

УДК 614.849

DOI 10.37657/vniipo.2020.4.2.004

И.Р. ХАСАНОВ, гл. науч. сотр., д-р техн. наук (ФГБУ ВНИИПО МЧС России);
Р.А. ИВАЩУК, гл. спец. по пожарной безопасности (ООО «Желдорпроект»);
А.В. ПЕХОТИКОВ, нач. отд., канд. техн. наук; В.В. ПАВЛОВ, нач. сектора (ФГБУ
ВНИИПО МЧС России)

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Предложен метод обоснования проектных решений мостовых сооружений в части обеспечения огнестойкости. Основой метода является использование регулярного теплового режима. Предлагаемый метод дает возможность проведения вычислений без использования высокопроизводительных компьютерных средств. Аргументируется необходимость в совершенствовании методов обоснования пределов огнестойкости. Дается краткая характеристика существующих методов и приводится пример расчета.

Ключевые слова: *огнестойкость, предел огнестойкости, огнезащита металлоконструкций, расчетные методы, мостовое сооружение, регулярный тепловой режим*

Введение

Расчетные методы обоснования проектных решений в области пожарной безопасности сохраняют в настоящее время свою актуальность и востребованность. Одним из приложений расчетных методов является обоснование требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций мостовых сооружений. Применение расчетов объясняется усложнением транспортной инфраструктуры городов, когда появляются протяженные железнодорожные и автомобильные эстакады, проходящие вблизи и над производственными и общественными зданиями, дорогами, другими мостовыми сооружениями. Очевидно, что несущие конструкции таких мостовых сооружений могут подвергаться интенсивному воздействию пожаров. При этом требования нормативных документов не охватывают всего многообразия проектных решений, а подчас и не в состоянии успеть за современными тенденциями строительства.

На необходимость обоснования требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций мостовых сооружений указывает п. 5.84 СП 35.13330.2011 [1]. Но этот и другие нормативные документы не позволяют в общем случае выбрать необходимые параметры в части огнестойкости конструкций, т. е. имеет место отсутствие норм проектирования. В этой связи согласно ч. 6 ст. 15 ФЗ № 384-ФЗ [2] обоснование может проводиться расчетным путем.

Итак, рассмотрение расчетного определения требуемых пределов огнестойкости мостового сооружения на основе моделирования пожара является актуальной задачей.

Обоснование пределов огнестойкости мостовых сооружений

В общем случае мостовое сооружение является сооружением, на которое распространяются требования по обеспечению безопасности людей и материальных средств в случае пожара, требования по обеспечению безопасности подразделений пожарной охраны, требования по противопожарным расстояниям до соседних объектов, а также другие требования пожарной безопасности для

сооружений. Обеспечение требуемых пределов огнестойкости является частью этих требований.

В соответствии с ГОСТ Р 12.3.047–2012 [3] пожарная безопасность объекта обеспечивается на основе построения сценариев возникновения и развития пожаров. Наиболее опасными сценариями пожаров, оказывающими влияние на безопасность мостовых сооружений, являются сценарии пожаров в подмостовом пространстве. Такими пожарами могут быть пожары в зданиях, пожары автомобилей, подвижного состава и грузов, особенно ЛВЖ и ГЖ, на железных и автомобильных дорогах, проходящих под мостовыми сооружениями. Необходим обоснованный выбор пределов огнестойкости несущих конструкций мостового сооружения, при котором будет обеспечена безопасность без излишнего усложнения технологии и увеличения стоимости строительства.

По одному из применяющихся на практике способов требуемый предел огнестойкости несущих конструкций устанавливается исходя из возможного времени ликвидации пожара подразделениями пожарной охраны. По другому – путем моделирования пожара и оценки воздействия его на конструкции мостового сооружения. Второй способ является более универсальным и объективным, так как не зависит от плановых или случайных событий, которые оказывают влияние на время прибытия пожарной охраны к месту пожара.

Рассмотрим порядок определения требуемых пределов огнестойкости мостового сооружения на основе моделирования пожара. Сначала выбирается модельный очаг пожара, отражающий наиболее опасный сценарий. Затем проводится моделирование пожара, определяются температура и тепловое излучение в местах расположения строительных конструкций, а также прогрев конструкций при модельном пожаре, производится переход к стандартному пожару для представления результатов моделирования в форме, предусмотренной нормативными документами – в виде предельного состояния и времени его достижения.

Реализация этого алгоритма для конкретного объекта связана со значительными техническими трудностями. Эти трудности касаются, в первую очередь, не моделирования пожара, а расчета прогрева конструкций, особенно металлоконструкций с огнезащитными покрытиями. Для каждого очага пожара необходима серия расчетов для различной толщины огнезащитного покрытия, чтобы в итоге выбрать ту, которая будет соответствовать требованиям пожарной безопасности и практической реализуемости. Приведение пожара к стандартному также требует серии расчетов [4]. Учитывая, что в каждом случае толщина огнезащитного покрытия и металлоконструкции составляет несколько сантиметров, выполнение расчетов по полевым моделям [5] для твердого тела потребует расчетной сетки с большим количеством ячеек, что означает затраты времени и компьютерных ресурсов.

Существуют проработанные методы расчета теплопередачи в многослойном теле, которые могли бы использоваться для расчета прогрева конструкций, но они предназначены для случаев одностороннего распространения тепла [6]. При пожаре, как правило, происходит тепловое воздействие со всех сторон на конструкции ферм и балок мостовых сооружений.

Существуют также расчетные методы перехода от модельного пожара к стандартному, основанные на сериях экспериментов, но они предназначены для обоснования проектных решений несущих конструкций в помещениях [7].

Таким образом, практическую значимость будет иметь достаточно простой метод обоснования требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций мостовых сооружений на основе моделирования пожара.

В работе [8] показано, что металлоконструкция с огнезащитой при определенных условиях может рассматриваться как двухсоставное тело, процессы теплообмена которого близки к регулярному режиму теплообмена [9]. В этом случае регулярный режим наступает по истечении некоторого времени с момента помещения тела в окружающую среду, когда разности температур между точками тела и окружающей средой и между различными точками тела начинают изменяться по одним и тем же закономерностям, т. е. поле температур тела в течение его регулярного охлаждения или нагревания остается во временном отношении подобным самому себе.

При таком режиме вводится величина m , которая характеризует скорость регулярного охлаждения или нагревания тела и имеет размерность c^{-1} . Для использования этой величины необходимо принять, что теплофизические параметры двухсоставного тела, а именно коэффициент теплопроводности, теплоемкость металла и огнезащитного покрытия, а также толщина покрытия, не меняются по мере нагревания или охлаждения. Это допущение оказывает влияние на погрешность результатов, но в рамках поставленной задачи оно может быть принято. Поскольку для наиболее опасного сценария пожара пролива с быстрым повышением температуры эти величины могут быть сразу приняты для верхней температурной границы. В других случаях может быть принята средняя величина, тем более что современные огнезащитные материалы имеют небольшие коэффициенты температурного изменения параметров, особенно штукатурки, обмазки и плитные материалы.

В дальнейшем будем рассматривать случаи, при которых на несущую конструкцию со всех сторон воздействуют повышенная температура среды и тепловое излучение пожара. Они представляются наиболее вероятными при интенсивных пожарах в подмостовом пространстве и при большой высоте пламени. Такое тепловое воздействие аналогично воздействию на конструкцию при проведении огневых испытаний.

Любая металлоконструкция с огнезащитой обладает определенной величиной m [8]. Определим сначала требуемое значение m , при котором в процессе модельного пожара конструкция сохраняет несущую способность. Для примера возьмем наиболее часто используемый критерий – температура конструкции не должна превысить 773 К, но на практике, конечно же, необходим статический расчет для определения критической температуры. Также требуется знать температурный режим в месте расположения конструкции и продолжительность пожара. Обратим внимание, что величина m , которую следует определить, является функцией только самого двухсоставного тела – металлоконструкции с огнезащитой. Возможность этого обоснована в работах [8, 9]. Такое свойство величины m позволяет достаточно просто и наглядно переходить от реального (модельного) пожара к стандартному. Действительно, физические характеристики конструкции одинаковы при любом пожаре.

После получения m для режима реального пожара появляется возможность найти длительность стандартного пожара, при котором конструкция с такой же m прогревается до 773 К. Это и будет требуемым пределом огнестойкости. Обратим внимание, что расчет m ведется по температуре металлоконструкции. В статье [8] показано, что конструкции с разной приведенной толщиной металла и с разной толщиной огнезащиты могут обладать одинаковым значением m . Это позволяет выбрать конструктивные параметры, получив требуемый предел огнестойкости.

Проиллюстрируем применение этого метода примером определения требуемых пределов огнестойкости мостового сооружения. Примем наиболее опасный сценарий пожара – пожар пролива ЛВЖ с малым временем стабилизации горения в подмостовом пространстве. Начальная температура конструкций 293 К. Металлоконструкции мостового сооружения будут находиться в зоне пламени с температурой 1100 К. Продолжительность пожара не более 1 ч. Температура в течение всего времени пожара одинакова. Необходимо обосновать требуемый предел огнестойкости.

Найдем m по формуле [8, 9]:

$$m = \frac{\ln(T_{\text{внеш}_1} - T_{\text{мет}_0}) - \ln(T_{\text{внеш}_1} - T_{\text{мет}_1})}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $T_{\text{внеш}_1}$ – температура внешней среды на интервале, К; $T_{\text{мет}_0}$ – температура металлического ядра в начале интервала, К; $T_{\text{мет}_1}$ – температура металлического ядра в конце интервала, К; Δt – длительность интервала, с.

При принятых значениях

$$m = \frac{\ln(1100 - 293) - \ln(1100 - 773)}{60 * 60} = 0,000251. \quad (2)$$

Для быстрого перехода от модельного пожара к стандартному требуется рассчитать значения m для различных продолжительностей стандартного пожара (см. таблицу). Метод построения таблицы приведен в статье [8].

Величина m конструкции с огнезащитой в зависимости от продолжительности стандартного пожара

Продолжительность стандартного пожара, мин	Величина m конструкции с огнезащитой
15	0,00556
30	0,00078
45	0,00045
60	0,00031
90	0,000182

Из сопоставления полученного по формуле (2) значения с таблицей видно, что требуемый предел огнестойкости составляет более 60 мин, но не превышает 90 мин – значение 0,000251 лежит между 0,00031 и 0,000182. В этом случае принимаем, что требуемый предел огнестойкости несущих конструкций составляет 90 мин.

Несущие конструкции мостовых сооружений выполняются на основании требований ГОСТ Р 55374–2012 [10], например, из стали марки 10ХСНД класса прочности С390. Элементы конструкции ферм могут быть индивидуального изготовления. В отличие от изделий стандартного сортамента определение приведенной толщины таких элементов производится вручную исходя из их размеров или с помощью калькуляторов приведенной толщины с ручным вводом размеров. Например, приведенная толщина элемента двутаврового типа с размером полки (мм) 25 × 750 и размером стенки 20 × 750 составит 11,513 мм. Собственный предел огнестойкости такого элемента составляет не более 10 мин [11].

Выбор огнезащитного покрытия для элементов, аналогичных указанному, отличается в общем случае от выбора огнезащиты для большинства зданий и сооружений. Не все производители приводят в технологических регламентах

сведения о толщине огнезащитного покрытия для такой большой приведенной толщины. Большинство огневых испытаний проводится на стандартных образцах из конструкционной стали С255. Важным моментом является появление в конструкциях мостовых сооружений прогибов при нагружении (например, при прохождении поездов), что может повлечь отслоение огнезащитного покрытия. Поэтому при разработке проекта огнезащиты может появиться необходимость в проведении огневых испытаний и ряда других.

Приведенный пример наглядно показывает, что предложенный метод с достаточно высокой степенью точности позволяет прогнозировать требуемые пределы огнестойкости металлоконструкций.

Таким образом, предложенный метод рекомендуется в качестве основы при определении требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций мостовых сооружений.

Список литературы

1. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84.
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 30 дек. 2009 г. № 384-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 23 дек. 2009 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 25 дек. 2009 г. (в ред. Федер. закона от 2 июля 2013 г. № 185-ФЗ). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. ГОСТ Р 12.3.047–2012. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
4. Молчадский И.С. Приведение температурного режима реальных пожаров к стандартному // Огнестойкость строительных конструкций: сб. тр. М.: ВНИИПО, 1984. 21 с.
5. Рыжов А.М., Хасанов И.Р., Карпов А.В., Волков А.В., Лицкевич В.В., Дектерев А.А. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: метод. рекомендации. М.: ВНИИПО, 2002. 35 с.
6. Горшков В.И. Применение интегрального теплового баланса в задачах нестационарного теплообмена. М.: ВНИИПО, 2012. 141 с.
7. Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения: рекомендации. М.: ВНИИПО, 1988. 56 с.
8. Хасанов И.Р., Иващук Р.А. Применение методов регулярного теплового режима для оценки толщины огнезащитного покрытия, обеспечивающей заданный предел огнестойкости металлоконструкции // Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 35–44.
9. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1954. 408 с.
10. ГОСТ Р 55374–2012. Прокат из стали конструкционной легированной для мостостроения. Общие технические условия.
11. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 143 с.

Материал поступил в редакцию 04.03.2020 г.

Хасанов Ирек Равильевич – главный научный сотрудник, доктор технических наук. Тел. (495) 521-89-38. E-mail: irhas@rambler.ru (Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России)), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Иващук Роман Анатольевич – главный специалист по пожарной безопасности. Тел. (915) 290-46-67. E-mail: newtrad@yandex.ru (ООО «Желдорпроект»), Москва, Россия.

Пехотиков Андрей Владимирович – начальник отдела, кандидат технических наук; **Павлов Владимир Валерьевич** – начальник сектора (Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России)), г. Балашиха, Московская область, Россия.

I.R. Khasanov, R.A. Ivashchuk, A.V. Pekhotikov, V.V. Pavlov

JUSTIFICATION OF THE REQUIRED FIRE RESISTANCE LIMITS FOR BEARING STRUCTURES OF BRIDGEWORKS

The method for substantiating the design solutions of bridge works in terms of fire resistance is proposed. The use of regular thermal mode is the basis of the method. The proposed method makes it possible to perform calculations without using high-performance computer tools. The necessity to improve methods for justifying fire resistance limits is substantiated. A brief description of existing methods and the example of calculation are given.

Keywords: fire resistance, fire resistance limit, fire protection of metal structures, calculation methods, bridge work, regular thermal mode

Irek R. Khasanov – Doctor of Technical Sciences, Main Researcher. Phone (495) 521-89-38. E-mail: irhas@rambler.ru.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.

Roman A. Ivashchuk – Fire Safety Engineer. Phone: (915) 290-46-67. E-mail: newtrad@yandex.ru. LLC «Zeldorproekt», Moscow, Russia.

Andrey V. Pekhotikov – Chief of Department; **Vladimir V. Pavlov** – Head of Sector.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.