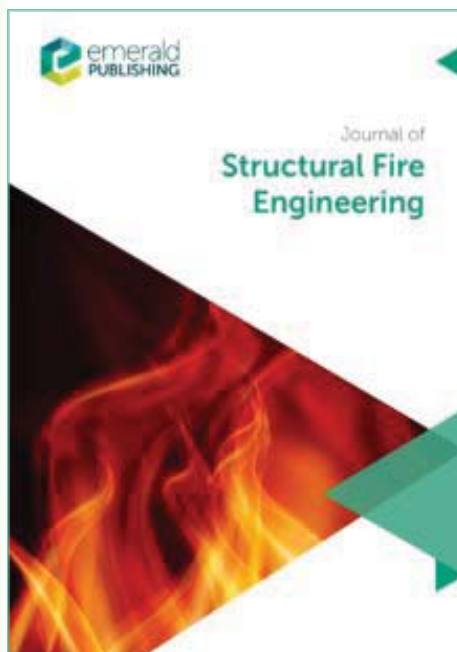


2020
Volume 11, Issue 1



СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

1. Янни Бурас, Зора Врчелж
Плоскостная устойчивость неглубоких бетонных арок при пожаре
2. Май Хеслер, Дастин Хеслер, Саша Хотан, Симона Крюгер
Испытания на огнестойкость систем стальных натяжных стержней со вспучивающимся покрытием
3. Вальдемар Вайсхайм, Петер Шауманн, Лиза Зандер, Йохен Цефус
Численная модель противопожарных характеристик и структуры вспучивающихся покрытий на строительных конструкциях при воздействии природных пожаров
4. Теренс Ма, Лей Сюй
Предел огнестойкости стальных каркасов без соединительных креплений, базирующийся на их устойчивости
5. Вирендра Кумар
Влияние температуры на напряженно-деформированное состояние предварительно напряженного ограниченного бетона
6. Ричард Уоллс, Селеста Вильжоен, Хенни де Клерк
Параметрическое исследование поперечного напряженно-деформированного поведения, жесткости и термосилы стальных, бетонных и композитных балок при воздействии пожара
7. Мустесин Али Хан, Лиминг Цзян, Кэтрин Энн Кэшелл, Асиф Усмани
Виртуальное гибридное моделирование поведения балок со стержневыми отверстиями при воздействии пожара

ПЛОСКОСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ НЕГЛУБОКИХ БЕТОННЫХ АРОК ПРИ ПОЖАРЕ

Янни Бурас, Зора Врчелж (Австралия)

Цель

Бетонные арочные конструкции обычно возводятся целью различного применения в гражданском строительстве. Несмотря на их частое использование, существует мало исследований ответной реакции и характеристик бетонных арок при воздействии пожарной нагрузки. Таким образом, целью данной работы является исследование ответной реакции и видов плоскостного разрушения неглубоких округлых бетонных арок под воздействием механической и пожарной нагрузки.

Проект / методология / подход

Это исследование проводится путем разработки трехмерной конечноэлементной (КЭ) модели в программе ANSYS. КЭ модель верифицируется путем сравнения с недискретизационной численной моделью, выведенной в данном исследовании, и с сокращенной теорией модуля деформации, которая применяется как для нелинейного неупругого анализа неглубоких бетонных арок, подвергшихся равномерно распределенной радиальной нагрузке, так и для равномерного температурного поля. Рассматриваются как антисимметричные, так и симметричные формы потери устойчивости с анализом предыдущего геометрического несовершенства, полученного путем анализа собственных значений потери устойчивости.

Результаты исследований

Результаты КЭ анализа показывают, что антисимметричная бифуркационная потеря устойчивости является доминирующим режимом разрушения неглубоких бетонных арок при воздействии механической и пожарной нагрузки. Кроме того, представлены параметрические исследования, иллюстрирующие влияние различных параметров на время огнестойкости.

Оригинальность/ценность

В открытой литературе не сообщалось об ответной реакции бетонных арок при пожаре. Авторы ранее исследовали устойчивость неглубоких бетонных арок при механической и равномерной тепловой нагрузке. Было установлено, что температура значительно снижает потерю устойчивости бетонных арок. Однако это исследование было ограничено упрощающими допущениями, которые включают в себя поведение упругого материала и равномерную температурную нагрузку. Настоящее исследование дает реалистичное представление об ответной реакции при пожаре, а также об устойчивости неглубоких бетонных арок. Выводы, приведенные здесь, могут быть использованы при противопожарном проектировании неглубоких бетонных арок.

Ключевые слова: *потеря устойчивости, конечный элемент, арки, пожарная нагрузка, предельная устойчивость*

ИСПЫТАНИЯ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ СИСТЕМ СТАЛЬНЫХ НАТЯЖНЫХ СТЕРЖНЕЙ СО ВСПУЧИВАЮЩИМСЯ ПОКРЫТИЕМ

Май Хеслер, Дастин Хеслер, Саша Хотан, Симона Крюгер (Германия)

Цель

Целью данной работы является исследование характеристик вспучивающегося покрытия на системах натяжных стержней и их деталей. Системы стальных натяжных стержней состоят из натяжных стержней, вилочных соединителей и связанных с ними перекрестных или угловых накладок. В случае пожара кроме самих натяжных стержней соответствующей противопожарной защиты требуют и соединительные части. Вспучивающиеся огнезащитные покрытия предотвращают быстрый нагрев стали и помогают гарантировать несущую способность конструкции. Поскольку соединительные элементы систем натяжных стержней имеют кривизну поверхности и сложную геометрию, предъявляются высокие требования к вспучиванию и теплозащитным характеристикам покрытий.

Проект/методология/подход

В данной работе проведены экспериментальные исследования для систем стальных натяжных стержней со вспучивающимся покрытием. Были рассмотрены такие аспекты, как характер вспучивания и растрескивания, влияние различной толщины сухой пленки, скорость нагрева стальных соединительных деталей по сравнению с натяжными стержнями и направление монтажа натяжных стержней вместе с их вилочными соединителями.

Результаты исследований

Полученные результаты показывают, что уменьшение кривизны поверхности и/или увеличение массовой концентрации стальных деталей приводит к уменьшению скорости нагрева стали. Кроме того, характеристики вспучивающегося покрытия на системах натяжных стержней зависят от направления монтажа стальных деталей.

Оригинальность/ценность

Результаты, полученные на основе испытаний на огнестойкость, способствуют лучшему пониманию характеристик вспучивающегося покрытия на соединительных элементах систем натяжных стержней. Эта тема еще не была широко изучена.

Ключевые слова: *сталь, испытание на огнестойкость, вспучивающееся покрытие, реактивная система противопожарной защиты, система натяжных стержней*

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И СТРУКТУРЫ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

Вальдемар Вайсхайм, Петер Шауманн, Лиза Зандер, Йохен Цефус (Германия)

Цель

Целью данной работы является экспериментальное и численное исследование противопожарных характеристик вспучивающегося покрытия (ВП) на водной основе для строительных конструкций при природных пожарах. На основе собственных маломасштабных лабораторных испытаний для моделирования противопожарных характеристик исследуемого покрытия при произвольных сценариях возникновения пожара была разработана усовершенствованная численная модель. Изоляционная стойкость покрытия описывается в рамках модели такими свойствами материала, зависящими от температуры и скорости нагрева, как коэффициенты расширения, теплопроводность и теплоемкость. Результаты численной модели сравниваются с собственными крупномасштабными испытаниями на огнестойкость ненагруженной двутавровой балки и колонны.

Проект/методология/подход

В связи с тем, что природный пожар может происходить в произвольных режимах, свойства материала водорастворимых ВП исследуются при различных скоростях нагрева. На основе этих исследований в программе конечных элементов ABAQUS реализована материальная модель ВП. С помощью пользовательских подпрограмм вводятся свойства материала покрытия как для фазы нарастания, так и для фазы затухания природных пожаров, с учетом двух- и трехмерного термомеханического анализа стальных элементов с покрытием.

Результаты исследований

Результаты проведенных маломасштабных лабораторных испытаний показывают поведение исследуемого покрытия, зависящее от скорости нагрева. Потеря массы, а также расширение покрытия меняются вместе со скоростью нагревания. Кроме того, свойства материала, полученные в малом масштабе, справедливы и для большого масштаба. Поэтому можно было бы разработать материальную модель, пригодную для воспроизведения результатов крупномасштабных испытаний на огнестойкость. К тому же с помощью численной модели разработан размерный подход к определению толщины сухой пленки (ТСП) исследуемого покрытия при произвольных природных пожарах.

Исследовательские ограничения/последствия

Свойства материала, представленные в данной работе, справедливы только для исследуемого водорастворимого ВП и выбранной области параметров. Однако разработанный подход моделирования огнезащитных характеристик ВП является общим и может быть применен для каждого покрытия, относящегося к вспучивающимся материалам.

Оригинальность/ценность

До настоящего времени было проведено лишь несколько научно-исследовательских работ, направленных на изучение противопожарных характеристик ВП при нестандартном воздействии пожара. В данной статье подробно рассматриваются свойства материалов и моделирование материалов водорастворимых ВП, подверженных воздействию природных пожаров. В частности, лабораторные исследования и численное моделирование являются уникальными и позволяют получить новые возможности оценки вспучивающихся покрытий.

Ключевые слова: *производительность, вспучивающийся, покрытие, водный, расширение, природный, пожар, нагрев, охлаждение, модель, моделирование, подпрограмма, пожарное испытание, сталь*

ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ БЕЗ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ КРЕПЕЖЕЙ, БАЗИРУЮЩИЙСЯ НА ИХ УСТОЙЧИВОСТИ

Теренс Ма, Лей Сюй (Канада)

Цель

Разрушение конструкции в результате нестабильности стальных каркасов при воздействии пожара является наихудшим видом разрушения, рассматриваемым в противопожарном проектировании сооружений, и его следует избегать. Цель данной работы – предложить новый метод оценки минимально возможной продолжительности пожара, который может привести к нестабильности стального каркаса без соединительных крепежей.

Проект/методология/подход

Предлагаемый в статье метод представлен в виде задачи условной минимизации, определяющую наихудший сценарий пожара, который может вызвать нестабильность конструкции. Эта задача решается с использованием нелинейных условных алгоритмов математического программирования. Формулировка продемонстрирована на численном примере.

Полученные данные

Для каркасов, подвергнутых воздействию пожара, моделируемого с помощью монотонно возрастающих кривых, наихудшим сценарием, вызывающим нестабильность каркаса, всегда был тот, когда все ячейки каркаса воспламенялись одновременно. Для каркасов, подвергнутых воздействию пожара, когда кривые пожара движутся вниз, задача минимизации должна быть решена строго. На результаты существенно влияют кривые пожара и количество изоляции, нанесенной на каждую деталь.

Оригинальность/ценность

Предложенный метод является продолжением метода, ранее разработанного Сюй и др. (2018) для оценки устойчивости стальных каркасов без соединительных крепежей, подвергшихся воздействию повышенных температур деталей. Предыдущий метод не учитывает продолжительность пожара и механику теплопередачи, которые учитываются в предложенном методе. Данный метод потенциально полезен проектировщикам при проведении анализа сценариев пожара для проектирования конструкций.

Ключевые слова: *пожар, минимизация, устойчивость, сценарий, стальные каркасы, без соединительные крепежи*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО ОГРАНИЧЕННОГО БЕТОНА

Вирендра Кумар (Индия)

Цель

Целью данной работы является изучение результатов испытаний при одноосном сжатии арматуры, ограничивающей предварительно напряженные короткие бетонные колонны нормальной прочности, подвергшиеся воздействию повышенных температур.

Проект/методология/подход

Температура воздействия, расположение поперечной ограничивающей арма-

туры, а также степень предварительного напряжения являлись переменными в испытании. Была разработана и реализована экспериментальная программа, включающая испытания ограниченных ободом бетонных цилиндрических образцов, подвергнутых воздействию повышенных температур в диапазоне от комнатной температуры до 900 °С.

Результаты исследований

Результаты испытаний показывают, что остаточная прочность, деформация, соответствующая пиковому напряжению, а также постпиковые деформации ограниченного бетона существенно не изменяются вплоть до температуры воздействия 300 °С. Однако пиковое ограниченное напряжение снижается, а соответствующая деформация значительно возрастает в диапазоне температур от 600 до 900 °С. Показано, что увеличение степени ограничительного армирования приводит к повышению остаточной прочности и деформируемости предварительно напряженного ограниченного бетона.

Исследовательские ограничения/последствия

Применимы при определении остаточной прочности и деформации предварительно напряженного ограниченного бетона при одноосном сжатии после воздействия повышенной температуры.

Практические последствия

Практическое значение заключается в том, что результаты испытаний применимы для определения остаточной прочности предварительно напряженного ограниченного бетона при одноосном сжатии после воздействия повышенной температуры.

Социальные последствия

Основной целью настоящего исследования является получение экспериментальных данных об остаточном поведении предварительно напряженного ограниченного бетона при воздействии высоких температур.

Оригинальность/ценность

Результаты данного исследования могут быть полезны при разработке методических рекомендаций по проектированию ограничительной арматуры железобетонных колонн для случаев комбинированного воздействия землетрясения и пожара, а также при проектировании схем реконструкции после этих катастроф, следующих друг за другом.

Ключевые слова: *повышенная температура, остаточная прочность, пластичность, напряженно-деформированное состояние, ограниченный бетон, предварительно напряженный*

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО ПОВЕДЕНИЯ, ЖЕСТКОСТИ И ТЕРМОСИЛЫ СТАЛЬНЫХ, БЕТОННЫХ И КОМПОЗИТНЫХ БАЛОК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЖАРА

Ричард Уоллс, Селеста Вильжоен, Хенни де Клерк (ЮАР)

Цель

Целью настоящей работы является проведение параметрического исследования поведения стальных, бетонных и композитных балок, подвергающихся воздействию огня. Это исследование дает представление о прочностных свойствах элементов, подвергнутых тепловым и механическим нагрузкам, тем самым иллюстрируя причины наблюдаемого поведения конструкции в целом и определяя,

как выбранные конструктивные параметры влияют на полученные результаты. В частности, рассматривается характер нелинейного нагрева/теплового изгиба.

Проект/методология/подход

Для балок, на которые воздействуют различные режимы горения или входные значения, строятся графики поперечных напряжений и деформаций, результирующих термосил, изгибной жесткости, а также осевой жесткости и прогибов. Показано влияние изменения входных параметров на свойства сечения балки. В связи с изменениями тепловых градиентов, растяжимости бетона, стандартного времени воздействия огня, а также предполагаемой ширины бетонных фланцев композитных балок выявлены необычные структурные отклики, локализованные эффекты и общие тенденции.

Результаты исследований

Приведены графики напряженно-деформированного состояния, характеризующие перекрестные прочностные свойства, тенденции изменения свойств балки и влияние конструктивных параметров. Объясняется некоторое противоречивое поведение, например, повышенная жесткость элементов компенсируется повышенными тепловыми эффектами, что приводит к тому, что данный параметр оказывает незначительное влияние на глобальное поведение, но оказывает значительное влияние на локальные напряжения и деформации. Повышенная прочность бетона может привести к увеличению тепловых деформаций, в то время как добавление растягивающей способности бетона обычно оказывает минимальное влияние.

Исследовательские ограничения/последствия

Исследование фокусируется на свойствах поперечного сечения, хотя полученные результаты иллюстрируют, как это влияет на глобальное поведение.

Практические последствия

Инженеры-конструкторы осведомлены о том, как выбранные входные значения влияют на прогнозируемый отклик конструкции. Кроме того, можно определить локализованное поведение напряжений и деформаций по отношению к приложенным нагрузкам и тепловым воздействиям.

Оригинальность/ценность

Эта статья дает новое представление (иногда трудное для понимания) о поведении балок, подвергающихся воздействию огня, подчеркивая тенденции и влияние важных входных параметров на прогнозируемую реакцию.

Ключевые слова: *волокно, целевое исследование композитной балки, поперечная жесткость, огнеупорный балочный элемент (ОБЭ), параметрическое исследование, результирующие тепловые нагрузки, композит, сталь, бетон*

ВИРТУАЛЬНОЕ ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ БАЛОК СО СТЕРЖНЕВЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЖАРА

Мустесин Али Хан (Великобритания), Лиминг Цзян (Гонконг), Кэтрин Энн Кэшелл (Великобритания),
Асиф Усмани (Гонконг)

Цель

Перфорированные композитные балки все чаще используются при строительстве зданий, поскольку могут обеспечить конструктивно и экономически эффективное проектное решение. Целью данной работы является изучение поведения ограниченных перфорированных балок, которые комплексно взаимодействуют

с профилированной плитой и подвергаются воздействию пожара. Влияние окружающей конструкции на композитную перфорированную балку включено в настоящее исследование с применением виртуальной гибридной системы моделирования. Разработанная система также может быть использована для анализа других конструктивных элементов при пожаре.

Проект/методология/подход

Конечно-элементная модель разрабатывается с использованием программ OpenSees и OpenFresco с применением метода виртуального гибридного моделирования, а точность модели проверяется с использованием доступных данных испытаний на огнестойкость. Ратифицированная модель используется для исследования влияния некоторых наиболее важных параметров, таких как степень осевого и вращательного ограничений, расположение отверстий и воздействие различных видов пожара на противопожарные характеристики композитных перфорированных балок.

Результаты исследований

Показано, что как осевое, так и вращательное ограничение оказывает значительное влияние на характер смещения во времени, а также пожарные характеристики композитной перфорированной балки. Установлено, что скорость нагрева и последующий рост повышенной температуры сечения оказывают существенное влияние на пожарные характеристики композитных перфорированных балок.

Оригинальность/ценность

Данная статья позволит расширить знания читателей о моделировании поведения целой системы при пожарном проектировании сооружений. Кроме того, представленный подход может быть использован для анализа различных типов конструктивных элементов в условиях пожара.

Ключевые слова: *OpenFresco, перфорированные балки, OpenSees, виртуальное гибридное моделирование*

Материал подготовили:

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