестойкость, эксцентриситет, боковое отклонение, железобетонная колонна, ограничение вращения*

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ ВНУТРИ ЗАЩИЩЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Сильвия Борон (Польша)

#### **Цель**

Целью данной статьи является изучение и оценка нового подхода к прогнозированию изменений давления при сбросе газа внутри помещения, защищенного стационарной системой газового пожаротушения, с помощью моделирования вычислительной гидродинамики (CFD-моделирование).

#### **Проект/методология/подход**

Программа исследования состояла из двух этапов. Первый этап был посвящен экспериментальным измерениям изменения давления при сбросе огнетушащего газа в испытательную камеру в реальном масштабе (70 м<sup>3</sup>) через два различных по площади выпускных отверстия. Следующий этап заключался в проведении CFD-моделирования, прогнозирующего изменения давления во время выпуска газа в численно смоделированную испытательную камеру. Оценка правильности и пригодности CFD-модели была основана на сравнении результатов вычислительной гидродинамики со стандартными расчетами и экспериментальными измерениями.

#### **Результаты исследований**

Численное моделирование изменений давления во время выброса углекислого газа было очень близко к данным эксперимента. Полученные результаты обладали достаточной точностью (в большинстве случаев относительная погрешность < 15 %), в то время как стандартный подход предсказывал изменения давления со средней относительной погрешностью более 36 % и вообще не оценивал снижение давления.

#### **Оригинальность/ценность**

Проведенные исследования подтверждают жизнеспособность нового подхода к моделированию изменений давления и указывают на дополнительные преимущества численного анализа при определении пожарной безопасности защищаемых помещений.

Ключевые слова: *диоксид углерода, вычислительная гидродинамика, огнетушащий газ, техника пожарной безопасности, стационарная система газового пожаротушения, демпфер сброса давления*

### КАК РЕЖИМЫ КРЕПЛЕНИЯ И НАГРЕВА ВЛИЯЮТ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИТНЫХ КАРКАСОВ

Оливер Бар (Германия)

#### **Цель**

Несъемные односекционные композитные каркасы представляют собой несущую конструкцию для зданий высотой до трех этажей. Однако их противопожарная конструкция является сложной, учитывая отсутствие упрощенных методов проектирования. Данная статья направлена на углубление понимания несущей способности как нежестких, так и жестких каркасов при воздействии пожара.

#### **Проект/методология/подход**

В предыдущей статье была разработана и подтверждена численная модель противопожарной конструкции указанных каркасов, которая хорошо согласовывалась с результатами испытаний на огнестойкость. В данной статье эта модель использовалась для сравнения типичных различий между жесткими, полужесткими и нежесткими композитными каркасами в условиях пожара. Дальнейшие

исследования касались влияния различных режимов нагрева, т. е. частичного воздействия пожара на колонны в каркасах и различного местоположения стандартного пожара по стандарту ISO.

### **Результаты исследований**

Численные исследования показали, что необходимо учитывать локальные пределы разрушения и деформации каркасов, подверженных воздействию пожара. Исходя из этого, нежесткие композитные каркасы могут конкурировать с жесткими каркасами, поскольку они должны выдерживать меньшие тепловые ограничения, чем жесткие каркасы.

### **Оригинальность/ценность**

В отличие от других исследований каркасов, численная модель способна учитывать разрушение при сдвиге, что особенно важно для углов каркаса. Благодаря данной модели, показано, что ограниченное колебание является обоснованным для снижения тепловых ограничений и, следовательно, локальных напряжений. В связи с этим концепция полужестких композитных соединений с определенным количеством арматуры оказалась очень рациональной в противопожарном проектировании.

Ключевые слова: *крепление, композитные каркасы, огнестойкость, частичное воздействие пожара, полужесткие соединения, изменяющееся местоположение пожара*

### **МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЖАРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Роберт Кюнён, Магед Юсеф, Салах Эль-Фитиани (Канада)

### **Цель**

Проектирование зданий с учетом пожароопасных ситуаций имеет большое значение для обеспечения безопасности жильцов. В дополнение к простым предписывающим методам в проектировании может быть применено противопожарное проектирование, основанное на эксплуатационных характеристиках, для достижения более высокого уровня безопасности. Чтобы сделать более доступным противопожарное проектирование, основанное на эксплуатационных характеристиках, можно использовать метод эквивалентной продолжительности пожара, для приближенного представления данного природного пожара с использованием стандартного пожара определенной продолжительности. Это позволяет связать события природного пожара с множеством существующих данных из стандартного сценария пожара. Целью данной статьи является обзор и оценка применения существующего метода эквивалентной продолжительности пожара при проектировании железобетонных балок на основе эксплуатационных характеристик.

### **Проект/методология/подход**

Оценка применения метода эквивалентной продолжительности пожара проводится путем расчета зависимости момента кривизны секций железобетонных балок от воздействия пожара. Проводится сравнение значений отклика сечения, вызванного природным пожаром, а также эквивалентной продолжительности пожара.

### **Результаты исследований**

Показано, что с помощью рассмотренного метода эквивалентной продолжительности пожара можно прогнозировать отклик сечения с высокой точностью, подходящей для целей проектирования, основанного на характеристиках.

## **Оригинальность/ценность**

Это первое исследование, которое обеспечивает всестороннюю оценку диаграммы «момент – кривизна» железобетонных балок с использованием стандартных сценариев эквивалентной продолжительности пожара, которые моделируют реалистичные сценарии пожара.

Ключевые слова: *железобетон, стандартный пожар, природный пожар, проектирование на основе эксплуатационных характеристик, эквивалентная продолжительность, железобетонные балки, зависимость изгибающего момента от осевой нагрузки*

## **ХАРАКТЕР ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА, ПОДВЕРЖЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Партхасарати Н., Сатьянараянан К.С. (Индия)

## **Цель**

Технологические инновации в области строительства активно применяются в жизни крупных городов и при проектировании зданий. С учетом спроса на передовые технологии изготовления бетона, проводится внедрение новых армированных материалов в бетон, а именно железа, стали и других армирующих элементов. Армирование бетона было изобретено много веков назад, и в настоящее время предпринимается ряд действий для улучшения свойств бетона с помощью армирования. В данной статье проводится исследование армирования бетона с целью изучения характера прогиба бетонного каркаса из смеси М30 в условиях тепловой нагрузки.

## **Проект/методология/подход**

В рамках исследования рассматриваются угловой и центральный каркас с усилением диаметром 16 мм для сжатия, предусмотренным в четырех зонах, а усиление диаметром 8 мм используется в местах крепления подвесных петель с шагом 150 мм. На колонну каркаса действует динамическая нагрузка в 3,5 кН/м, а нагрузка на стенки колонны составляет 14,7 кН/м. Эксперименты проводятся с помощью метода анализа конечных элементов в программном обеспечении для моделирования ABAQUS с пятью условиями испытания с пустым каркасом при заполнении одного, двух и трех отсеков. Модель каркаса разработана и сцеплена креплением типа C3D8T в виде 8-узловой термически соединенной кирпичной сетки с размером ячеек 25 мм.

## **Результаты исследований**

По результатам моделирования анализируется влияние температурного градиента на железобетон. Его структурные свойства отображаются в виде графиков производительности в разделе результатов.

## **Оригинальность/ценность**

В условиях тепловой нагрузки в течение 180 минут проводится моделирование пяти различных условий испытания, а также анализируются такие параметры прогиба, как деформация, степень изменения напряжения и интенсивность отколов.

Ключевые слова: *деформация, конечно-элементный анализ, железобетон, бетонная смесь М30, напряжение, тепловая нагрузка*

**Материал (поступил в редакцию 30.11.2021 г.) подготовили:**

Ю.В. МЕЛЬНИКОВА, науч. сотр.;  
Н.В. САЙГИНА, ст. науч. сотр.  
(ФГБУ ВНИИПО МЧС России)