

Ройтман В. М. профессор, доктор технических наук, ФГБОУ ВПО "МГСУ"
Габдулин Р.Ш. руководитель отдела технологий огнезащиты ООО «СтройЗащита»
Щербина С. В. магистрант ИФО ФГБОУ ВПО "МГСУ"

Повышение огнестойкости железобетонных конструкций с помощью тонкослойных огнезащитных покрытий

Аннотация

Рассматриваются особенности формирования огнезащитного эффекта вспучивающихся при нагреве тонкослойных покрытий, применительно к защите ими железобетонных конструкций.

Показана возможность и эффективность применения тонкослойных огнезащитных покрытий для повышения огнестойкости железобетонных конструкций

Введение

В последнее время наблюдается повышенный интерес к изучению возможностей повышения огнестойкости строительных конструкций с помощью, тонкослойных покрытий, вспучивающихся при нагреве в условиях пожара.

В работе рассмотрена возможность применения огнезащитных вспучивающихся покрытий для повышения огнестойкости не только для металлических, но и железобетонных конструкций. Развитие этих исследований привело к необходимости более подробного изучения особенностей формирования огнезащитного эффекта вспучивающихся покрытий и для случая защиты ими железобетонных конструкций.

В данной работе рассмотрены решения следующих задач:

1. Экспериментальное исследование особенностей прогрева при пожаре элементов железобетонных конструкций, защищаемых вспучивающимся покрытием и без него.
2. Оценка огнезащитной эффективности (ОЗЭ) вспучивающегося при нагреве тонкослойного покрытия железобетонных конструкций.
3. Изучение формирования слоя защитного вспучивающегося покрытия железобетонных конструкций методами компьютерного моделирования.

Методы и объекты исследования

Экспериментальные исследования проводились на специальных огневых установках. Огневое воздействие на плиту осуществлялось со стороны огнезащитного покрытия по режиму «стандартного» пожара [2,5]. За предельное состояние образца, при проведении испытаний, принималось достижение температуры на рабочей арматуре плиты, равной 500 °С.

Для оценки изменения толщины вспучивающегося слоя покрытия, во время проведения огневых испытаний, проводилась визуальная фиксация изменения положения наружной плоскости вспучивающегося покрытия, относительно выбранной неподвижной отметки, непосредственно в огневой камере печи.

Образцы испытанных железобетонных плит имели размеры 1100 x 1100 x 200 мм. Защитный слой бетона до рабочей арматуры 20 мм. Класс применяемого бетона В 60, плотностью 2300 кг/м³. Опытные образцы изготавливались по заводской технологии. Каркас плит собирался с применением арматуры периодического профиля АШ, сечением 10 мм – продольное армирование и проволока, сечением 5 мм – поперечное армирование. Для регистрации изменения температуры рабочей арматуры плиты во время огневого испытания, в процессе изготовления плит, на рабочую арматуру устанавливались термопары типа ХК. Плиты после распалубки, перед проведением огневых испытаний выдерживались при нормальных условиях в течение 100 дней. Влажность бетона, составила 3,4%. Часть образцов покрывалась огнезащитным вспучивающимся покрытием толщиной 2 мм.

Изучение формирования слоя защитного вспучивающегося покрытия железобетонных плит при их прогреве производилось также методом компьютерного

моделирования с помощью многофункционального программного комплекса «ANSYS» методом конечно-элементных расчетов.

Результаты исследований

Результаты экспериментальных исследований особенностей прогрева при пожаре железобетонных плит, защищенных вспучивающимся покрытием и без него, представлены на рисунке ниже.

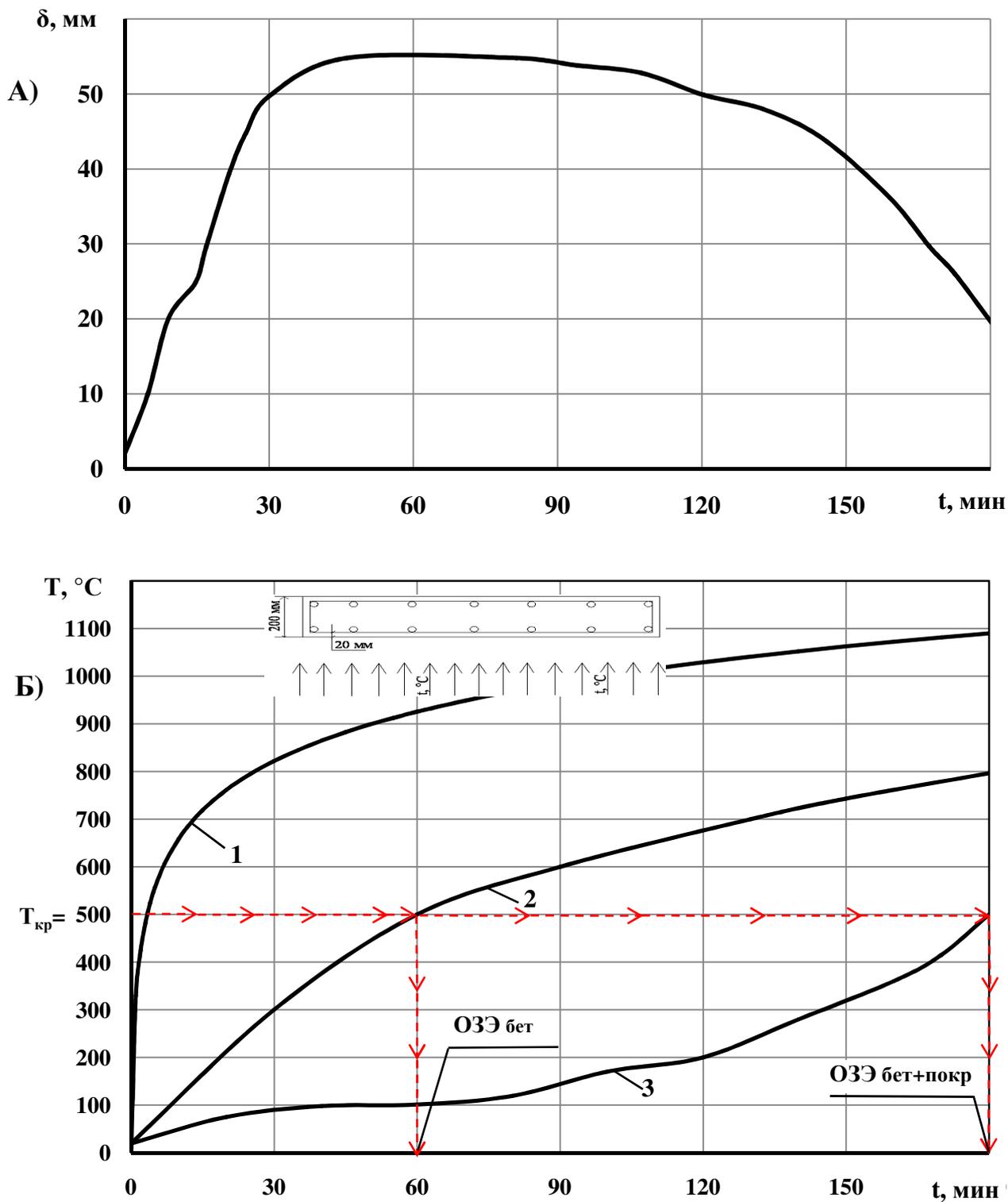


Рис. Результаты экспериментальных исследований огнезащитной эффективности (ОЗЭ) вспучивающихся покрытий железобетонных конструкций.

А) Изменение толщины слоя вспучивающегося покрытия железобетонной плиты в зависимости от времени воздействия «стандартного» пожара.

Б) Изменение температуры рабочей арматуры железобетонной плиты в зависимости от времени воздействия «стандартного» пожара.

1- температурный режим «стандартного» пожара;

2- прогрев рабочей арматуры плиты, не защищенной огнезащитным покрытием;

3- Прогрев рабочей арматуры плиты, защищенной вспучивающимся покрытием «Джокер М» толщиной 2 мм.

Необходимо, прежде всего, обратить внимание на визуально зафиксированные особенности формирования слоя вспучивающегося покрытия железобетонной плиты в условиях воздействия «стандартного» пожара (см. рис.А).

До воздействия пожара толщина слоя огнезащитного покрытия составляла всего 2 миллиметра. В процессе теплового воздействия по стандартному режиму (кривая 1 рис.Б) начинается процесс «вспучивания» тонкослойного огнезащитного покрытия. Это приводит к увеличению толщины огнезащитного покрытия до 50-55 мм к 50 минуте теплового воздействия (см. рис.А) и формированию пористой структуры слоя вспученного покрытия. Возникшая пористая структура имеет низкие значения коэффициента теплопроводности и высокое термическое сопротивление, что и определяет его огнезащитную эффективность.

Затем (рис. А) наблюдается стадия стабильного существования вспученного слоя защитного покрытия на поверхности защищаемой конструкции. Эта стадия продолжается с 50-ой до 80-ой минуты теплового воздействия (рис. А). На этой стадии нагрева образца, продолжающиеся процессы вспучивания менее прогретых слоев покрытия уравниваются начавшимся процессом разрушения поверхностных слоев защитного покрытия.

Последняя стадия эволюции вспучивающегося покрытия характеризуется уменьшением толщины вспученного слоя покрытия за счет преобладания процессов разрушения его структуры при дальнейшем повышении температуры прогрева. К 180-ой минуте теплового воздействия «стандартного» пожара, толщина слоя вспученного покрытия уменьшается до 20 мм., что составляет около 40% от максимальной толщины этого слоя (50—55 мм) (см. рис. 2а).

Отмеченные выше, стадии эволюции толщины вспученного слоя защитного покрытия, соответственно, влияют на особенности прогрева рабочей арматуры защищаемой железобетонной плиты и, в конце концов, определяют значение огнезащитной эффективности (ОЗЭ) покрытия.

Оценка огнезащитной эффективности (ОЗЭ) вспучивающегося при нагреве покрытия железобетонных конструкций проводилась по достижению температуры рабочей арматуры испытываемой плиты критического значения, равного 500°С. Момент времени, когда температура рабочей арматуры плиты во время огневых испытаний достигала значения 500°С, определял «огнезащитную эффективность» (ОЗЭ) покрытия конструкции.

Рассмотрение рис.2б (кривая 2) дает представление о том, что защитный слой бетона рабочей арматуры плиты имеет значение огнезащитной эффективности» (ОЗЭ) равное 60 мин.

При наличии защитного слоя бетона рабочей арматуры и вспучивающегося защитного покрытия на поверхности плиты значение «огнезащитной эффективности» (ОЗЭ) возрастает до значения 180 мин (см. кривую 3 рис.2б).

Если обозначить «огнезащитную эффективность» (ОЗЭ) защитный слой бетона рабочей арматуры плиты как $OZЭ_{бет}$, а суммарную «огнезащитную эффективность» защитного слоя бетона арматуры и вспучивающегося покрытия как $OZЭ_{бет+покр.}$, то «огнезащитная эффективность» вспучивающегося покрытия $OZЭ_{покр.}$ будет определяться из соотношения:

$$OZЭ_{покр.} = OZЭ_{бет+покр.} - OZЭ_{бет}$$

Значение «огнезащитной эффективности» вспучивающегося покрытия $OZЭ_{покр.}$, для конкретного огневого испытания, представленного на рис.3, таким образом, будет равно:

$$OZЭ_{покр.} = 180 \text{ мин.} - 60 \text{ минут} = 120 \text{ минут}$$

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что наличие защитного слоя бетона у рабочей арматуры элементов железобетонных конструкций, по температуре которой предлагается фиксировать «огнезащитную эффективность» (ОЗЭ) вспучивающихся

и других покрытий, создает дополнительный защитный эффект, который суммируется с огнезащитным эффектом вспучивающегося покрытия.

Суммарный защитный эффект вспучивающегося покрытия и защитного слоя бетона позволяет повышать огнестойкость железобетонных конструкций до величин 180 минут и более. Это дает возможность отказаться от неэффективного и дорогостоящего увеличения рабочего сечения несущих железобетонных конструкций для обеспечения их необходимой огнестойкости при проектировании высотных, уникальных и особо ответственных объектов.

В силу достаточно упрощенной и приблизительной визуальной фиксации изменения толщины слоя вспучивающегося покрытия железобетонных конструкций во время их огневых испытаний, особенности формирования слоя этого вспучивающегося покрытия при прогреве дополнительно исследовались с помощью методов компьютерного моделирования с применением программного комплекса «ANSYS» .

В процессе этих исследований проводилась оценка вклада различных факторов (изменения теплофизических характеристик материалов от температуры нагрева, степени черноты поверхностей обогреваемой конструкции, влажности бетона, динамики изменения толщины вспучивающегося слоя покрытия и др.) на характер прогрева рабочей арматуры железобетонных плит – показателя, определяющего «огнезащитную эффективность» покрытия.

Компьютерное моделирование реализовывалось путем введения значений перечисленных выше факторов, с учетом различных вариантов их переменности в рассматриваемых условиях, в математическую модель задачи, реализуемую с помощью программного продукта «ANSYS»

Путем последовательного введения различных итераций кривой эволюции вспучивающегося покрытия при прогреве железобетонной плиты, удалось уточнить динамику формирования и деструкции слоя вспучивающегося покрытия, по сравнению с приблизительной, визуальной оценкой во время огневых испытаний [4].

Это означает, что, в реальности, деструкции вспученного слоя происходила быстрее, чем это было приблизительно зафиксировано при огневых испытаниях, что могло приводить к недооценке реальной опасности пожара.

Выводы

1. Выявлены особенности формирования огнезащитного вспучивающегося покрытия, применительно к защите ими железобетонных конструкций.
2. Показано, что наличие защитного слоя бетона у рабочей арматуры элементов железобетонных конструкций, по температуре которой предлагается фиксировать огнезащитную эффективность вспучивающихся и других покрытий, создает дополнительный защитный эффект, который суммируется с огнезащитным эффектом вспучивающегося покрытия.
Суммарный защитный эффект вспучивающегося покрытия и защитного слоя бетона позволяет повышать огнестойкость железобетонных конструкций до величин 180 минут и более. Это позволяет отказаться от неэффективного и дорогостоящего увеличения рабочего сечения несущих железобетонных конструкций при проектировании высотных, уникальных и особо ответственных объектов.
3. Компьютерное моделирование особенностей формирования слоя вспучивающегося защитного покрытия железобетонных конструкций при воздействии пожара позволило уточнить результаты визуальных наблюдений этого процесса во время огневых испытаний, которые приводили к недооценке опасности пожара.
4. Показана возможность и эффективность применения методов компьютерного моделирования, на основе современных программных комплексов, не только для изучения особенностей формирования защитного вспучивающегося покрытия железобетонных конструкций, но и для перехода к экспериментально – расчетной и расчетной оценке огнезащитной эффективности различных огнезащитных покрытий строительных конструкций.

