

Обзор программного обеспечения расчета огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров

© Т.Ю. Еремина✉, Д.А. Корольченко

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

АННОТАЦИЯ

Введение. При анализе пожарной безопасности объекта проверяется соответствие фактических пределов огнестойкости конструкций требованиям нормативных документов. Из-за сложности уравнений, описывающих реальные системы, и большого числа итераций, необходимых для получения точных результатов, расчеты проводятся с использованием программного обеспечения. Одной из основных целей работы является анализ программного обеспечения расчета огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров. В работе представлены анализ критериев оценки программ и их классификации, оценка рекомендаций по выбору программного обеспечения для решения задач пожарной безопасности, которое соответствует конкретным потребностям пользователей.

Основная (аналитическая) часть. В работе проанализированы различные модели пожаров, учитывающие стадии развития пожара, тепловые и механические воздействия на конструкции в условиях пожара, и предпосылки их использования в программах для расчета огнестойкости строительных конструкций. Рассмотрены модели расчета огнестойкости конструкций, зонные и полевые модели, а также используемые при решении сопутствующих задач модели расчета времени эвакуации и времени срабатывания детекторов. Проанализирована классификация расчетных комплексов по типу решаемых задач: для оценки поведения конструкции при высокотемпературном и механическом воздействии в условиях реального пожара и для определения требований, которым должны соответствовать безопасные конструкции. Рассмотрены определенные предположения и допущения, необходимые специалистам для выполнения вычислений в программных комплексах.

Выводы. Представлены рекомендации по выбору программного обеспечения для решения задач пожарной безопасности, которое соответствует конкретным потребностям пользователей.

Ключевые слова: устойчивость строительной конструкции; огнесохранность объекта; высокотемпературные воздействия; пожарная безопасность; нормирование в строительстве; зарубежный опыт

Для цитирования: Еремина Т.Ю., Корольченко Д.А. Обзор программного обеспечения расчета огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 3. С. 44–53. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.03.44-53

✉ Еремина Татьяна Юрьевна, e-mail: main@stopfire.ru

Overview of software designated for the analysis of fire resistance of building structures exposed to various fire models

© Tatyana Yu. Eremina, Dmitry A. Korolchenko

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
(Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. When analyzing the fire safety of a facility, the conformity of actual limits of fire resistance of structures to the requirements of statutory documents is checked. Due to the complexity of the equations describing real systems and an extensive number of iterations required to obtain accurate results, software is used to perform calculations. One of the main goals of the paper is to analyze the software designated for the analysis of the fire resistance of building structures in case of different fire models. The paper presents an analysis of the criteria for the evaluation of software programs and their classification, evaluation of recommendations for choosing fire safety software in compliance with the specific requirements of users.

Main (Analytical) Part. The paper analyzes various models of fires, taking into account the stages of fire spread, thermal and mechanical effects on structures exposed to fire, and prerequisites for their use by the software designated for the analysis of the fire resistance of building structures. Fire resistance models of structures, zone and field models, as well as models used to calculate evacuation time and detector response time when solving related problems are considered. The classification of software programmes is analyzed subject to the type of problems to be solved: the behavior of a structure

exposed to high temperatures and mechanical impacts in case of real fire, and requirements applicable to safe structures. Certain estimates and assumptions, necessary for specialists to use software in their calculations, are considered.

Conclusions. Recommendations on the choice of fire safety assurance software, meeting the specific needs of users, are provided.

Keywords: stability of a building structure; fire resistance of a facility; high temperature exposure; fire safety; regulation in the construction industry; international experience

For citation: Eremina T.Yu., Korolchenko D.A. Overview of software designated for the analysis of fire resistance of building structures exposed to various fire models. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(3):44-53. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.03.44-53

✉ Tatyana Yuryevna Eremina, e-mail: main@stopfire.ru

Введение

Компьютерное моделирование теплопереноса и задымления при пожаре широко используется при решении различных задач пожарной безопасности. Компьютерные ресурсы позволяют задействовать быстрые и точные методы вычислений с использованием обширной базы данных — результатов экспериментов и исследований. Такое моделирование должно учитывать также изменения нормативных документов. Программные комплексы постоянно развиваются и обновляются, что с использованием более обширной базы данных о пожарах позволяет получить более точный прогноз изменения нужных параметров.

Одним из важных аспектов при анализе пожарной безопасности объектов является использование надежных методик расчета огнестойкости конструкций. Известно, что конструкция с фактическим пределом огнестойкости сохраняет свою несущую функцию в течение периода времени, необходимого для обеспечения безопасности:

$$R_f > R_{req},$$

где R_f — фактическое значение предела огнестойкости конструкции;

R_{req} — требуемое значение предела огнестойкости конструкции.

В международной практике на протяжении 20 лет разрабатывались различные варианты программного обеспечения расчета предела огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров [1–8]. Методы, на которых основаны эти программные комплексы, отражены в Еврокодах¹ и учитывают различные стадии развития пожара:

¹ Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1–2. Общие правила определения огнестойкости (Eurocode 3 (ENV 1993-1-2): Design of steel structures. Part 1–2: General rules. Structural fire design).

Еврокод 4. Проектирование несущих конструкций из стали и бетона. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий, Часть 1-2. Общие правила. Расчет параметров с учетом огнестойкости. (Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1994-1-1), Part 1-2: General rules — Structural fire design (EN 1994-1-2)).

возгорание;

- высокотемпературное воздействие (в зависимости от пожарной нагрузки объекта);
- поведение конструкций под нагрузкой при высокотемпературном воздействии;
- поведение под воздействием критического теплового потока либо высокотемпературного воздействия, способствующих созданию избыточных напряжений, приводящих в том числе к взрывообразному разрушению;
- механическая деформация (напряжение) конструкций;
- возможное обрушение.

При проверке безопасности необходимо четко определить требования, которым должна соответствовать конструкция. Обычно эти требования определяются в зависимости от времени. В каждой стране существуют нормы и правила, содержащие эти требования (предписывающие требования), разработаны различные методологии их определения [9–11].

Для расчета таких требуемых параметров, как устойчивость конструкции в условиях пожара и устойчивость, обеспечивающая безопасность, разработано множество программных комплексов² [12–16]. Важным аспектом каждого комплекса является используемая при расчете модель развития пожара.

Модель пожара описывает все стадии развития пожара — от возгорания до эвакуации и разрушения конструкции (а не только процессы развития пожара и распространения дыма). Все модели могут быть разбиты на экспериментальные и математические [17, 18]. Математические модели представляют собой систему уравнений, описывающих события, связанные с пожаром. Эти модели рассматриваются в данной работе.

Цель работы — анализ программного обеспечения расчета предела огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров. Для этого необходимо провести анализ критериев оценки программ и их классификации, анализ рекомендаций

² ANSYS Fluent Tutorial Guide. Canonsburg : ANSYS, Inc., 2011. URL: http://www.ansys.fem.ir/ansys_fluent_tutorial.pdf

Таблица 1. Тепловые модели пожара
Table 1. Thermal models of fire

Требования стандартов (Еврокодов) Standard requirements (Eurocodes)	Виды моделей Model types
Предписывающие требования в виде номинальных кривых «температура–время» Prescriptive requirements in the form of nominal temperature-time curves	Стандартные кривые «температура–время» Графики наружных пожаров Углеводородные графики Standard temperature-time curves External fire graphs Hydrocarbon graphs
Требования с учетом фактических характеристик реальных пожаров Requirements based on actual characteristics of real fires	Упрощенные модели пожара: – пожаров в помещениях – локализованных пожаров Simplified fire models: – indoor fires – contained fires Усовершенствованные модели пожара: – зонная модель – полевая модель Advanced fire models: – zone model – field model

по выбору программного обеспечения для решения задач пожарной безопасности, которое соответствует конкретным потребностям пользователей.

Аналитическая часть.

Математические модели для решения задач пожарной безопасности

Математические модели подразделяют на детерминированные и статистические. Первые регулируются физическими и химическими законами и законами термодинамики; в то время как статистические представляют собой прогнозы событий. Из-за сложности этих уравнений и большого числа итераций, необходимых для получения точных результатов, необходимо использовать программное обеспечение.

Для оценки программного обеспечения его классификация принимается в зависимости от класса задач, которые оно решает (область применения программного обеспечения).

Классификация моделей пожара

Международный опыт подсказывает необходимость создания новой классификации программного обеспечения, учитывающей ранее разработанные классификации программного обеспечения пожарной безопасности. Наиболее распространенные программы описывают распространение дыма и теплоперенос в помещениях. Известно, что эти программы используют зонные и полевые модели² [6–8, 12–16]. Но существуют также и другие типы

моделей, соответствующие областям их применения, такие как модели расчета огнестойкости конструкции или показаний пожарных детекторов (тепловых или дымовых). С учетом этих особенностей классификация областей применения моделей [1] выглядит следующим образом:

- модели расчета огнестойкости конструкций,
- зонные модели,
- полевые модели,
- модели расчета времени эвакуации,
- модели расчета времени срабатывания детекторов.

Количество областей применения было сокращено до пяти, с объединением зонных и полевых моделей в более общую группу под названием «Тепловые модели пожара». Таким образом, получается классификация в зависимости только от области применения программного обеспечения, а не от математического метода, используемого для решения различных задач.

В этой классификации можно выделить две разные группы — по типу решаемых задач:

- оценка поведения конструкции при высокотемпературном и механическом воздействии в условиях реального пожара (R);
- определение требований, которым должны соответствовать конструкции для обеспечения безопасности в случае пожара (с использованием модели эвакуации, модели показаний детекторов, смешанных моделей).

Таблица 2. Программное обеспечение на основе упрощенных тепловых моделей пожара**Table 2.** Software based on simplified thermal fire models

Программное обеспечение Software	Страна Country	Краткое описание Description
DIFISEK-CaPaFi	Люксембург Luxembourg	Расчет температуры в стальном элементе конструкции (от одного до пяти местных источников огня). Основано на Еврокоде 1, часть 1–2 и Еврокоде 3, часть 1–2 Calculation of the temperature in a steel construction element (one to five local fire sources). Based on Eurocode 1, part 1-2, and Eurocode 3, part 1-2
DIFISEK-EN 1991-1-2	Люксембург Luxembourg	Расчет параметрических кривых «температура–время» в отсеке и температуры защищенного и незащищенного стального элемента. Основано на Еврокоде 1, часть 1–2 (приложение А) и Еврокоде 3, часть 1–2 Analysis of temperature-time parameter curves of protected and unprotected steel elements. Based on Eurocode 1, part 1-2 (appendix A) and Eurocode 3, part 1-2
DIFISEK-TEFINAF	Люксембург Luxembourg	Расчет температур стальных ферм перекрытия в зависимости от времени и расстояния до источника огня, основано на отчете EUR 18868 «Разработка правил проектирования стальных конструкций в условиях естественных пожаров в больших отсеках» Calculation of temperatures of steel floor trusses depending on time and distance to the source of fire, based on report EUR 18868 “Development of design rules for steel structures exposed to natural fires in large compartments”
Parametrická teplotní křivka	Чехия Czech Republic	Параметрическая температурная кривая при пожаре в помещении Parameter temperature curve for an indoor fire
Přestup tepla	Чехия Czech Republic	Расчет температуры стальных элементов при пожаре с использованием Еврокода 3, часть 1–2. Можно использовать стандартную, углеводородную или параметрическую кривую Calculation of the temperature of steel elements exposed to the fire using Eurocode 3, part 1-2. Standard, hydrocarbon or parameter curves can be used

Тепловые модели пожара

Зарубежными экспертами разработаны различные типы программного обеспечения для оценки поведения конструкций при высокотемпературном воздействии при пожаре. При разработке использован Еврокод 1³, описывающий тепловые и механические воздействия для расчета конструкции зданий в условиях пожара.

Таким образом, тепловые модели пожаров можно разделить на следующие группы:

- упрощенные тепловые модели: модели пожаров в помещениях и локализованных пожаров;
- усовершенствованные тепловые модели: зонные и полевые модели.

Упрощенные тепловые модели пожаров

Эти модели имеют ограниченную область применения, но могут быть использованы для расчета

³ Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости (Eurocode 1: Actions on structures — Part 1-2: General actions — Actions on structures exposed to fire).

температур конструкций. В этих моделях для пожаров в помещениях предполагается равномерное распределение температуры, а для локализованных пожаров — неравномерное. Различные виды программного обеспечения на основе упрощенных тепловых моделей пожаров представлены в табл. 2.

Усовершенствованные тепловые модели пожара

Зонная модель — это компьютерная модель, для создания которой исследуемое помещение делится на различные контрольные объемы или зоны. В наиболее распространенных зонных моделях помещение разделено на две зоны: верхнюю горячую и нижнюю холодную. Частным случаем зонных моделей являются модели с одной зоной, основанные на том предположении, что границы между зонами нет, и помещение можно рассматривать как объем с однородными свойствами. Некоторые зонные модели имеют возможность переключения с двухзонной модели на однозонную при достижении требуемых условий.

Чтобы иметь возможность использовать уравнения, которые являются основой этих моделей, пожарный эксперт должен сделать несколько допущений. Многие из этих допущений основаны на результатах экспериментов. Основные предположения:

- дымовой слой распределяется на два отдельных слоя (как это происходит на реальных пожарах). Слои также предполагаются однородными (что не соответствует действительности, но различия внутри каждого слоя настолько малы по сравнению с различиями между слоями, что в результате это предположение является приемлемым);
- конвективная струя осуществляет перенос тепла и частиц дыма в верхнюю зону;
- большая часть пожарной нагрузки помещения не учитывается в расчете;
- теплоперенос рассматривается для границ помещения, а не его внутреннего содержимого.

Входными данными для создания модели являются геометрия помещения, конструкции помещения (включая все стены, полы и потолок), количество вентиляционных отверстий и их размеры, характеристики пожарной нагрузки помещения.

Выходные данные представляют собой прогноз времени активации спринклера и пожарного извещателя, времени до пожара-вспышки, температур верхнего и нижнего слоев, высоты слоя дыма.

С помощью программного обеспечения, моделирующего теплоперенос и распространение дыма, определяют температуру газа, чтобы на следующем этапе спрогнозировать температуру элементов конструкции.

В **полевой модели** исследуемый объект разбивается на трехмерную сетку — множество элементарных контрольных объемов. Эти контрольные объемы аналогичны тем, которые используются при моделировании зон, однако там, где зонная модель может иметь две или три зоны, модель CFD (computational fluid dynamics) будет иметь сотни тысяч контрольных объемов.

Моделирование CFD решает дифференциальные уравнения (уравнения Навье-Стокса) для каждого контрольного объема. Этот подход намного сложнее и требует больше времени для расчетов, но позволяет реализовать более сложную геометрию объекта.

Входными данными являются геометрия помещения, конструкции помещения (включая все стены, полы и потолок), количество вентиляционных отверстий и их размеры, характеристики пожарной нагрузки, реакции горения и продуктов сгорания, параметры турбулентности и излучения.

Выходные данные представляют собой параметры распространения дыма и теплопереноса, прогноз времени срабатывания спринклера и пожарного извещателя, времени до пожара-вспышки, температуры, скорости распространения и высоты слоя дыма.

Вычисления с использованием моделей CFD требуют большого количества времени, но модели CFD могут использоваться для помещений со сложной геометрией (например, изогнутые стены). Моделирование CFD широко применяется и в других областях (например, механика, авиакосмическая промышленность и т.д.).

Программное обеспечение с использованием моделей CFD также анализирует теплоперенос и распространение дыма в условиях пожара и в результате определяет температуру элементов конструкции.

Модели для расчета огнестойкости конструкций

Эти модели имитируют поведение строительных конструкций здания в условиях пожара. Их использование позволяет определить время обрушения конструктивных элементов.

Как и в случае тепловых моделей пожара, существуют различные типы программного обеспечения в зависимости от метода, используемого для оценки поведения конструкции в условиях пожара. Для их классификации применяются Еврокоды 1 и 3.

Таким образом, программные комплексы с использованием модели огнестойкости конструкции также могут быть разделены на упрощенные и усовершенствованные программные средства определения огнестойкости конструкции.

Входными данными обычно являются свойства материала и граничные условия элементов конструкции (включая пожарные нагрузки).

Выходные данные представляют собой время обрушения, интенсивность нагрузки и величину смещения конструкции [19].

Упрощенные модели расчета огнестойкости конструкций (табл. 3) рассчитывают структурное поведение элементов индивидуально, рассматривая каждый структурный элемент изолированно от остальной части конструкции, и основаны на упрощенных методах. Некоторые из них включены в зонные или полевые модели.

Усовершенствованные модели расчета огнестойкости конструкций (табл. 4) могут представлять структуру частично или целиком, в статическом или динамическом режимах и определять время возможного разрушения всего здания. Эти программы используют метод конечных элементов.

Таблица 3. Программное обеспечение на основе упрощенных моделей огнестойкости конструкций

Table 3. Software based on simplified models of fire resistance of structures

Программное обеспечение Software	Страна Country	Краткое описание Description
AFCB	Люксембург Luxembourg	Расчет огнестойкости композитных балок в соответствии с Еврокодом 4 Analysis of fire resistance of composite beams according to Eurocode 4
AFCC	Люксембург Luxembourg	
CIRCON	Канада Canada	Расчет огнестойкости железобетонных балок с круглым поперечным сечением Analysis of fire resistance of reinforced concrete beams having round cross sections
COFIL	Канада Canada	Расчет огнестойкости пустотелых стальных профилей с заполнением неармированным бетоном Analysis of fire resistance of hollow steel profiles filled with unreinforced concrete
Elefir-EN	Португалия Бельгия Portugal Belgium	Расчет огнестойкости стальных конструкций в соответствии с англоязычной версией Еврокода 3 Analysis of fire resistance of steel structures according to the English language version of Eurocode 3
Elefir	Бельгия Belgium	Расчет огнестойкости стальных конструкций в соответствии с Еврокодом 3 Analysis of fire resistance of steel structures according to Eurocode 3
H-Fire	Германия Germany	Расчет огнестойкости композитных элементов в условиях пожара с использованием моделей на основе Еврокода 4, часть 1–2 Analysis of fire resistance of composite elements exposed to fire using models based on Eurocode 4, part 1-2
INSTAI	Канада Canada	Расчет огнестойкости пустотелых стальных балок круглого поперечного сечения с теплоизоляционным покрытием Analysis of fire resistance of round cross-section hollow steel beams having thermal insulation coating
INSTCO	Канада Canada	Расчет огнестойкости трубчатого стального профиля круглого поперечного сечения с бетонным заполнением Analysis of fire resistance of tubular steel round cross-section profile with concrete filling
POTFIRE	Франция France	Расчет огнестойкости пустотелых профилей с заполнением бетоном в соответствии с Еврокодом 4 Analysis of fire resistance of hollow profiles filled with concrete in accordance with Eurocode 4
RCCON	Канада Canada	Расчет огнестойкости железобетонных балок с прямоугольным поперечным сечением Analysis of fire resistance of reinforced concrete beams having a rectangular cross section
RECTST	Канада Canada	Расчет огнестойкости пустотелых стальных балок прямоугольного поперечного сечения с теплоизоляционным покрытием Analysis of fire resistance of hollow steel beams having a rectangular cross section and thermal insulation coating
SQCON	Канада Canada	Расчет огнестойкости квадратных железобетонных балок Analysis of fire resistance of square reinforced concrete beams
WSHAPS	Канада Canada	Расчет огнестойкости защищенных стальных двутавров Analysis of fire resistance of protected steel I-beams
Požární odolnost	Чехия Czech Republic	Расчет огнестойкости стальных элементов в условиях пожара на основе Еврокода 3, часть 1–2 Analysis of fire resistance of steel elements exposed to fire pursuant to Eurocode 3, part 1-2

Таблица 4. Программное обеспечение на основе усовершенствованных моделей огнестойкости конструкций

Table 4. Software based on advanced models of fire resistance of structures

Программное обеспечение Software	Страна Country	Краткое описание Description
ABAQUS	США USA	Стандартный метод конечных элементов Standard finite element method
ALGOR		
ANSYS		
COSMOS		
NASTRAN		
BoFire	Германия Germany	Расчет огнестойкости для стальных, бетонных и композитных конструкций на основе Еврокода 4, часть 1–2 Analysis of fire resistance for steel, concrete and composite structures based on Eurocode 4, part 1-2
BRANZ-TR8	Новая Зеландия New Zealand	Расчет огнестойкости для перекрытий из бетона или напряженно-армированного бетона Analysis of fire resistance for concrete or prestressed reinforced concrete floor slabs
CEFICOSS	Бельгия Belgium	Расчет огнестойкости Analysis of fire resistance
CMPST	Франция France	Расчет механической устойчивости при высокотемпературном воздействии Analysis of mechanical stability in case of high temperature exposure
COMPSL	Канада Canada	Расчет температур многослойных плит в условиях пожара Analysis of multilayer slab temperatures in case of fire exposure
FASBUS	США USA	Расчет механической устойчивости в условиях пожара Analysis of mechanical stability in case of fire exposure
FIRES-T3	США USA	Теплоперенос (метод конечных элементов) Heat transfer (finite element method)
HSLAB	Швеция Sweden	Температуры перехода в нагреваемой балке из одного или нескольких материалов Transition temperatures in a heated beam made of one or more materials
LENAS	Франция France	Расчет механической устойчивости стальных балок в условиях пожара Analysis of mechanical stability of steel beams in case of fire exposure
SAFIR	Бельгия Belgium	Динамический и механический анализ конструкций в условиях пожара Dynamic and mechanical analysis of structures in case of fire exposure
SAWTEF	США USA	Анализ деревянных конструкций, соединенных металлическими пластинами, в условиях пожара Analysis of wooden structures connected by metal plates in case of fire exposure
STELA	Великобритания UK	Трехмерная модель для анализа реакции элементов конструкции на горючие газы Three-dimensional model designated for the analysis of the response of structural elements to combustible gases
TASEF	Швеция Sweden	Анализ высокотемпературного воздействия на конструкции в условиях пожара методом конечных элементов Using the finite element method to perform the analysis of high-temperature exposure of structures on fire

Программное обеспечение Software	Страна Country	Краткое описание Description
TCSLBM	Канада Canada	Двумерное распределение температуры для сборных конструкций из бетонных плит/балок в условиях пожара Two-dimensional temperature distribution for structures made of precast concrete slabs / beams on fire
THELMA	Великобритания UK	Анализ высокотемпературного воздействия на конструкции в условиях пожара методом конечных элементов Using the finite element method to perform the analysis of high temperature exposure of structures on fire
VULCAN	Великобритания UK	Моделирование поведения стальных и композитных каркасных конструкций, включая перекрытия, в условиях пожара Modeling the behaviour of steel and composite frame structures, including slabs, in case of fire exposure
WALL2D	Канада Canada	Модель теплопереноса для деревянных стен в условиях пожара Heat transfer model for wooden walls in case of fire exposure
Ocel požár	Чехия Czech Republic	Расчет огнестойкости стальных конструкций в условиях пожара на основании Еврокода 3, часть 1–2 Analysis of fire resistance of steel structures on fire based on Eurocode 3, part 1-2

Дополнительно при расчете огнестойкости конструкций используются следующие модели.

Эвакуационные модели прогнозируют время эвакуации из здания и местоположение областей скопления людей во время эвакуации. Эти модели используются совместно с зонными или полевыми моделями, чтобы определить время до появления неблагоприятных для эвакуации условий в здании.

Входными данными обычно являются: заполненность здания людьми, геометрия здания (выходы, лестницы, лифты, коридоры и т.д.).

Выходные данные: время эвакуации здания и места скопления людей.

Модели реагирования детектора определяют время срабатывания противопожарных устройств: тепловых детекторов, спринклеров или детекторов дыма. Эти модели используют зонный подход для оценки распространения дыма и теплопереноса и подмодели для определения реакции тепловых детекторов на поток тепла и дыма (т.е. упрощенное моделирование для оценки теплопереноса к элементу детектора и определения времени активации).

Входными данными являются характеристики анализируемого элемента детектора, его местоположение и скорость тепловыделения при пожаре. Для самых сложных моделей требуются геометрия отсеков и их материалы.

Выходные данные представляют собой время срабатывания устройства и в самых сложных мо-

делях — действия систем пожарной безопасности после срабатывания устройства.

Выводы

Основными аспектами программного обеспечения для решения задач пожарной безопасности являются:

- методология расчета (используемые физико-математические модели);
- документация;
- интерфейс.

Наиболее важный аспект методологии расчета представляют собой формулы, используемые программным обеспечением для выполнения расчетов, основанные на физических законах и экспериментальных данных. Надежность программного обеспечения существенно зависит от точности и достоверности этих формул. Кроме того, при расчете невозможно учесть все переменные, связанные с событием, поэтому для выполнения вычислений необходимо сделать определенные предположения. Это ограничивает универсальность программного обеспечения.

Основными документами при использовании программного обеспечения являются руководство пользователя, технические руководства, примеры применения, определяющие корректность использования программного обеспечения и, следовательно, надежность и точность полученных результатов.

Пользовательский интерфейс имеет большое значение в ходе применения программного обеспечения. Корректный программный интерфейс позволяет легко задавать входные данные, грамотная отчетность упрощает анализ результатов, а хорошая графика дает лучшее видение моделируемого события.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Olenick S.M., Carpenter D.J. An updated international survey of computer models for fire and smoke // *Journal of Fire Protection Engineering*. 2003. Vol. 13. Issue 2. Pp. 87–110. DOI: 10.1177/1042391503013002001
2. Friedman R. An international survey of computer models for fire and smoke // *Journal of Fire Protection Engineering*. 1992. Vol. 4. Issue 3. Pp. 81–92. DOI: 10.1177/104239159200400301
3. Janssens M.L. Evaluating computer fire models // *Journal of Fire Protection Engineering*. 2002. Vol. 13. P. 19.
4. Twilt L., Hass R., Klingsch W., Edwards M., Dutta D. Design guide for structural hollow section columns exposed to fire. Köln : Verlag TÜV Rheinland, 1994. 98 p.
5. Peacock R.D., Reneke P.A., Jones W.W., Bukowski R.W., Forney G.P. A User's Guide for FAST: Engineering tools for estimating fire growth and smoke transport. Special Publication 921. 2000 Edition. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2000. 192 p. DOI: 10.6028/nist.sp.921e2000
6. Portier R.W., Reneke P.A., Jones W.W., Peacock R.D. A User's Guide for CFAST Version 1.6. NISTIR 4985. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 1992. DOI: 10.6028/nist.ir.4985
7. Jones W.W., Forney G.P., Peacock R.D., Reneke P.A. A technical reference for CFAST: an engineering tool for estimating fire growth and smoke transport. Technical Note 1431. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2000. 178 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1431
8. Morente F., de la Quintana J., Wald F. PART 4: Software for fire design. 2015.
9. Dumont F., Bostrom L., Lukomski M., van den Berg G. Report of the EGOLF Round-Robin Nr. TC2 14-1 in Fire Resistance Testing. The European Group of Laboratories for Fire Testing (EGOLF), 2015.
10. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году : статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М. : ВНИИПО, 2018. 125 с.
11. Еремина Т.Ю., Фадеев В.Е. К оценке возможности внедрения экранных стен на объектах с массовым пребыванием людей // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2018. Т. 27. № 2–3. С. 57–66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.57-66
12. Korhonen T. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac. Technical Reference and User's Guide (FDS 6.6.0, Evac 2.5.2, DRAFT). VTT Technical Research Centre of Finland, 2018. 115 p.
13. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator. Technical reference guide. Volume 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. 149 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018e6
14. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator. Technical reference guide. Volume 2: Verification. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. 170 p.
15. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator. Technical reference guide. Volume 3: Validation. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. 509 p.
16. Forney G.P. Smokeview, a tool for visualizing fire dynamics simulation data. Volume I: User's Guide. NIST Special Publication 1017-1. Sixth Edition. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. 185 p.
17. Шебеко Ю.Н., Зубань А.В., Шебеко А.Ю. Расчет фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций при различных температурных режимах пожара // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2019. Т. 28. № 6. С. 29–34. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.29-34
18. Фадеев В.Е. Исследование предела огнестойкости экранных стен // *Пожарная безопасность*. 2019. № 2. С. 49–53.
19. Еремина Т.Ю., Портнов Ф.А. Проблемы и перспективы в области огнестойкости деревянных конструкций для высотных зданий // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2020. Т. 29. № 2. С. 34–43. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.34-43

REFERENCES

1. Olenick S.M., Carpenter D.J. An updated international survey of computer models for fire and smoke. *Journal of Fire Protection Engineering*. 2003; 13(2):87-110. DOI: 10.1177/1042391503013002001
2. Friedman R. An international survey of computer models for fire and smoke. *Journal of Fire Protection Engineering*. 1992; 4(3):81-92. DOI: 10.1177/104239159200400301
3. Janssens M.L. Evaluating computer fire models. *Journal of Fire Protection Engineering*. 2002; 13:19.
4. Twilt L., Hass R., Klingsch W., Edwards M., Dutta D. *Design Guide for Structural Hollow Section Columns Exposed to Fire*. Köln, Verlag TÜV Rheinland, 1994; 98.

5. Peacock R.D., Reneke P.A., Jones W.W., Bukowski R.W., Forney G.P. *A User's Guide for FAST: Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport. Special Publication 921. 2000 Edition.* Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2000; 192. DOI: 10.6028/nist.sp.921e2000
6. Portier R.W., Reneke P.A., Jones W.W., Peacock R.D. *A User's Guide for CFAST Version 1.6. NISTIR 4985.* Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 1992. DOI: 10.6028/nist.ir.4985
7. Jones W.W., Forney G.P., Peacock R.D., Reneke P.A. *A Technical Reference for CFAST: An Engineering Tool for Estimating Fire Growth and Smoke Transport. Technical Note 1431.* Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2000; 178. DOI: 10.6028/nist.tn.1431
8. Morente F., de la Quintana J., Wald F. *PART 4: Software for fire design.* 2015.
9. Dumont F., Bostrom L., Lukomski M., van den Berg G. *Report of the EGOLF Round-Robin Nr. TC2 14-1 in Fire Resistance Testing.* The European Group of Laboratories for Fire Testing (EGOLF), 2015.
10. *Fires and Fire Safety in 2017: Statistical book / ed. D.M. Gordienko.* Moscow, VNIPO Publ., 2018; 125. (rus.).
11. Eremina T.Yu., Fadeev V.E. To the assessment of the possibility of the introduction of curtain walling on objects with mass stay of people. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety.* 2018; 27(2-3):57-66. (rus.). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.57-66
12. Korhonen T. *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac. Technical Reference and User's Guide (FDS 6.6.0, Evac 2.5.2, DRAFT).* VTT Technical Research Centre of Finland, 2018; 115.
13. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator: Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition.* Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013; 149. DOI: 10.6028/nist.sp.1018e6
14. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator: Technical Reference Guide. Volume 2: Verification. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition.* Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013; 170.
15. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator: Technical Reference Guide. Volume 3: Validation. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition.* Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013; 509.
16. Forney G.P. *Smokeview, A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data. Volume I: User's Guide. NIST Special Publication 1017-1. Sixth Edition.* Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013; 185.
17. Shebeko Yu.N., Zuban A.V., Shebeko A.Yu. An evaluation of an actual fire resistance limit of non-protected steel structures for different temperature regimes of fires. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety.* 2019; 28(6):29-34. (rus.). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.29-34
18. Fadeev V.E. Study of fire resistance of screen walls. *Fire Safety.* 2019; 2:49-53. (rus.).
19. Eremina T.Yu., Portnov F.A. Problems and perspectives of fire resistance for wooden constructions in high-storey buildings. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety.* 2020; 29(2):34-43. (rus.). DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.34-43

Поступила 19.04.2020, после доработки 15.05.2020;

принята к публикации 28.05.2020

Received April 19, 2020; Received in revised form May 15, 2020;

Accepted May 28, 2020

Информация об авторах

ЕРЕМИНА Татьяна Юрьевна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; Author ID: 274777, ORCID: 0000-0003-1427-606X; e-mail: main@stopfire.ru

КОРОЛЬЧЕНКО Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, директор Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; Author ID: 352067, Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Information about the authors

Tatyana Yu. EREMINA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; Author ID: 274777, ORCID: 0000-0003-1427-606X; e-mail: main@stopfire.ru

Dmitriy A. KOROLCHENKO, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Head of Institute of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; Author ID: 352067, Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru