

РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ELCUT 6.3

Д.А. Минкин, кандидат технических наук;

А.С. Константинова.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрено влияние локальных повреждений огнезащитного покрытия на предел огнестойкости металлической конструкции, проведен сравнительный анализ различных видов повреждений на основании моделирования температурного поля внутри сечения конструкции с помощью программного комплекса ELCUT 6.3.

Ключевые слова: огнестойкость, огнезащита, металлическая конструкция, ELCUT 6.3

CALCULATION OF THE INFLUENCE OF LOCAL DAMAGE OF FIRE RETARDANT COATING FOR FIRE RESISTANCE OF STEEL STRUCTURES USING SOFTWARE COMPLEX ELCUT 6.3

D.A. Minkin; A.S. Konstantinova.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article considers the influence of local damage of fire retardant coating for fire resistance of metal structures, a comparative analysis of various types of damage based on the simulation of the temperature field within the cross section of the design with the help of software complex ELCUT 6.3.

Keywords: fire resistance, fire protection, steel structure, ELCUT 6.3

Предел огнестойкости строительной конструкции оказывает непосредственное влияние на возможное время эвакуации людей в случае пожара и, следовательно, на их безопасность, сохранение жизни и здоровья. Ошибочное определение предела огнестойкости строительной конструкции, значительное расхождение теоретических данных с фактическими показателями может повлечь за собой катастрофические последствия.

Реальные вариации состояния строительных конструкций слишком многообразны, чтобы все их можно было описать какими-либо стандартными закономерностями с достаточной точностью. Однако, имея в распоряжении современные программные средства, целесообразно использовать их для обеспечения как можно более точного прогнозирования развития опасных факторов пожара для каждого конкретного случая.

Целью исследования, которому посвящена данная статья, являлось определение влияния размера локального повреждения огнезащитного покрытия на режим прогрева стальной строительной конструкции в условиях пожара и предел ее огнестойкости с помощью моделирования изменения температурного поля по сечению конструкции с применением программы ELCUT 6.3.

Задачами исследования являлись:

- выделение наиболее типичных повреждений огнезащитного покрытия;
- сравнение пределов огнестойкости металлической конструкции, защищенной огнезащитным покрытием, и не покрытой огнезащитными составами;

- сравнение температурных режимов прогрева металлической конструкции, защищенной неповрежденным огнезащитным покрытием и покрытием, имеющим локальное повреждение;
- выработка рекомендаций для сотрудников контролирующих органов.

Огнестойкость характеризует способность строительной конструкции сопротивляться воздействию пожара, сохраняя при этом свои эксплуатационные функции (несущую или ограждающую способность). Параметром огнестойкости является предел огнестойкости, то есть время в минутах от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного или нескольких признаков предельных состояний, нормируемых для данной конструкции:

- потеря несущей способности (R);
- потеря целостности (E);
- потеря теплоизолирующей способности (I).

Требования к огнестойкости строительных конструкций установлены в нормативных документах по пожарной безопасности (СП 2.13130.2012, СП 4.13130.2013) и зависят от ряда факторов, таких как класс функциональной пожарной опасности здания, высота, этажность, площадь пожарного отсека, опасность происходящих в помещении технологических процессов и других. Предел огнестойкости конструкций оказывает непосредственное влияние на требуемое время эвакуации людей в случае пожара.

На огнестойкость строительной конструкции оказывают влияние материал, из которого она сделана, площадь ее поперечного сечения, геометрические параметры конструкции, а также наличие, вид и состояние огнезащитных покрытий.

В настоящей статье рассмотрены особенности огнестойкости металлических конструкций. Металл находит широкое распространение в практике строительства благодаря таким качествам, как высокая прочность, долговечность, способность воспринимать значительные нагрузки, удобство монтажа, сравнительная легкость (по сравнению с железобетонными конструкциями), транспортабельность, удобство в эксплуатации, ремонте и возможности реконструкции в случае необходимости. Вместе с тем, металлические конструкции обладают рядом недостатков, к которым относятся подверженность коррозии и низкая огнестойкость при температурах выше 400 °С для сталей и выше 200 °С для алюминиевых сплавов. В среднем предел огнестойкости стальных конструкций составляет 15 мин.

При расчете предела огнестойкости металлических конструкций необходимо решить две задачи: статическую – определение критической температуры, и теплотехническую – определение времени прогрева конструкции до этой температуры.

Критическим значением температуры для различных марок стали считается 450–500 °С.

Огнестойкость строительных конструкций может быть существенно повышена путем применения различных огнезащитных покрытий. Каждый строительный материал имеет свои особенности нанесения таких покрытий.

Для защиты металлических конструкций могут использоваться следующие способы:

1. Облицовка несгораемыми материалами (бетонными плитками, керамическими материалами, штукатуркой, наносимой по металлической сетке) и т.д.
2. Нанесение огнезащитных покрытий – красок и обмазок.
3. Конструктивная огнезащита в виде огнезащитных теплоотражающих и теплоизолирующих экранов из базальтового рулонного полотна, минеральной ваты, покрытой фольгой и т.д.
4. Устройство защитных подвесных потолков – используется для защиты металлических конструкций, удерживающих покрытия (ферм), где непосредственная защита облицовками или огнезащитными покрытиями вызывает трудности из-за высокой трудоемкости и недостаточной надежности защиты узловых соединений.
5. Орошение металлических конструкций распыленной или тонкораспыленной водой.

6. Наполнение полых конструкций водой – данный способ относительно сложен в исполнении и используется, как правило, для защиты уникальных зданий.

Огнезащитные покрытия отнесены ст. 52 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности (123-ФЗ) [1] к одному из обязательных способов защиты людей и имущества от опасных факторов пожара (ОФП).

Расчеты в данной работе производятся с помощью программы ELCUT 6.3. ELCUT – это интегрированная программная система, позволяющая решать плоские и осесимметричные задачи различных типов, в том числе задачи нестационарной теплопередачи (тепловые переходные процессы).

Формулировка задачи в ELCUT основывается на уравнении теплопроводности с граничными условиями радиационного и (или) конвективного теплообмена.

При постановке задачи можно использовать такие возможности, как задание теплопроводности и теплоемкости материалов, зависящие от температуры; описание температуры греющей среды функциональной зависимостью от времени; задание источников тепловыделения различными способами и другие. В качестве результатов решения задачи выводятся температура, градиент температуры, плотность теплового потока и интегральные значения теплового потока через заданные поверхности, кроме того, для нестационарной задачи можно сформировать графики и таблицы изменения физической величины в зависимости от времени. Интегральный калькулятор программы может вычислять различные интегральные значения на любых заданных линиях и поверхностях [2].

Полное математическое описание конкретной задачи включает в себя дифференциальное уравнение теплопроводности, а также начальные и граничные условия (заданные параметры, которые определяют особенности протекания процесса теплопередачи на границах тела). Аналитическое решение такой задачи представляет трудности из-за громоздкости вычислений. Наиболее просто подобные задачи решаются методом конечных разностей, суть которого заключается в замене дифференциального уравнения теплопроводности его конечно-разностным аналогом, заменяя дифференциалы конечными приращениями – то есть поперечное сечение конструкции разбивается на n малых элементов, так же выбираются определенные временные интервалы, на момент которых будет производиться расчет [3].

В нашей задаче исходными данными являются:

- для греющей среды – закон изменения температуры по времени;
- коэффициент теплоотдачи, характеризующий интенсивность теплообмена между средой и поверхностью. В условиях пожара суммарный коэффициент теплоотдачи (по уравнениям конвективного и лучистого теплообмена) может быть вычислен по формуле:

$$\alpha_f = 11,63 \cdot e^{0,0023 \cdot t_f},$$

где α_f – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²*°C; t_f – температура над факелом пламени, °C.

– для материала балки и огнезащитного покрытия – коэффициент теплопроводности λ [Вт/м*K], удельная теплоемкость C [Дж/кг*K], плотность ρ [кг/м³].

В качестве демонстрации порядка работы с программой проведем расчет режима прогрева металлической двутавровой балки без покрытий и аналогичной балки, защищенной огнезащитным покрытием. В качестве исходных данных примем материал балки – сталь марки 20, плотность $\rho = 7850$ кг/м³, теплоемкость и теплопроводность задана функцией от температуры (рис. 1).

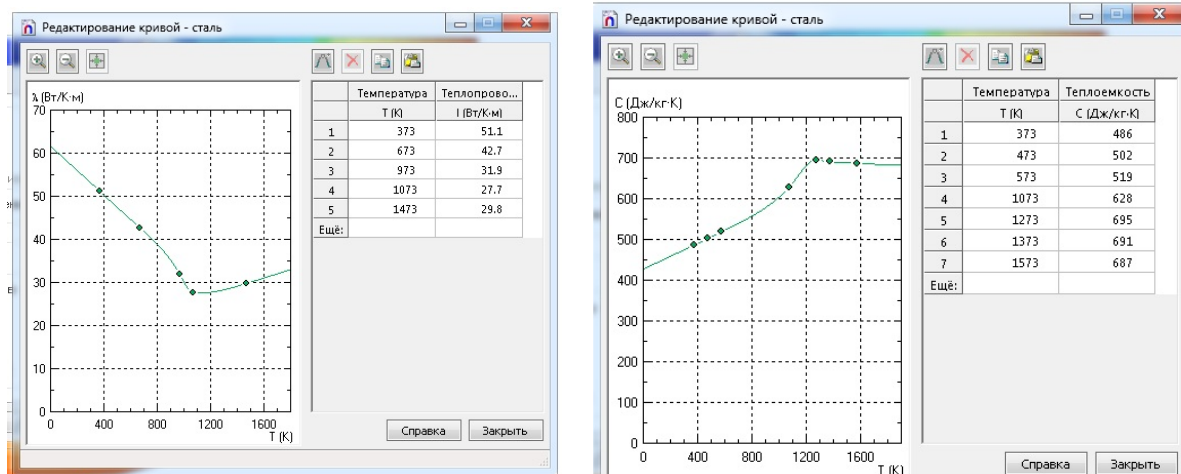


Рис. 1. Зависимости коэффициента теплопроводности и удельной теплоемкости от температуры

Зависимости данных показателей от температуры заданы согласно [4].

Температуру греющей среды зададим уравнением стандартного температурного режима, который определяется формулой (рис. 2).

$$T = 345 \cdot \lg(8\tau + 1) + T_{нач},$$

где T – температура среды в расчетный момент времени, К; τ – время пожара, мин;

$T_{нач}$ – начальная температура в помещении, К.

Далее задаем геометрические параметры балки. Размеры примем согласно [5], профиль 20Б1. Внесем в ELCUT 6.3 изображение поперечного сечения двутавра (поскольку сечение является симметричным, рассмотрим только левую половину). Изображение сечения и геометрические размеры представлены на рис. 3.

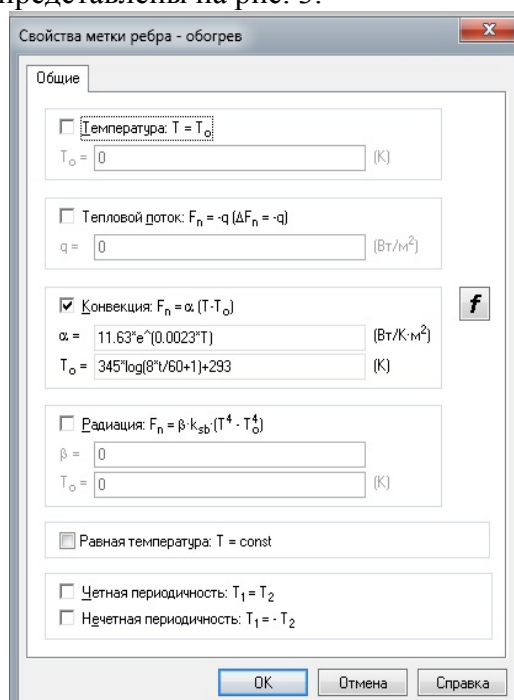


Рис. 2. Задание стандартного температурного режима и коэффициента теплоотдачи

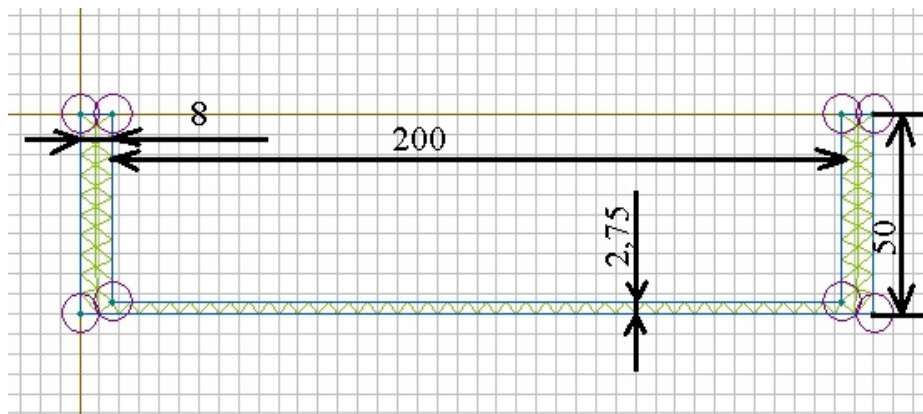


Рис. 3. Изображение сечения рассматриваемой балки в ELCUT 6.3

Произведем расчет температурного поля в сечении до момента достижения критической температуры. На графиках рис. 4 отображено распределение температуры на линии продольной оси двутавра на моменты времени шести и семи минут от начала прогрева.

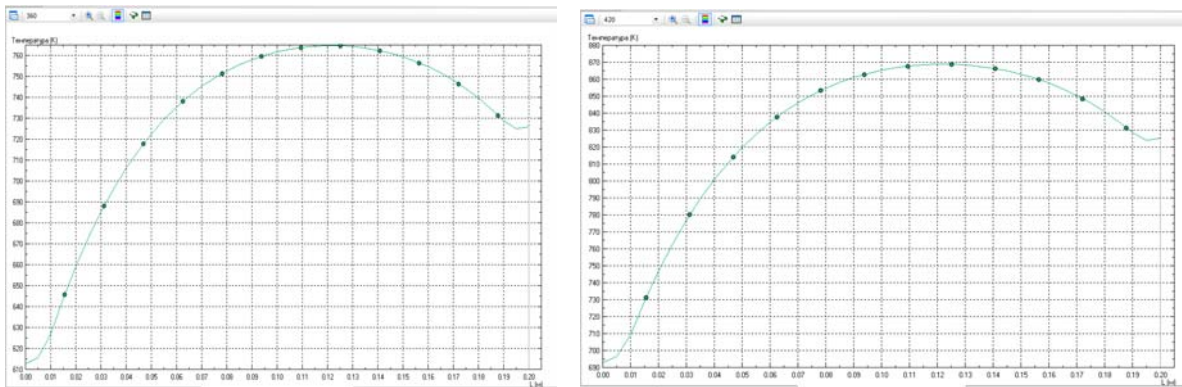


Рис. 4. Графики распределения температур по оси двутавра на моменты времени 6 и 7 мин

Как можно наблюдать из графиков, значение критической температуры по большей площади сечения достигается в промежутке от шести до семи минут прогрева.

Рассчитаем распределение температур внутри сечения той же балки при наличии огнезащитного покрытия. В качестве покрытия примем огнезащитную вспучивающуюся пасту ВЗО-9. Паста ВЗО-9 применяется для повышения огнестойкости металлических, пластмассовых и деревянных конструктивных элементов при воздействии пламени в течение не менее 15 мин.

Зададим характеристики защитного покрытия: коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,29$ Вт/м*К, удельная теплоемкость $C = 1320$ Дж/кг*К, плотность $\rho = 1000$ кг/м³. Оптимальный слой нанесения данной пасты составляет примерно 3 мм, коэффициент вспенивания на интервале температуры от 200 до 250 °С составляет от трех до шести [6]. При расчете толщины защитного покрытия двутавра, предполагая, что уже произошло вспучивание пасты в результате воздействия высокой температуры, зададим равной 12 мм. График распределения температур на момент времени 15 мин представлен на рис. 5.

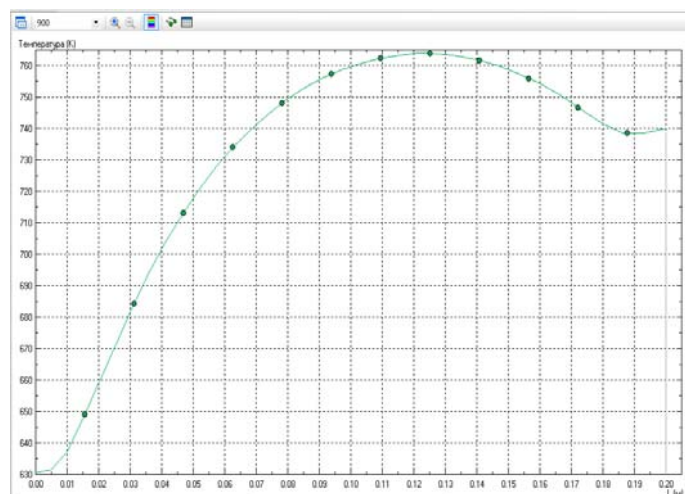


Рис. 5. График распределения температур по оси двутавра, защищенного огнезащитной пастой, на момент времени 15 мин

На графике видно, что на момент времени 15 мин. в большей части сечения температура еще не достигла критических значений. Таким образом, расчет подтверждает заявленное производителем время защиты не менее 15 мин.

На представленных выше графиках можно наблюдать, что предел огнестойкости балки, покрытой огнезащитной пастой, примерно в два раза выше, чем балки без защиты.

Для обеспечения нормальной работы огнезащитного покрытия в условиях пожара необходимо строгое соблюдение технологии нанесения этого покрытия, начиная со стадии правильного подбора огнезащитного состава, соответствующего условиям эксплуатации.

Различные нарушения технологии могут повлечь за собой повреждение огнезащитного покрытия и, как следствие, аннулировать огнезащитный эффект.

Рассмотрим ряд наиболее типичных нарушений процесса нанесения огнезащитного покрытия, способных привести к его повреждению:

1. Несоответствие покрытия условиям эксплуатации по параметру атмосферостойкости.
2. Несовместимость с антикоррозионными грунтовками – в случае подбора неподходящей грунтовки адгезия на границе «грунт-огнезащита» не будет соответствовать нормам, при пожаре огнезащитное покрытие отслоится.
3. Нанесение грунта на ржавчину. Продукты окисления металла, увеличиваясь в объеме, будут разрушать слой грунта и, соответственно, слой огнезащиты.
4. Контрафактная продукция на рынке огнезащитных материалов, не обеспечивающая должного предела огнестойкости конструкции.
5. Нанесение грунта на неподготовленное покрытие – для хорошей адгезии защищаемая поверхность должна быть чистой и сухой, без каких-либо загрязнений, ее необходимо обезжирить и обеспылить.
6. Повреждение грунта – может наступить в результате каких-либо работ (например, сварки). На месте сварки грунт сгорает, вокруг образуется слой сажи и окалины, вызывающие отслоение огнезащитного покрытия.
7. Нанесение покрытия на непросохший грунт может привести к растрескиванию огнезащитного покрытия при высыхании.
8. Превышение нормативной толщины слоя – приводит к образованию потеков, а также к превышению предела несущей способности мокрого слоя, когда вес нанесенного слоя превышает силы адгезии, что вызывает его отслоение; к отслоению может привести также невыдерживание времени сушки слоя.
9. Применение загрязненного разбавителя огнезащитной краски.

Согласно ст. 21 Постановления Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390 «О противопожарном режиме» руководитель организации несет ответственность за работоспособное состояние огнезащитных покрытий на строительных

конструкциях («..Руководитель организации обеспечивает устранение повреждений толстослойных напыляемых составов, огнезащитных обмазок, штукатурки, облицовки плитными, листовыми и другими огнезащитными материалами, ... а также осуществляет проверку состояния огнезащитной обработки (пропитки) в соответствии с инструкцией завода-изготовителя с составлением протокола проверки состояния огнезащитной обработки (пропитки). Проверка состояния огнезащитной обработки (пропитки) при отсутствии в инструкции сроков периодичности проводится не реже одного раза в год») [7].

Таким образом, законодательством Российской Федерации установлены требования к устранению повреждений огнезащитного покрытия, которые могут повлечь за собой снижение фактического предела огнестойкости конструкций и возникновение опасности для людей в случае пожара.

Однако на практике возможны случаи, когда повреждения огнезащитного покрытия настолько незначительны, что не несут угрозы для предела огнестойкости конструкции. Решение на их устранение целесообразно принимать с учетом экономического фактора. При этом следует проверить условие обеспечения безопасности людей в случае пожара. Данную задачу можно решить с помощью специальных программных средств.

Рассмотрим влияния различных случаев локальных повреждений огнезащитного покрытия на металлической балке (рис. 6).

Для расчета распределения температур по сечению с поврежденным огнезащитным покрытием отразим на модели двутавра площадку обогрева, возникшую в результате скола (рис. 7).



Рис. 6. Повреждения огнезащитного покрытия. Слева: скол покрытия в нижней части балки; справа – высверлено отверстие в нижней полке двутавра, срез не покрыт огнезащитным слоем

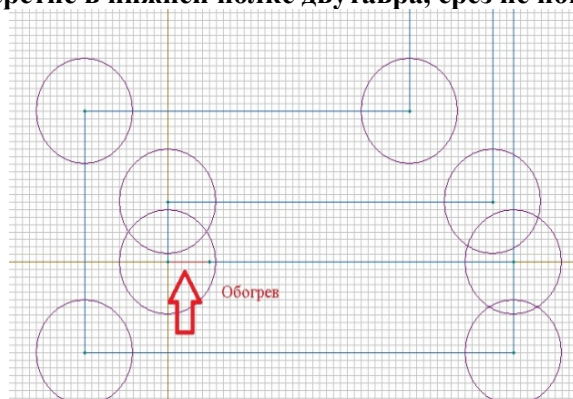


Рис. 7. Модель сечения двутавра (нижняя часть) с локальным повреждением огнезащитного покрытия

Температурное поле по сечению показано разными цветами. Рисунки наглядно отражают существенность различия температурных полей в сечении балки

с неповрежденным покрытием (слева) и с покрытием, имеющим, казалось бы, незначительный скол (справа) (рис. 8).

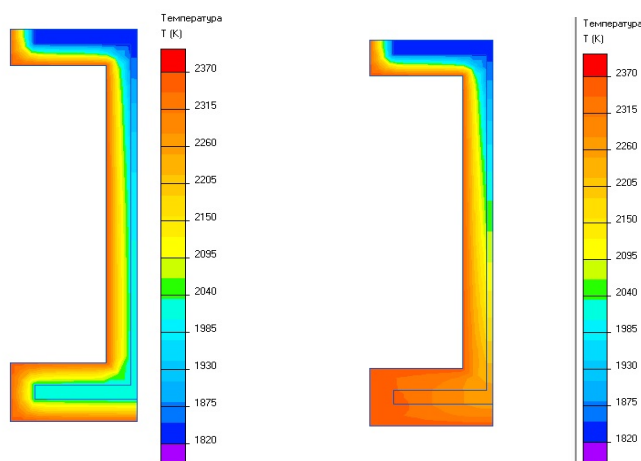


Рис. 8. Температурное поле в сечении двутавра: слева – неповрежденное огнезащитное покрытие, справа – имеющее мелкий скол покрытия в нижней части балки

Рассмотрим график изменения температуры по оси сечения двутавра на момент времени 15 мин (рис. 9).

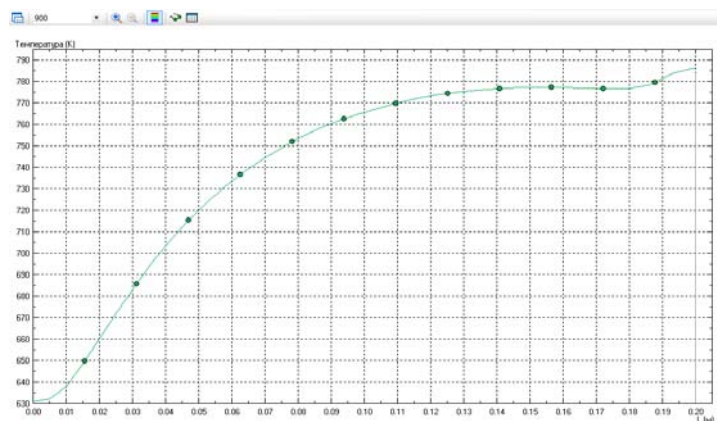


Рис. 9. График распределения температуры по оси двутавра, имеющего скол огнезащитного покрытия на момент времени 15 мин

Из графика видно, что более чем на половине сечения балки температура превысила критическую. Таким образом, заявленное время огнезащиты (15 мин) не соблюдается.

Рассмотрим случай повреждения, представленный на рис. 6 (справа), – отверстие в нижней полке двутавра. Аналогично внесем в модель сечения дополнительные участки обогрева на местах, оказавшихся непокрытыми в результате повреждения. Распределение температур на момент времени 15 мин показано на графике (рис. 10).

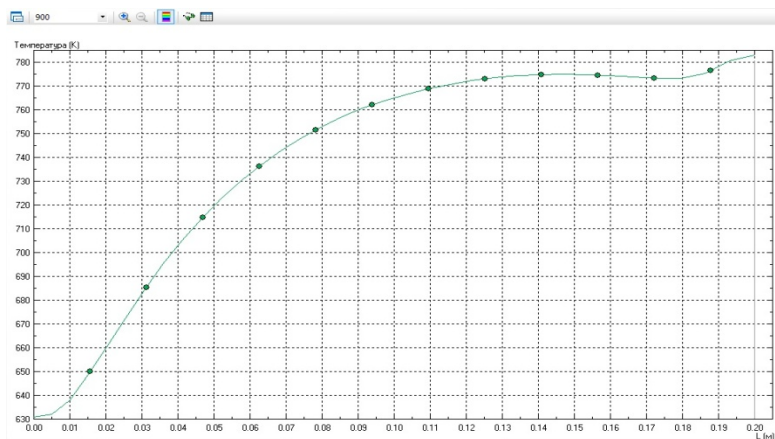


Рис. 10. График распределения температуры по оси сечения двутавра, имеющего повреждение в виде высверленного отверстия

Проанализировав графики на рис. 9, 10, можно увидеть, что они практически идентичны. Это можно объяснить высокой теплопроводностью стали, что обуславливает отсутствие существенных различий при прогреве данной конструкции с повреждениями огнезащитного покрытия различного размера.

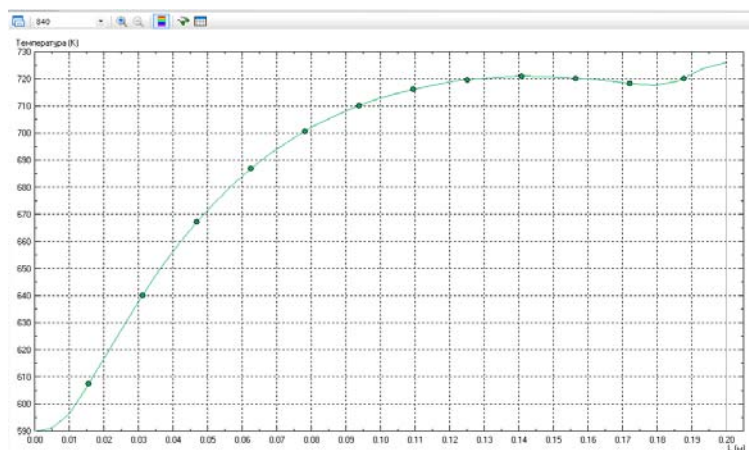


Рис. 11. Распределение температур по сечению двутавра на момент времени 14 мин

При этом если рассмотреть график распределения температур по сечению на момент времени 14 мин (рис. 11), то можно увидеть, что критическое значение температуры еще не достигается. Таким образом, фактический предел огнестойкости снижается на время, равное примерно одной минуте.

Таким образом, анализ расчетов температурного поля в сечении металлической балки при локальном повреждении огнезащитного покрытия показал, что даже мелкое повреждение оказывает критическое влияние на предел огнестойкости балки, снижая его ниже нормативного значения, в силу высокой теплопроводности металла. Лицам, контролирующим состояние объектов защиты, необходимо учитывать данный факт при проведении мероприятий по контролю и уделять повышенное внимание состоянию огнезащитных покрытий металлических конструкций. При этом можно предположить, что в случае возможного пожара подобное повреждение огнезащитного покрытия с большой долей вероятности не приведет к катастрофическим последствиям, учитывая относительно небольшое снижение фактического предела огнестойкости.

Результаты работы показывают, что такая особенность металлоконструкций, как высокая теплопроводность, обуславливает высокую опасность даже мелкого повреждения огнезащитного покрытия. Это приводит к снижению предела огнестойкости конструкции

ниже установленных нормативов. При этом в рассмотренном расчете снижение расчетного предела огнестойкости составило около одной минуты.

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 29 июля 2017). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

2. ELCUT ® Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Версия 6.3. Руководство пользователя. М.: ООО «Тор», 2017.

3. Романов Н.Н., Кузьмин А.А. Методические рекомендации по выполнению лабораторной работы на тему «Температурный режим при горении ГЖ в помещении». СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016.

4. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен». Иваново: Ивановский гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина, 2009.

5. СТО АСЧМ 20–93 Стандарт ассоциации предприятий и организаций по стандартизации продукции черной металлургии. Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. Ассоциация ЧЕРМЕТСТАНДАРТ, 1994. URL: <http://kupitmetalloprokat.ru> (дата обращения: 17.10.2017).

6. Краснов Л.Л., Кирина З.В. Материалы, обеспечивающие надежность работы конструктивных элементов в условиях пожара. М.: ВИАМ, 2012.

7. О противопожарном режиме: Постановление Правительства Рос. Федерации от 25 апр. 2012 г. № 390. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».