

ОГНЕЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

АЛЕКСЕЙ АБРАМОВ

Руководитель
испытательного
центра „ТЕСТ“
firetest.com.ua



Во время строительства зданий и сооружений широко применяются стальные строительные несущие конструкции. Наряду со значительными конструктивными преимуществами они имеют существенный недостаток – низкую огнестойкость.

Стальные несущие строительные конструкции имеют существенный недостаток – низкую огнестойкость

Во время пожара с повышением температуры прочностные харак-

теристики стали значительно снижаются. На рис. 1 показаны зависимости коэффициентов снижения прочности стали от температуры, которые приведены в ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 “Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие положения. Расчет конструкций на огнестойкость”.

Практически при нагреве больше 500 – 600 °С стальные конструкции теряют несущую способность, а при температуре 700 – 800 °С обрушаются под собственным весом. Поэтому в качестве основной критической (про-

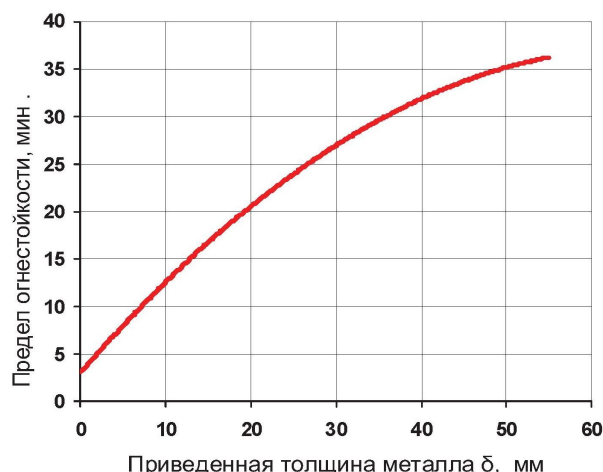


Рис. 2. Зависимость предела огнестойкости незащищенной стальной конструкции от её приведенной толщины δ .

ектной) температуры согласно ДСТУ Б В.1.1-4 -98* “Защита от пожара. Строительные конструкции. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования” принята температура 500 °С. В настоящее время ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 вводит дифференциальный подход к определению критической температуры. Так, самонесущие и недолуженные стальные конструкции могут сохранять свою несущую способность и при температуре 650 °С, несущая способность нормальнонагруженных конструкции (с нормативным коэффициентом запаса) сохраняется при 500 – 550 °С, перегруженные конструкции могут терять несущую способность уже при 400 – 450 °С. Например, в Англии приняты две критические температуры 550 °С и 620 °С.

Огнестойкость стальной незащищенной конструкции зависит от её приведенной толщины (см. рис. 2). Приведенная толщина определяется отношением площади поперечного сечения конструкции к её обогреваемому периметру. Реально в строительстве применяются конструкции с приведенной толщиной не более 24 мм.

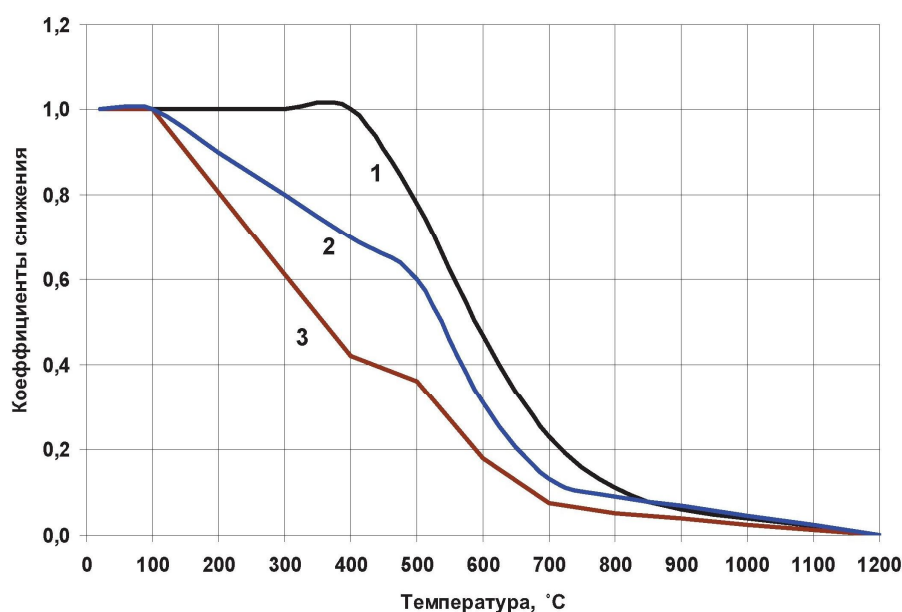


Рис. 1. Снижение прочности стали при нагреве:

1 – коэффициент снижения предела текучести; 2 – коэффициент снижения предела пропорциональности; 3 – коэффициент снижения модуля упругости.

Таблица. 1

Степень огнестойкости здания	Минимальные классы огнестойкости стальных конструкций	Название раздела	Название раздела	Название раздела
	Колонны	Стальные несущие конструкции лестничных площадок и маршей	Стальные несущие конструкции перекрытий	Балки, фермы, арки, рамы покрытий
I	R150	R 60	R 60	R 30
II	R 120	R 60	R 45	R 30
III	R 120	R 60	R 45	Не нормируется
IIIa	R 15	R 15	R 15	R 15
IVa	R 15	R 15	R 15	R 15
V	Не нормируется			

Стальные несущие конструкции по огнестойкости делятся на классы R 15, R 30, R 45, R 60, R 90, R 120, R150, R180. Буквенное обозначение R означает предельное состояние конструкции по потере несущей способности. Цифровое обозначение – предел огнестойкости, который определяется в минутах от начала огневого воздействия по стандартному температурному режиму до достижения критической температуры металла (для стальных конструкций).

Общие требования к классам (пределам) огнестойкости строительных конструкций приведены в ДБН В.1.1-7-2002* "Защита от пожара. Пожарная безопасность объектов строительства". Для стальных конструкций эти требования можно представить в виде таблицы 1. Из нее видно, что в зданиях и сооружениях I – III степени огнестойкости применение незащищенных стальных конструкций невозможно. В случае, когда нормативный класс огнестойкости конструкции составляет R 15 (RE 15, REI 15), допускается применение незащищенных стальных конструкций не зависимо от их фактического предела огнестойкости (п. 4.40 ДБН В.1.1-7-2002*). Поэтому в зданиях степени огнестойкости IIIa, IVa и V, стальные конструкции могут применяться без огнезащиты, за исключением случаев обусловленных в нормативной документации.

Основными подходами для обеспечения нормативного предела огнестойкости стальных строительных конструкций (колон, балок, ферм, козлов и т.п.) являются:

- нанесение на их поверхность огнезащитных покрытий и облицовок;

- применение огнезащитных экранов и подвесных потолков;

- заполнение пустотелых стальных конструкций теплоносителем, например водой.

Вариант с заполнением пустотелых стальных конструкций теплоносителем предусматривает обеспечение прокачки носителя в случае пожара. Этот вариант дорогостоящий и широко не применяется.

В качестве облицовок применяют различные плитные, минераловатные материалы и огнезащитные штукатурки. На рис. 3 приведены графики повышения температуры стальных колон двутаврового сечения профиля № 20, которые облицованы гипсокартонном, минераловатными плитами и огнезащитной штукатуркой. При применении в качестве огнезащитной облицовки материалов, которые содержат естественную и химически связанную воду (гипсокартон, штукатурки), стальная конструкция за несколько минут нагревается до температуры около 100 °С. Потом температура находится на этом уровне определенное время и после удаления влаги из облицовочного материала начинает повышаться.

Огнестойкость стальной конструкции, которая облицована минераловатными плитами, может быть повышена не только увеличением защитного слоя, но и за счет приме-

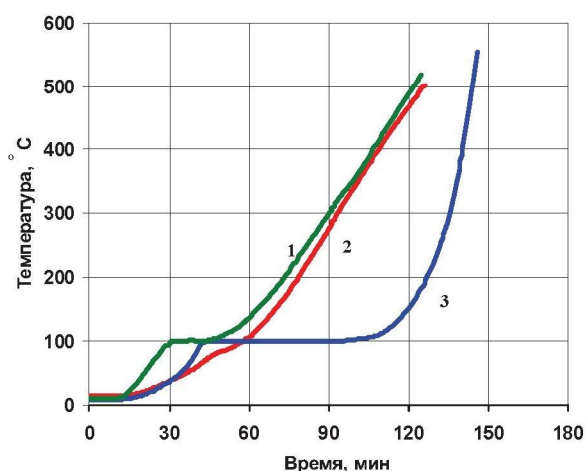


Рис. 3 Зависимости изменения температуры стальных колон приведенной толщиной 3,4 мм (двутавр №20) в условиях температурного режима стандартного пожара, которые облицованы:

1 - огнезащитной штукатуркой толщиной 30 мм;
2 - минераловатными плитами (плотность 165 кг/м³) толщиной 90 мм; 3 - гипсокартонными плитами толщиной 50 мм (четыре плиты по 12,5 мм)

ния плит с большей плотностью. Нагрев конструкций с такой облицовкой идет монотонно.

Как видно из выше сказанного, за счет применения облицовки можно получить значительные пределы огнестойкости стальных конструкций до 180 минут и выше.

За счет облицовки можно получить значительные пределы огнестойкости стальных конструкций до 180 минут и выше

Огнезащитные облицовки применяются, когда необходимо получить предел огнестойкости более 60 мин (см. таблицу 1). Оценка эффективности огнезащитных облицовок проводится в основном в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-13:2007 "Защита от

пожара. Балки. Метод испытаний на огнестойкость" (EN 1365-3:1999, NEQ) и ДСТУ Б В.1.1-14:2007 "Защита от пожара. Колонны. Метод испытаний на огнестойкость" (EN 1365-4:1999, NEQ). К сожалению, эти стандарты не всегда позволяют по полученным во время испытаний результатам строить интерполяционные зависимости для разных значений приведенных толщин металла, толщин облицовки и критических температур.

Для защиты несущих стальных конструкций междуэтажных перекрытий могут применяться огнезащитные подвесные потолки, которые изготавливаются с помощью плитных материалов. Фактически подвесные потолки это – горизонтальная подвесная облицовка. Испытания огнезащитных подвесных потолков проводятся в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-9:2003 "Защита от пожара. Подвесные потолки. Метод испытаний на огнестойкость" (EN 1364-2:1999, NEQ).

Несмотря на то, что за счет огнезащитных облицовок можно существенно повысить огнестойкость металлических конструкций, применение их не всегда возможно и целесообразно из-за их высокой стоимости и массы, например, для



Фото 1. Вид колонны с огнезащитным вспучивающимся покрытием до и после проведения испытаний

огнезащиты конструкций с небольшим пределом огнестойкости.

Для огнезащиты стальных несущих конструкций, нормируемый предел огнестойкости которых не превышает 60 минут, рационально

применение огнезащитных красок (покрытий), которые терморасширяются (вспучиваются).

Для огнезащиты стальных несущих конструкций, нормируемый предел огнестойкости которых не превышает 60 минут, рационально применение огнезащитных красок (покрытий), которые терморасширяются (вспучиваются)

Принцип действия таких покрытий заключается в том, что при воздействии температуры покрытие начинает вспучиваться, послойно двигаясь навстречу огню. Толщина слоя вспученного материала увеличивается в несколько раз, тем самым защищая конструкцию от нагрева (см. фото). Вспучивание происходит с поглощением тепла (присутствуют эндозэффекты).

Условно, процесс действия огнезащитного вспучивающегося покрытия (краски) во время пожара можно поделить на три этапа (см. рис.4, 5):

- на первом этапе нагрев металла происходит монотонно до температуры 200 ± 50 °С. Покрытие в плотном состоянии работает как изолятор;

- на втором этапе, который продолжается до температуры металла ~ 400 °С, происходит вспучивание покрытия. В процессе вспучивания происходит его термическое разложение с поглощением тепла, а наружные более нагретые слои вспученного слоя "отодвигаются" от металла;

- на третьем этапе вспученный слой покрытия работает как изолятор. Нагрев металла ускоряется.

Огнезащитные вспучивающиеся материалы, как правило, наносятся слоем до 2 мм (кроме материалов с небольшим коэффициентом вспучивания). На рис. 6 приведены характерные графики зависимостей огнестойкости стальной конструкции с вспучивающимся огнезащитным покрытием от его толщины при разных приведенных толщинах стали. Как видно из графиков, для вспучивающегося покрытия существует критическая толщина нанесения, которая зависит от вида покрытия и приведенной толщины металла, на который оно нанесено. При нанесении слоя большей толщиной, чем критическая, огнестойкость умень-

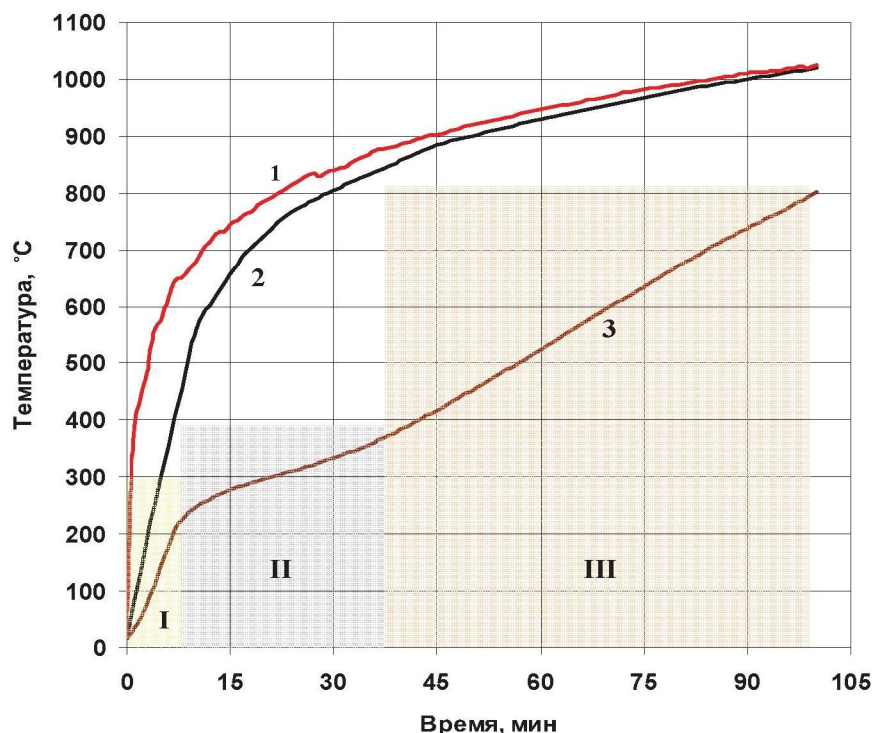


Рис. 4 Характерный график нагрева стальной колонны (приведенная толщина 4,3 мм): 1 - температура в печи; 2 - температура колонны без огнезащиты; 3 - температура колонны с огнезащитным вспучивающимся покрытием толщиной 1,4 мм

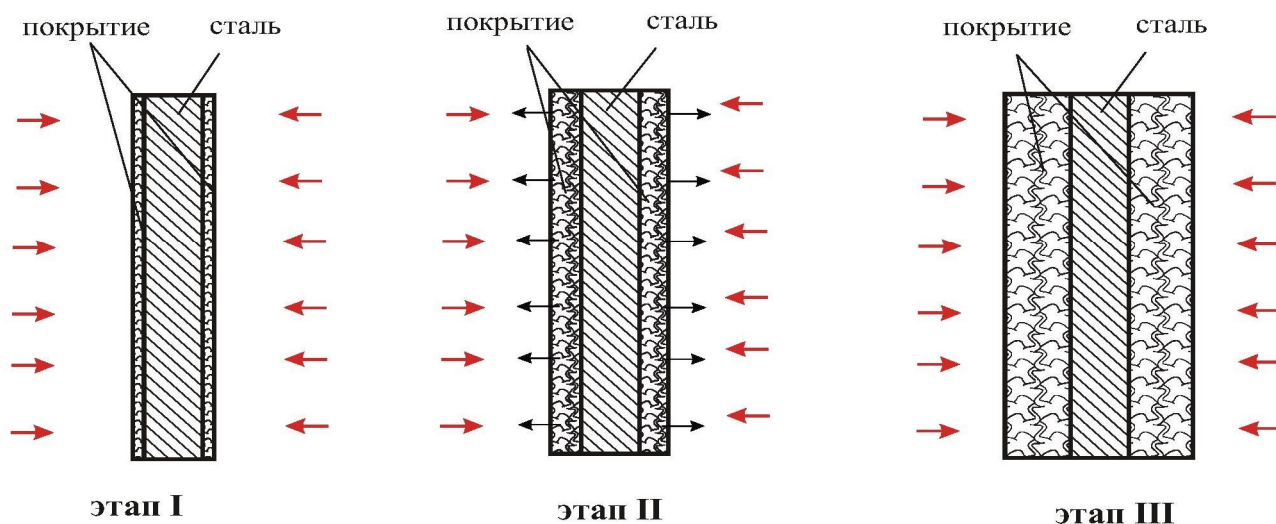


Рис. 5 Этапы "работы" вспучивающегося огнезащитного покрытия

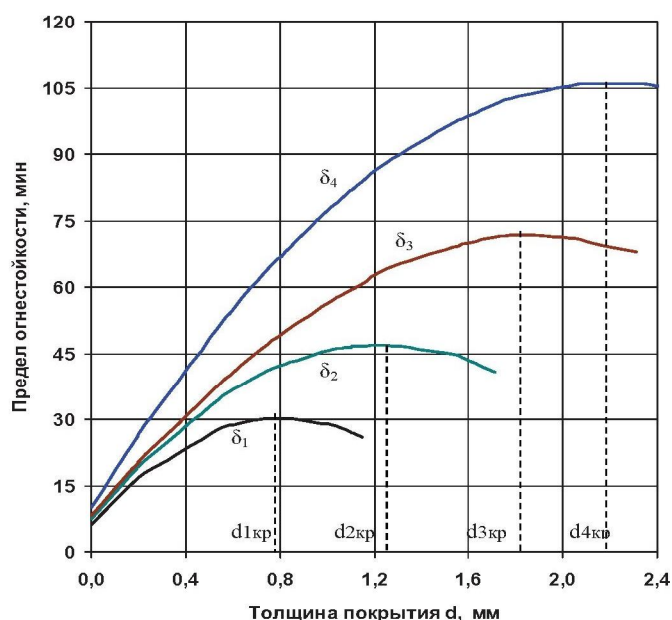


Рис. 6 Характерный вид зависимостей огнестойкости стальной конструкции с вспучивающимся огнезащитным покрытием от его толщины при разных приведенных толщинах металла $\delta_1=2,4$ мм, $\delta_2=3,7$ мм, $\delta_3=4,4$ мм, $\delta_4=8,1$ мм,

шается. Это обуславливается тем, что при больших толщинах нанесения вспученный слой начинает обрушаться за счет гравитационных сил и конвективных потоков, которые возникают во время пожара. То есть, механическое увеличение толщины вспучивающегося огнезащитного покрытия может не привести к повышению предела огнестойкости конструкции.

Необоснованное увеличение толщины вспучивающегося огнезащитного покрытия может не привести к повышению предела огнестойкости конструкции

краски, быстро прогреваются и теряют устойчивость (разрушаются). Для их защиты применяют минераловатные или плитные материалы.

Огнезащитные вспучивающиеся краски (покрытия) не применяются для защиты стальных воздуховодов

Огнестойкость конструкций с огнезащитным вспучивающимся покрытием больше зависит от приведенной толщины конструкции, в отличие от конструкций с огнезащитной облицовкой. Это связано с тем, что теплоемкость металла конструкции и облицовки вели-

чины одного порядка, а теплоемкость вспучивающегося тонкого покрытия существенно меньше. Значение критической толщины нанесения тем меньше, чем меньше приведенная толщина конструкции. Поэтому огнезащитные вспучивающиеся краски не применяются для защиты стальных несущих конструкций, которые выполняются из листового металла, например, воздуховодов. Воздуховоды имеют малую приведенную толщину металла (0,5 – 0,9 мм)

и при огневом воздействии, независимо от типа и толщины

краски, быстро прогреваются и теряют устойчивость (разрушаются). Для их защиты применяют минераловатные или плитные материалы. Значение критической толщины нанесения тем меньше, чем меньше приведенная толщина конструкции. Поэтому огнезащитные вспучивающиеся краски не применяются для защиты стальных несущих конструкций, которые выполняются из листового металла, например, воздуховодов. Воздуховоды имеют малую приведенную толщину металла (0,5 – 0,9 мм)

ны одного порядка, а теплоемкость вспучивающегося тонкого покрытия существенно меньше. К недостаткам вспучивающихся покрытий (красок) можно отнести их ограниченный срок хранения в жидком (пастообразном) состоянии (не больше 1 года). При больших сроках хранения они теряют свои свойства. Вместе с тем, нанесенные на стальные конструкции вспучивающиеся покрытия в затвердевшем состоянии могут сохранять свои огнезащитные свойства десятки лет. Оценка огнезащитной способности вспучивающихся покрытий, как и облицовок, может быть проведена в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-17:2007 "Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных металлических конструкций. Метод определения огнезащитной способности" (ENV 13381-4:2002, NEQ). Этот стандарт предполагает испытание не менее 15 образцов стальных конструкций разной приведенной толщиной (колонны высотой 1 и 2 м, балки длиной 1 м и балки длиной ~ 4,7 м под нагрузкой). Несмотря на определенную сложность этого метода, он позволяет методами регрессионного анализа получить математическую зависимость предела огнестойкости конструкции для разных значений её приведенной толщины, толщины покрытия и критических температур. На рис. 7 приведено графическое представление фрагмента такой зависимости для конкретного вспучивающегося покрытия при критической температуре 500 °С.

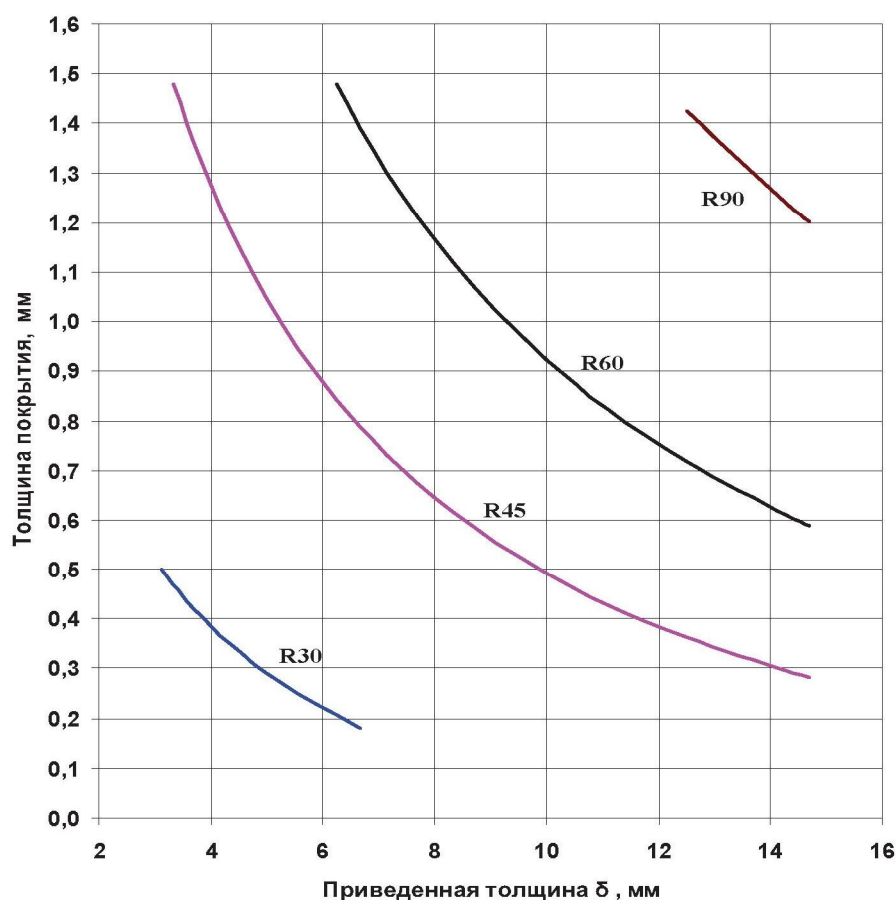


Рис. 7 Характерные зависимости толщины вспучивающегося покрытия и приведенной толщины металла для разных значений огнестойкости при проектной (критической) температуре 500 °С

Создание огнезащитных вспучивающихся покрытий требует фундаментальных знаний в области пожарной безопасности (пожароопасных свойствах веществ и материалов, поведения строительных конструкций при высокотемпературном воздействии), химии полимерных материалов, теплофизики и особенностей тепло-массопереноса материалов в условиях повышенных температур.

К сожалению, к нам иногда приносят протоколы испытаний образцов металлических конструкций, покрытых вспучивающимися материалами, которые получены в некоторых российских испытательных лабораториях. Приведенные в них графики нагрева стали противоречат физическому смыслу поведения вспучивающихся покрытий. Такие протоколы в Украине не рассматриваются.

Комплекс испытаний огнезащитных покрытий проведенных в испытательном центре ТЕСТ (г. Бровары, Киевская обл.) позволяет сделать некоторые заключения:

– лучшие образцы огнезащитных вспучивающихся покрытий, которые производятся в мире (Украине, России, Европе) по эффективности находятся на одном уровне. Некоторое улучшение эффективности (уменьшение толщины нанесения) для класса огнестойкости R30 приводит к ухудшению эффективности этого покрытия для класса огнестойкости R 60 и наоборот;

– возможно создание вспучивающегося покрытия, которое обеспечит класс огнестойкости R30 для конструкции приведенной толщиной 3,4 мм (характерный профиль, двутавр № 20) при толщине нанесения 0,4 мм. Это покрытие должно иметь большой коэффициент вспучивания (70-80 см³/г, см. ниже). Однако такое покрытие не позволит получить класс огнестойкости R 45 и R 60 даже для конструкций с приведенной толщиной 6-7 мм;

– возможно создание вспучивающегося покрытия (с низким коэффициентом вспучивания), которое обе-

спечит класс огнестойкости R 120 для приведенных толщин металла не менее 7 мм и толщине покрытия 4-6 мм;

– для минимизации расхода огнезащитного материала целесообразно иметь в распоряжении два типа вспучивающихся покрытий, одно из которых предназначено для обеспечения классов огнестойкости R 30 и R 45, а другое для классов огнестойкости R 60 и выше.

Контроль качества огнезащитного вспучивающегося покрытия, которое нанесено на объекте, возможно осуществить в соответствии с ДСТУ-Н-П В.1.1-29:2010 “Защита от пожара. Огнезащитная обработка строительных конструкций. Общие требования и методы контроля” путем определения объемного коэффициента вспучивания этого покрытия снятого с конструкций в количестве нескольких грамм. При этом значение объемного коэффициента вспучивания не должно быть ниже 80 % значения полученного во время проведения сертификационных испытаний этого покрытия.

Объемный коэффициент вспучивания (см³/г) - удельный объем огнезащитного материала во вспученном состоянии, который образовался из навески материала определенной массы под воздействием повышенной температуры 340 °С на протяжении 20 мин.

Оценку срока сохраняемости свойств нанесенного на стальную конструкцию вспучивающегося покрытия можно провести путем испытаний по ДСТУ-Н-П В.1.1-29:2010. Для этого во время испытаний при стандартном температурном режиме определяют время достижения критической температуры 500 °С одинаковых стальных пластин, на одни из которых нанесено свежее огнезащитное покрытие, а другие подвержены ускоренным климатическим испытаниям, которые имитируют срок службы покрытия. Значение времени достижения критической температуры на пластине, которые не подвергались климатическому воздействию, не должно превышать более чем на 10 % значения времени полученному на пластине, которые были подвергнуты климатическому воздействию.