

ТР-5042

ВАЛИДАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЖАРОВ

Обзор зарубежных источников

СИТИС

Строительные Информационные Технологии и Системы
www.sitis.ru

ТР-5042

Валидация математических моделей пожаров.

Обзор зарубежных источников.

Редактор:

Грачев В.Ю.

Переводчики:

Борноволова Е. А.

Патрушева Н. А.

Слепушкин В. А.

© ООО «СИТИС», 2009 г.

© Грачев В.Ю., 2009 г.

ООО «СИТИС»

620028 Екатеринбург, ул. Долорес Ибаррури, 2

Тел: 310-00-99 e-mail: support@sitis.ru

www.sitis.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ.....	5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	6
ASTM E 1355–05a. СТАНДАРТНОЕ РУКОВОДСТВО ПО ОЦЕНКЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЖАРОВ.....	7
НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ.....	7
ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ.....	8
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДЕЛИ И СЦЕНАРИЯ.....	8
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА МОДЕЛИ.....	8
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И ЧИСЛЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ.....	9
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ТОЧНОСТИ МОДЕЛИ.....	9
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МОДЕЛИ.....	10
ОЦЕНКА МОДЕЛИ.....	11
ОТЧЕТ ОБ ОЦЕНКЕ МОДЕЛИ.....	14
ASTM E 1472–07. СТАНДАРТНОЕ РУКОВОДСТВО ПО СОСТАВЛЕНИЮ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ПОЖАРОВ.....	15
НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ.....	15
ТИПЫ ДОКУМЕНТОВ.....	15
ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ КО ВСЕМ ДОКУМЕНТАМ.....	16
СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТА.....	16
СОДЕРЖАНИЕ РУКОВОДСТВА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.....	17
СОДЕРЖАНИЕ РУКОВОДСТВА ПО УСТАНОВКЕ, ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И ПРОГРАММИРОВАНИЮ.....	19
ASTM E 1895–04. СТАНДАРТНОЕ РУКОВОДСТВО ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИМЕНЕНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЖАРОВ.....	21
НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ.....	21
РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОДЕЛИ.....	21
РУКОВОДСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКА МОДЕЛИ.....	22
РУКОВОДСТВО ДЛЯ НАДЗОРНЫХ ОРГАНОВ.....	22
ВОПРОСЫ ПО МОДЕЛЯМ ПОЖАРА.....	22
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	24

ПРЕДИСЛОВИЕ

Применение моделей пожара в настоящее время вышло за пределы научно-исследовательских лабораторий и используется большим числом инженеров для разработки решений противопожарной защиты зданий и сооружений. Необходима обоснованная оценка моделей пожара, чтобы пользователи моделей могли сделать выводы об адекватности научно-технической основы моделей, выбирать модели, подходящие для желаемого применения, и определить уровень доверия к результатам, спрогнозированным моделями. Адекватная оценка поможет предотвратить непреднамеренное неправильное использование моделей.

В данном обзоре приведены требования к валидации (подтверждению достоверности) математических моделей пожаров и соответствующего программного обеспечения, изложенные в американских стандартах ASTM.

Обзор не претендует на всеобъемлющее и объективное описание данной проблематики, в нем не приведены аналогичные данные из международных стандартов, стандартов европейских стран, а также стандартов и руководств других американских организаций (SFPE, NFPA). Более широкое освещение источников по теме будет являться предметом следующих редакций данного обзора.

Коллектив авторов

ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ

Обзор «Валидация математических моделей пожаров» составлен на основе информации, изложенной в стандартах Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM):

- оценка прогнозирующей способности детерминированных моделей пожаров (ASTM E 1355-05a. «Стандартное руководство по оценке прогнозирующей способности детерминированных моделей пожаров»);
- документация для компьютерного программного обеспечения для моделей пожаров (ASTM E 1472-07. «Стандартное руководство по составлению документации для компьютерного программного обеспечения для моделей пожаров»);
- применение и ограничения детерминированных моделей пожаров (ASTM E 1895-04. «Стандартное руководство по определению применения и ограничений детерминированных моделей пожаров»).

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Валидация модели (*model validation*) – процесс определения того, насколько метод расчета является точным отражением реального мира с точки зрения предполагаемого использования расчетного метода. Основной стратегией валидации является выявление и квантификация ошибки и неопределенности в концептуальных и вычислительных моделях с учетом предполагаемого использования. [Е 1355–05а, Е 176]

Верификация модели (*model verification*) – процесс установления, что реализация расчетного метода точно отражает концептуальное описание расчетного метода, сделанное разработчиком, и решение к расчетному методу. Основной стратегией проверки вычислительных моделей является выявление и оценка ошибки в вычислительной модели и её решении. [Е 1355–05а, Е 176]

Воспроизводимость модели (*model precision*) – означает ее детерминирующую способность и повторяемость. [Е 1355–05а, Е 176]

Оценка модели (*model evaluation*) – процесс измерения точности выбранных результатов модели при использовании для конкретных целей. [Е 1355–05а, Е 176]

Точность модели (*model accuracy*) – означает то, насколько правильно модель воспроизводит развитие реального пожара. [Е 1355–05а, Е 176]

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

<i>Model accuracy</i>	точность модели
<i>Model evaluation</i>	оценка модели
<i>Model precision</i>	воспроизводимость модели
<i>Model validation</i>	валидация модели
<i>Model verification</i>	верификация модели

ASTM E 1355–05a. СТАНДАРТНОЕ РУКОВОДСТВО ПО ОЦЕНКЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЖАРОВ

Данное руководство находится в ведении Комитета E 05 по пожарным стандартам Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM) и является прямой ответственностью Подкомитета E 05.33 по пожарно-техническому анализу. Настоящее издание утверждено и опубликовано в 2005 году.

Когда в 1985 году был сформирован Подкомитет E 05.39 по моделированию пожаров, одним из поручений ему, сформулированных в ответ на результаты исследования, проведенного членами Комитета E 05, было разработать рекомендации по валидации моделей пожара. Эта работа была отнесена к группе E 05.33 по пожарно-техническому анализу.

Было признано, что применение моделей пожара вышло за пределы научно-исследовательских лабораторий и распространилось в инженерном сообществе. Надежность прогнозов моделей для применения при проектировании гарантирована только в том случае, если модель прошла проверку на достоверность для конкретного применения, но на тот момент утвержденного стандарта по валидации не существовало.

Разработчики моделей пожара решали задачи по валидации своих моделей, и Центр по научным исследованиям пожаров при Национальном институте стандартов и технологий (NIST) разработал общую методологию проведения валидации моделей. Данное руководство было подготовлено с целью подвести итоги по последним достижениям в сфере валидации моделей в виде единого документа для применения разработчиками моделей или их пользователями. Чувствительность, математическая устойчивость и метод математической квантификации моделей сейчас подробно описаны в данном руководстве.

В руководстве представлена методология оценки прогнозирующей способности модели пожара для конкретного применения. Целью является охватить широкий спектр детерминированных численных моделей, которые могут использоваться при оценке воздействий пожаров на конструкции и в них. Данный стандарт не может быть использован для получения количественных показателей.

Описан рекомендуемый процесс оценки прогнозирующей способности пожарных моделей. Данный процесс включает в себя краткое описание модели и сценариев, для которых требуется провести оценку. Кроме того, представлены методологии проведения анализа по количественному определению чувствительности прогнозов модели к разным неопределенным факторам и некоторые альтернативы для оценки точности прогнозов модели. Исторически, численная точность касалась размера временного шага и ошибок. Более полная оценка должна включать в себя пространственную дискретизацию. В заключение, даются рекомендации по документации, требующейся для резюмирования процесса оценки.

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ

Процесс оценки модели является очень важным для определения допустимого применения и ограничений моделей пожара. Оценить модель глобально невозможно; вместо этого данное руководство предлагает методологию для оценки прогнозирующей способности в целях конкретного применения. Валидация модели для какого-либо одного применения или сценария не подразумевает подтверждения её достоверности для других сценариев. Дано несколько альтернатив для осуществления процесса оценки, включая: сравнение прогнозов со стандартными пожарными испытаниями, полномасштабными пожарными экспериментами, полевыми исследованиями, опубликованной литературой или ранее оцененными моделями.

Данное руководство было разработано для применения при валидации моделей пожара или валидации подмоделей, которые могут описывать одно или несколько явлений, связанных с пожаром. Предполагается понимание применения и ограничений анализируемой модели в соответствии с подробным описанием в стандарте ASTM E 1895 [4]. Данное руководство предназначено для использования в сочетании с другими руководствами, разрабатываемыми Комитетом E 05. Оно предназначено для использования следующими специалистами:

- *Разработчиками моделей* – для документирования пригодности конкретного метода расчета для конкретных случаев применения. Разработка модели помимо всего прочего включает в себя определение воспроизводимости результатов и ограничений пригодности, а также независимое тестирование.
- *Пользователями моделей* – чтобы убедиться, что они используют соответствующую конкретному применению модель, и что она обеспечивает адекватную точность.
- *Разработчиками функциональных норм по моделям* – чтобы удостовериться, что они включают в нормы надежные методики расчета.
- *Представителями утверждающих органов* – чтобы удостовериться, что результаты расчетов с использованием математических моделей, соответствующих данному руководству, процитированные при сдаче документов, ясно показывают, что модель используется в пределах допустимых ограничений и имеет допустимый уровень точности.
- *Преподавателями* – для демонстрации применения и приемлемости расчетных методов, которым они обучают.

Данное руководство не предназначено для описания процедуры приемочных испытаний. Основной упор в данном руководстве сделан на численные модели развития пожара. Под воспроизводимостью модели понима-

ется её детерминирующая способность и повторяемость. Под точностью модели понимается, насколько правильно модель воспроизводит развитие реального пожара.

ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ

Методология представлена исходя из четырех областей оценки:

- определение модели и сценариев, для которых требуется проведение оценки;
- проверка соответствия теоретической основы и допущений, применяемых в модели;
- оценка математической и численной устойчивости модели; и
- измерение неопределенности и точности результатов модели в прогнозировании хода событий в подобных сценариях пожара.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДЕЛИ И СЦЕНАРИЯ

Документация по модели

Для оценки адекватности научной и технической основ моделей и точности вычислительных процедур необходимо наличие достаточной документации по вычислительным моделям, включая программное обеспечение. Кроме того, соответствующая документация поможет предотвратить непреднамеренное неправильное применение моделей пожара. Рекомендации о документации по компьютерным моделям пожара представлены в Руководстве ASTM E 1472 [3]. Рекомендации по применению и ограничениям детерминированных моделей пожара и по необходимым знаниям изложены в Руководстве ASTM E 1895 [4].

Документация по модели обеспечивает подробное описание модели, оцениваемой во всех деталях, чтобы пользователь смог самостоятельно повторить процедуру оценки. Как минимум, должна быть изложена следующая информация:

- название и версия модели;
- название разработчика(-ов) модели;
- список соответствующих изданий;
- формулировка утвержденных применений, ограничений и результатов модели;
- тип модели, являющийся общей основой исходя из управляющего тома конечных элементов, функции Лагранжа и т.п.;
- изложение строгости моделирования, включая: допущения, присущие модели, и основные уравнения, входящие в формулы модели; и числовые данные, применяемые для решения уравнений, и метод, посредством которого связаны отдельные решения.
- дополнительные допущения модели, имеющие отношение к названным или потенциальным применениям;
- входные данные, требующиеся для запуска модели; и
- данные о свойствах, определяемые с помощью компьютерной программы, или заложенные как допущения при разработке модели, а именно: какая эмпирическая информация включена, и неопределенность, присущая этому выбору. Примером при зонном моделировании будет служить уравнение струи, а в модели вычислительной гидродинамики примером могут быть граничные условия с проскальзыванием и без него.

Документация по сценарию

В документации представлено полное описание сценариев или интересующих явлений при оценке для содействия соответствующему применению модели, для помощи в формировании реалистичных входных данных для модели и разработки критериев для заключения о результатах оценки.

Документация по сценарию включает в себя подробное описание целого спектра параметров, для которых проведена оценка. Необходимо предоставление достаточной информации, чтобы пользователь оценки мог самостоятельно повторить её проведение. Как минимум, должна быть представлена следующая информация:

- описание сценариев или интересующих явлений;
- список параметров, прогнозируемых моделью, для которых необходима оценка, и
- степень точности, требующаяся для каждого параметра.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА МОДЕЛИ

Независимый анализ лежащих в основе модели физических и химических процессов обеспечивает соответствующее применение подмоделей, образующих вместе единую модель. Теоретическая основа модели должна пройти процедуру оценки у одного или нескольких признанных экспертов в области химии и физики пожаров, не задействованных в производстве модели. Для получения критического обзора оценки может быть достаточно изложения теоретических основ модели в статье журнала для оценки коллегами. Обзор должен включать в себя:

- оценку наличия всего комплекта документов с учетом допущений и аппроксимаций;
- оценку того, достаточно ли научных доказательств в общедоступной научной литературе, оправдывающих применение используемых подходов и исходных допущений;
- оценку точности и пригодности эмпирических или справочных данных, применяемых для постоянных значений и значений по умолчанию в контексте модели;
- систему уравнений, которые подлежат решению; в случаях, для которых необходимы замыкающие уравнения (не включено в предыдущий пункт), допущение и значение такого выбора.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И ЧИСЛЕННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Компьютерную реализацию модели необходимо проверить, чтобы удостовериться, что такая реализация соответствует указанной документации. Виды анализа, которые могут быть проведены:

Аналитические тесты

Если программу необходимо применить к ситуации, для которой существует известное математическое решение, мощным инструментом проверки правильности функционирования модели является аналитическое тестирование. Тем не менее, есть ряд ситуаций (особенно при сложных сценариях), для которых аналитические решения известны. Для подмоделей следует провести аналитические тесты. Например, возможно получить решение в замкнутой форме для тепловых потерь через перегородку; модель должна быть способна выполнить этот расчет.

Проверка кода

Код может быть проверен на структурной основе предпочтительно третьим лицом вручную либо с использованием программ проверки кода для выявления отклонений и противоречий в машинном коде. Процесс проверки кода может повысить уровень доверия к способности программы правильно обрабатывать данные, но не может показать степень адекватности или точности используемой программы.

Численные тесты

Математические модели обычно выражены в форме дифференциальных или интегральных уравнений. Модели, в основном, очень сложны, а аналитические решения найти трудно или даже невозможно. Численные методы необходимы для нахождения приближительных решений. Эти численные методы могут быть источником ошибки в прогнозируемых результатах. Численные тесты включают в себя исследование величины остаточных погрешностей от решения системы уравнений, использованных в модели, в качестве показателя численной точности и исследование снижения остаточных погрешностей в качестве показателя численной сходимости. Алгебраические уравнения должны быть подвергнуты тестам на выявление ошибок (неопределенности), обыкновенные дифференциальные уравнения – на выявление ошибок временного шага, а дифференциальные уравнения в частных производных – на анализ дискретизации сетки. Это включает в себя проверку остаточной погрешности решения, устойчивости выходных переменных, общую проверку по сохранению соответствующих параметров, влияния граничных условий и наличия сходимости сетки и временного шага. В заключение, необходимо удостовериться в том, что соблюдены требования к согласованности и устойчивости.

Многие пожарные задачи включают в себя взаимодействие разных физических процессов, таких как химические или тепловые процессы и механическая реакция. Шкалы времени, связанные с процессами, могут значительно отличаться, что легко вызывает численные трудности. Такие задачи называются жесткими. При применении некоторых численных методов для решения жестких задач могут возникать трудности, поскольку эти методы покорно следуют быстрым изменениям, даже если эти изменения менее важны, чем общее направление в решении. Для решения жестких задач разработаны особые алгоритмы.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ТОЧНОСТИ МОДЕЛИ

Неопределенность модели. Даже детерминированные модели зависят от входных данных, зачастую основанных на экспериментальных измерениях, эмпирических корреляциях или подсчетах, выполненных на основе инженерной оценки. Неопределенности во входных данных могут привести к соответствующим неопределенностям в выходных данных модели. Для количественного анализа неопределенностей в выходных данных модели, основываясь на известных или установленных неопределенностях во входных данных модели, применяется анализ чувствительности. Рекомендации по получению входных данных для моделей пожара изложены в Руководстве ASTM E 1591. Подробное описание анализа чувствительности, применимого к оценке прогнозирующей способности моделей пожара, представлено в следующем разделе.

Экспериментальная неопределенность. В целом, результат измерения есть лишь результат аппроксимации или оценки конкретного количества, подвергаемого измерению, и, таким образом, результат является полным, только когда сопровождается количественным выражением неопределенности. Рекомендации по проведению полномасштабных испытаний в помещениях приведены в Руководстве ASTM E 603. Рекомендации по определению неопределенности в измерениях приведены в стандарте Международной организации по стандартизации (ISO) «Руководство по выражению неопределенности в измерениях».

Оценка модели. Для получения точных оценок поведения пожара с использованием прогнозирующих моделей необходимо следующее: а) формирование правильных входных данных модели в соответствии со сценариями, которые предстоит смоделировать; б) правильный выбор модели в соответствии со сценариями, которые предстоит смоделировать; в) правильные расчеты, выполненные выбранной моделью; и г) правильная интерпретация результатов расчета, выполненного моделью. Оценка конкретного сценария с разным уровнем знаний об ожидаемых результатах расчета касается этих многочисленных источников потенциальной ошибки. Подробное описание, применимое к оценке прогнозирующей способности моделей пожара, изложено в разделе «Оценка модели».

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МОДЕЛИ

Модели развития пожара, как правило, основаны на системе обыкновенных дифференциальных уравнений в форме

$$\frac{dz}{d\tau} = f(z, p, t) \quad z(\tau = 0) = z_0 \quad (1)$$

где:

$z (z_1, z_2, \dots, z_m)$ – вектор решения для системы уравнений (например: масса, температура или объем)

$p (p_1, p_2, \dots, p_n)$ – вектор входных параметров (например: площадь помещения, высота помещения, скорость выделения тепла), и

τ – время.

Решения этих уравнений, в целом, неизвестны в явном виде и должны быть определены численным образом. Для изучения чувствительности такой системы уравнений необходимо исследовать частные производные выходного параметра z_i с учетом входного параметра p_j (для $j = 1, \dots, m$ и $i = 1, \dots, n$).

Анализ чувствительности модели является изучением того, как изменения в параметрах модели влияют на результаты, выдаваемые моделью. Прогнозы модели могут быть чувствительны к неопределенностям во входных данных, к уровню строгости, применяемому при моделировании соответствующих физических и химических процессов, и к точности числовой обработки. Цель проведения анализа чувствительности – оценить степень, до которой неопределенность во входных данных модели проявляется в виде неопределенности в результатах прогноза модели. Эта информация может использоваться для:

- определения основных переменных в моделях;
- определения приемлемого спектра значений для каждой входной переменной;
- количественного анализа чувствительности выходных переменных к изменениям во входных данных; и
- информирования и предупреждения потенциальных пользователей о степени и уровне внимательности, необходимом при выборе входных данных и выполнении модели.

Входные данные моделей состоят из:

- *данных для конкретного сценария* – таких как геометрия домена, окружающие условия и особенности описания пожара;
- *данных о свойствах* – таких как теплопроводность, толщина и теплоёмкость; и
- *численных констант* – таких как константы модели турбулентности, коэффициенты вовлечения воздуха и константы отверстий.

Проведение анализа чувствительности модели пожара непростая задача. Многие модели требуют большого количества входных данных и делают прогнозы для многочисленных выходных переменных за продолжительный период времени.

Время и стоимость становятся важными факторами при определении масштаба и уровня анализа. Практическая проблема, которую необходимо решать при планировании эксперимента по анализу чувствительности, заключается в том, что количество требующихся прогонов модели быстро возрастает с увеличением количества входных параметров и количества независимых переменных. Следовательно, полный факторный эксперимент может оказаться недопустимым, учитывая количество затрачиваемых человеко-часов в пересчете на получаемый результат.

Во многих случаях неполные факторные эксперименты соответствуют цели получения информации о влиянии изменения входных параметров и логически вытекающих взаимодействий, считающихся важными. В этом случае взаимодействия третьего и выше порядков можно не учитывать.

В отношении анализа чувствительности моделей с большим количеством параметров доступны эффективные методы для проведения анализа с легко управляемым количеством отдельных расчетов модели. Для высоко нелинейных моделей пожаров методом выбора наиболее часто становится *выборка латинского гиперкуба*. Возможный диапазон для входного параметра делится на N интервалов равной вероятности. Для каждого входного параметра одно значение выбирается случайно внутри каждого из N интервалов. Из итоговых N вероятностей для каждого входного параметра случайно выбирается одно значение. Этот набор значений используется для первого расчета. Описанная процедура повторяется N раз для получения N наборов параметров для итогового N расчетов модели. Разработано программное обеспечение, которое может рассчитывать значения параметров для выборки латинского гиперкуба.

К моделям пожаров применяется несколько методов анализа чувствительности. Метод, выбранный для применения, будет зависеть от имеющихся ресурсов и анализируемой модели. Ниже описаны два распространенных типа методов анализа:

Глобальные методы

Дают измерения чувствительности, которые усредняются по всему диапазону входных параметров. Глобальные методы требуют знания функций плотности вероятности входных параметров, которые в случае с моделями пожаров, как правило, неизвестны.

Локальные методы

Дают измерения чувствительности для конкретного набора входных параметров и должны быть повторены для диапазона входных параметров, чтобы получить информацию о функционировании модели в целом. Методы конечных разностей могут применяться без модифицирования системы уравнений модели, но требуют тщательного отбора входных параметров для получения качественных оценок. Прямые методы дополняют

систему уравнений модели уравнениями чувствительности, выведенными из системы уравнений, решаемых моделью. Затем уравнения чувствительности решаются в сочетании с системой уравнений модели для получения значений чувствительности. Прямые методы должны быть включены в разработку модели пожара и далеко не всегда имеются для уже существующих моделей пожара. Существует несколько классов локальных методов, которые представляют интерес. Они представлены ниже, и в них использованы условные обозначения из уравнения (1).

Методы конечных разностей дают оценочные показатели по функциям чувствительности посредством аппроксимации частных производных выходного показателя z_j с учетом входного показателя p_i в качестве конечных разностей:

$$\frac{\partial z_j}{\partial p_m} = \frac{z_j(p_1, p_2, \dots, p_m + \Delta p_m, \dots, p_k) - z_j(p_1, p_2, \dots, p_m, \dots, p_k)}{\Delta p_m} \quad (2)$$

$j = 1, 2, \dots, n, \quad m = 1, 2, \dots, k$

Этот метод прост и эффективен в применении. Тем не менее, как с любым методом конечных разностей, выбор Δp_m является основным для получения качественных оценочных показателей. Для определения $n \cdot k$ уравнений чувствительности первого порядка требуется $k + 1$ прогонов модели. Они могут осуществляться совместно как одна большая система или параллельно.

Прямые методы выводят дифференциальные уравнения чувствительности из системы обыкновенных дифференциальных уравнений модели:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial z_j}{\partial p_m} = \frac{\partial f_j}{\partial p_m} + \sum_i \frac{\partial f_j}{\partial z_i} \frac{\partial z_i}{\partial p_m} \quad j = 1, 2, \dots, n, m = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

Затем эти уравнения решаются в сочетании с системой дифференциальных уравнений модели для получения значений чувствительности. Для расчета $n \times k$ значений чувствительности первого порядка требуется 1 прогон модели. Они могут быть напрямую включены в модель и решаться как единая сдвоенная система $n + (n \cdot k)$ дифференциальных уравнений либо как несвязное решение уравнений модели и уравнений чувствительности, повторно использующих решение модели и соответствующую схему интерполяции.

Метод анализа на поверхности отклика

К выбранной системе прогонов модели подбирается соответствующий вектор функций. Предполагается, что полученная в результате метамодель ведёт себя таким же образом, что и сама модель. Посредством соответствующего выбора функций полученную метамодель анализировать проще, чем фактическую модель. Затем решаются уравнения для выполнения анализа чувствительности по метамодели. Определитель Якоби решения метамодели отображает уравнения чувствительности.

ОЦЕНКА МОДЕЛИ

Модель должна быть оценена для конкретного применения исходя из её количественной способности прогнозировать результаты, такие как:

- рост и распространение пожара (характеризующегося температурой, дымом, концентрацией газов и т.д.);
- скорость распространения пламени, огнестойкость и т.д.;
- пожароопасность (характеризующаяся имеющимся временем эвакуации, выживаемостью и т.д.);
- отклик активной и пассивной противопожарной защиты; или
- другое свойство.

Оценка модели касается многочисленных источников потенциальной ошибки в проектировании и применении прогнозирующих моделей пожара, включая: а) обеспечение правильных входных данных модели в соответствии со сценариями, которые предстоит смоделировать; б) правильный выбор модели в соответствии со сценариями, которые предстоит смоделировать; в) правильные расчеты, выполненные выбранной моделью; и г) правильную интерпретацию результатов расчета, выполненного моделью. Оценка конкретного сценария с разными уровнями знаний об ожидаемых результатах расчета касается этих многочисленных источников потенциальной ошибки. Установлено, что в оценку конкретной модели может быть включен один либо несколько этих уровней.

Слепой расчет

Пользователю модели предоставляется основное описание сценария, который предстоит смоделировать. Для данного применения описание задачи неточное; пользователь модели отвечает за формирование соответствующих входных данных модели исходя из описания задачи, включая при необходимости дополнительные детали геометрии, свойств материалов и описания пожара. Дополнительные детали, необходимые для моделирования сценария с помощью конкретной модели, остаются на усмотрение пользователя модели. Помимо демонстрации совместимости моделей в фактических условиях эксплуатации, этот метод протестирует способность пользователей модели формировать соответствующие входные данные для моделей.

Заданный расчет

Пользователю модели предоставляется полное детальное описание входных данных модели, включая геометрию, свойства материалов и описание пожара. В качестве дополнения к слепому расчету данный тест даёт более тщательное сравнение физических процессов, лежащих в основе моделей, с более конкретизированным сценарием.

Открытый расчет

Пользователю модели предоставляется самая подробная информация о сценарии, включая геометрию, свойства материалов, описание пожара и результаты экспериментальных тестов или эталонных тестов модели, которые использовались в оценке слепых или заданных расчетов сценария. Дефицит имеющихся входных данных (используемых для слепого расчета) должен стать более очевиден при сравнении открытого и слепого расчета.

Описание задачи и входные данные модели

Разным моделям могут потребоваться значительно отличающиеся друг от друга детали в описании задачи для каждого из трёх уровней, описанных выше. Например, некоторым моделям могут потребоваться точные детали геометрии, в то время как для других достаточно помещения простого объёма. Для некоторых моделей необходимо подробное описание пожара, где входными параметрами будут служить показатели скорости выделения тепла, скорости пиролиза и выделения веществ. Для других моделей это могут быть выходные данные расчета. Для каждого из трёх уровней оценки необходимо соответствующее описание задачи, достаточное для её моделирования.

Оценка модели может быть проведена с использованием одного или более инструментов, перечисленных ниже.

Сравнение со стандартными тестами

- Рекомендации по проведению тестов представлены в описании соответствующего метода тестирования. Как правило, условия тестирования четко определены и сфокусированы на одной или более заданных выходных переменных.
- Прогнозы модели могут быть протестированы по тестовым выходным переменным. Этот подход может быть особенно полезен для оценки моделей, спроектированных для прогнозирования параметров, таких как: огнестойкость, скорость распространения пламени и т.д.
- При наличии соответствующих данных прогнозы модели следует рассматривать в свете неопределенности в тестовых/экспериментальных данных по сравнению с неопределенностью в результатах модели, возникающих из-за неопределенности в её входных данных.

Сравнение с полномасштабными тестами, проводимыми специально для выбранной оценки

Рекомендации по проведению полномасштабных тестов в помещениях приведены в Руководстве ASTM E 603. Расчеты должны быть спроектированы таким образом, чтобы максимально корректно дублировать характерные признаки сценариев, для которых проводится оценка. Данные должны быть достаточно подробными (например, исходные условия, временные шкалы и т.п.) для установления соотношения между прогнозируемыми и измеренными параметрами.

Прогнозирующие способности могут быть оценены посредством сравнения прогнозируемых значений и измеренных значений важных параметров, сравнения ключевых событий при пожаре и сравнения основных поведенческих черт, прогнозируемых моделью и измеряемых в ходе моделирования.

При наличии соответствующих данных прогнозы модели следует рассматривать в свете изменчивости результатов полномасштабных тестов и чувствительности модели.

Сравнение с ранее опубликованными данными полномасштабных испытаний

Следует быть внимательным и удостовериться, что тест точно смоделировал сценарий, для которого проводится оценка. Например, входные данные для прогноза модели должны отражать реальные условия теста, и для обеспечения точности сравнений может потребоваться некоторая нормализация данных.

Несмотря на то проведены или нет основные измерения, прогнозирующие способности часто могут быть оценены посредством сравнения прогнозируемых значений и измеренных значений важных переменных, сравнения ключевых событий при пожаре и сравнения основных поведенческих черт, прогнозируемых моделью и измеренных в ходе моделирования.

При наличии соответствующих данных прогнозы модели следует рассматривать в свете изменчивости результатов полномасштабных тестов и чувствительности модели.

Сравнение с пожарными испытаниями, подтвержденным документацией

Статистические данные по пожарному опыту должны быть оценены на предмет их надежности.

Прогнозы модели можно сравнить:

- с рассказами свидетелей о реальных пожарах;
- с известными фактами о поведении материалов при пожарах (например, температуры плавления материалов);

- с наблюдаемыми условиями после пожара, такими как известное поведение материалов при пожарах (например, температуры плавления материалов), степень распространения пожара, выживаемость и т.д.

Сравнение с проверенными эталонными моделями

Следует быть внимательным и удостовериться, что *эталонная* модель была оценена именно для тех сценариев, которые представляют интерес.

Прогнозирующие способности можно оценить посредством сравнения прогнозируемых значений важных параметров, сравнения ключевых событий при пожаре, прогнозируемых обеими моделями, и сравнения основных поведенческих черт, прогнозируемых обеими моделями.

При наличии соответствующих данных прогнозы модели следует рассматривать в свете изменчивости чувствительности прогнозов обеих моделей.

Количественный анализ оценки модели

Необходимый и воспринимаемый уровень согласования для любого прогнозируемого параметра зависит от стандартного применения данного параметра в контексте оцениваемого конкретного применения, природы сравнения и контекста сравнения в связи с другими проводимыми сравнениями.

Для точечных сравнений, таких как сравнения времени для критических событий или максимальных значений, результаты могут быть выражены в виде абсолютной разницы (*значение модели – контрольное значение*), относительной разности (*значение модели – контрольное значение*) / *контрольное значение* или, при необходимости, другого сравнения.

Для сравнения двух зависимых от времени кривых соответствующие количественные сравнения зависят от характеристик кривых:

- Для стационарного или почти стационарного пожара сравнение может быть выражено в виде средней абсолютной разности или средней относительной разности.
- Для других сравнений (нестационарного пожара):
 - a) сравнение может быть выражено исходя из диапазона вычисленной абсолютной разности или относительной разности; и
 - b) сравнение может быть выражено посредством сравнения интегрированного по времени значения интересующего параметра.
 - c) Концепция нормы даёт определение длины вектора. Расстояние между двумя векторами - это длина вектора, получающаяся из разности двух векторов. Условное обозначение записывается как $\|\vec{x}\|$, где \vec{x} - обозначение для n -размерного вектора $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$. Все данные могут быть представлены вектором значений, \vec{E} , измеряемом в каждый момент времени. Прогнозы модели в одни и те же моменты времени могут быть представлены вектором \vec{m} . Расстояние между этими двумя векторами является нормой разности векторов или $\|\vec{E} - \vec{m}\|$. Евклидова норма является наиболее наглядной для расчета этой длины:

$$\|\vec{x}\| = \sqrt{\sum_i x_i^2} \quad (4)$$

Скалярное произведение двух векторов $\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle$ является произведением длины двух векторов и косинуса угла между ними, т.е.

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \|\vec{x}\| \cdot \|\vec{y}\| \cos(\angle(\vec{x}, \vec{y})) \quad (5)$$

или

$$\cos(\angle(\vec{x}, \vec{y})) = \frac{\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle}{\|\vec{x}\| \cdot \|\vec{y}\|} \quad (6)$$

что является разностью в форме двух кривых. Выбор скалярного произведения в качестве стандартного скалярного произведения даёт результаты, согласующиеся с типичной евклидовой интерпретацией:

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \sum x_i y_i \quad (7)$$

Скалярное произведение Хеллингера для функций x , так чтобы $x(0)=0$, определяется, основываясь на первой производной функции:

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \int_0^T x'(t) y'(t) dt \quad (8)$$

Для дискретных векторов это уравнение может быть аппроксимировано с помощью первых разностей следующим образом:

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \quad (9)$$

Основываясь на первой производной или касательных к кривым, скалярное произведение Хеллингера и норма дают измерение чувствительности сравнения формы двух векторов. Вариация скалярного произведения Хеллингера может быть определена, основываясь скорее на секущей, чем на касательной:

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \int_{pT}^T \frac{(x(t) - x(t - pT)) \cdot (y(t) - y(t - pT))}{(pT)^2} dt \quad (10)$$

где $0 < p < 0,5$ определяет длину секущей. Предел скалярного произведения секущей в виде $p \rightarrow 0$ является интегралом Хеллингера. Для дискретных векторов это уравнение можно аппроксимировать аналогично геометрии Хеллингера:

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=s}^N (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-s}} \quad (11)$$

Когда $s=1$, определение секущей эквивалентно дискретному скалярному произведению Хеллингера. В зависимости от значения p или s скалярное произведение секущей и норма обеспечивают уровень осреднения данных и, следовательно, более качественные измерения крупномасштабных разностей между векторами. Для экспериментальных данных с неотъемлемым небольшим шумом или прогнозов модели с численной неустойчивостью, секущая обеспечивает фильтр для сравнения общей функциональной формы кривых без присутствующего шума. В заключении, гибрид евклидова и скалярного произведения секущей обеспечивает баланс между порядком ранга евклидовой нормы и функциональной формы секущей. Исходя из аксиом, сумма двух скалярных произведений также является скалярным произведением. В данном руководстве мы рассмотрим простую взвешенную сумму евклидова скалярного произведения и скалярного произведения секущей, или

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N x_i y_i + \frac{1}{n-s} \frac{\sum_{i=s}^n (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{(t_i - t_{i-s})} \quad (12)$$

Поскольку как евклидова относительная разность, так и косинус имеют соответствующее ранжирование для всех моделей, косинус не даёт большого дифференцирования между прогнозами модели. Значения Хеллингера и секущей обеспечивают больший диапазон, поскольку они более точно сравнивают функциональные формы эксперимента и моделей. Гибридная форма объединяет их лучшие характеристики. Значения гибридной нормы меньше 0,3 и гибридного коэффициента формы больше 0,9 удовлетворяют критериям, что две кривые согласуются.

ОТЧЕТ ОБ ОЦЕНКЕ МОДЕЛИ

Отчет об оценке предназначен для предоставления пользователю достаточной информации для самостоятельного повторения процедуры оценки. Как минимум, должна быть предоставлена следующая информация:

- дата отчета об оценке;
- лицо или организация, ответственная за проведение оценки;
- конкретная справочная информация для отчета об оценке. Уместны ссылки на документацию по модели, отчеты об экспериментальных измерениях, отчеты об анализе чувствительности и дополнительные отчеты об оценке;
- описание модели и сценариев, для которых проводится оценка;
- описание теоретической основы модели;
- описание математической и численной устойчивости модели;
- подробности проведенного анализа чувствительности;
- подробности проведенного анализа прогнозирующих способностей модели; и
- известные ограничения по применению оценки для других пожарных сценариев.

ASTM E 1472–07. СТАНДАРТНОЕ РУКОВОДСТВО ПО СОСТАВЛЕНИЮ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ПОЖАРОВ

Данное руководство находится в ведении Комитета E 05 по пожарным стандартам Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM) и является прямой ответственностью Подкомитета E 05.33 по пожарно-техническому анализу. Настоящее издание утверждено и опубликовано в 2007 году.

Когда в 1985 году был образован Подкомитет E 05.39 Американского общества по испытаниям и материалам по моделированию пожара, одним из поручений, сформулированных в ответ на результаты исследования членов Комитета E-5 Американского общества по испытаниям и материалам, а позднее отраженных в сфере деятельности комитета, было разработать стандартный порядок составления документации для моделей пожаров.

На момент составления данного руководства, еще не существовало общепринятого стандарта по составлению документации для компьютерного программного обеспечения для моделей пожаров. Модели пожаров, выпущенные за последнее десятилетие, содержали как хорошо составленные, так и неубедительные версии документов.

Данное руководство является одним из четырех руководств, составленных Подкомитетом E 05.39 по пожарному моделированию.

В данном руководстве представлена информация, которая должна содержаться в документации для компьютерного программного обеспечения, предназначенного для научно-технических расчетов в моделях пожаров и других областях противопожарной защиты.

Требования руководства представлены в соответствии с тремя видами документации:

- технический документ,
- руководство пользователя,
- руководство по установке, техническому обслуживанию и программированию.

Данный стандарт не содержит численных значений. В качестве нормы для документации и разработки моделей пожаров рекомендуется использовать единицы международной системы единиц.

Данный пожарный стандарт не может быть использован для получения количественных показателей.

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ

Данное руководство предоставляет рекомендации для разработчиков руководств пользователей и других документов для компьютерного программного обеспечения, предназначенных для научно-технических расчетов в моделях пожаров и других областях противопожарной защиты. Данное руководство предоставляет информацию, которая может быть использована в соответствии с тремя типами документов.

Задача данного руководства заключается в том, чтобы содействовать в понимании, использовании, передаче, преобразовании и модификации компьютерного программного обеспечения. Если опции и требования, представленные в данном руководстве, рассматриваются после подготовки документации, программное обеспечение должно использоваться с большей готовностью по предполагаемому назначению.

Необходима четкая документация компьютерного программного обеспечения для моделей пожара, чтобы пользователи моделей могли оценить адекватность научно-технической основы моделей, выбрать подходящую компьютерную рабочую среду и эффективно использовать программное обеспечение в пределах установленных ограничений. Адекватная документация поможет предотвратить непреднамеренное неверное использование моделей пожара.

ТИПЫ ДОКУМЕНТОВ

Существует множество уровней требуемой документации, от документации, необходимой пользователю только для запуска программ, до документации, необходимой для внесения существенных изменений или дополнений к программам. В данном руководстве представлены три типа документов:

- технический документ,
- руководство пользователя,
- руководство по установке, техническому обслуживанию и программированию.

Требования к данным руководствам можно объединить в одном документе. Документы должны быть составлены и организованы с учетом предполагаемого опыта и требований пользователя.

Технический документ

Данный тип документа предназначен для использования лицами, заинтересованными в подробном пояснении научной основы модели. Примерами этого типа документа служат статьи в научно-технических журналах.

Руководство пользователя

Это полноценное руководство, предназначенное для будущих пользователей моделей пожаров. Благодаря руководству данного типа, пользователь модели должен понимать применение и методологию модели, вос-

производить компьютерную рабочую среду и результаты пробных задач, включенных в данное руководство, корректировать входные данные и запускать программу для заданного ряда параметров и предельных случаев. Руководство должно быть достаточно сжатым и служить в качестве справочного документа для подготовки входных данных и интерпретации результатов.

Руководство по установке, техническому обслуживанию и программированию

Данный тип руководства предназначен для лиц, ответственных за установку программы на компьютере, ее модификацию или расширение, чтобы она отвечала локальным требованиям, преобразование ее в другую компьютерную среду или ее изменение в соответствии с технологическим прогрессом. Этот тип руководства рекомендуется, в случае если доступен исходный текст программы.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ КО ВСЕМ ДОКУМЕНТАМ

Идентификация программы

- указать наименование программы или модели, дескриптивное наименование и необходимую информацию, однозначно определяющую версию;
- определить все акронимы или сокращенные наименования модели;
- указать на любые правовые ограничения по использованию и копированию;
- описать любые соотношения с другими моделями.

Изменения в программе

- указать название, полную идентификацию и версию программы, подлежащей изменению;
- определить эквивалентную версию программы с внесенными изменениями;
- указать измененные разделы и изложить причины изменений.

Авторы и ответственность за обеспечение поддержки

- предоставить инструкции по получению более подробной информации или предоставить данные о должности, звании, имени, а также номер телефона и почтовый адрес лица, ответственного за обеспечение поддержки;
- дать описание истории разработки модели, имена и адреса ответственных лиц и организаций;
- обозначить текущее местонахождение модели.

Доступные материалы

Перечислить содержание и стоимость какого-либо пакета программ, и процедуру получения этого материала.

Комментарий к компьютерному программному обеспечению

Перечислить характеристики программы и минимальные аппаратные требования для ввода в эксплуатацию.

СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТА

Задача или функция

- определить задачу моделирования пожара или функцию, выполняемую программой, например, расчёт развития пожара, распространения дыма, движения людей и т.д.;
- описать общую проблемную среду моделирования пожара. Здесь могут быть приведены общие блок-схемы;
- включить любую требуемую вспомогательную информацию, такую как анализ осуществимости или обосновывающие утверждения.

Техническое описание

Всесторонне изложить теоретические и математические основы, указав ссылки на открытые литературные источники, где это уместно.

Теоретическое обоснование:

- описать теоретическую основу явления и физические законы, на которых основана модель;
- представить основные уравнения и используемую математическую модель;
- определить основные допущения, на которых основывается модель пожаров и любые упрощающие допущения;
- предоставить результаты независимой экспертизы теоретической основы модели. Рекомендуется привлечь одного или нескольких авторитетных специалистов, владеющих необходимыми знаниями в области химии и физики явлений пожаров, но не имеющих отношения к разработке модели.

Математическое обоснование:

- описать математические методы, методики и вычислительные алгоритмы, используемые для получения

- численных решений;
- предоставить ссылки на алгоритмы и численные методы решения;
- представить математические уравнения в виде принятых обозначений и продемонстрировать их реализацию в программе;
- проанализировать точность результатов, полученных при помощи важных алгоритмов и все известные зависимости от определенных компьютерных средств;
- для итеративных решений проанализировать применение и интерпретацию проверки сходимости и рекомендовать спектр значений критериев сходимости. Для вероятностных решений проанализировать точность результатов, имеющих статистические несоответствия.
- определить ограничения модели, основанные на алгоритмах и численных методах решения;
- предоставить результаты всех исследований, выполненных в соответствии с математической и числовой устойчивостью модели. Среди прочих исследований, перечисленных в Руководстве ASTM E 1355 [2], для этих целей подходят аналитические тесты, проверки программ и численные тесты.

Описание программы

- дать описание программы;
- перечислить все вспомогательные программы или файлы внешних данных, необходимые для использования этой программы.

Библиотеки данных

Предоставить вспомогательную информацию об источнике, содержании и использовании библиотек данных.

Оценка прогнозирующей способности

Предоставить результаты попыток оценить прогнозирующие способности модели для специального применения, используя методологии, изложенные в Руководстве ASTM E 1355 [2]. Привести сценарии, используемые при оценке и все известные ограничения по использованию оценки для других сценариев пожаров.

Чувствительность

Предоставить результаты анализа чувствительности модели в соответствии с Руководством ASTM E 1355 [2].

СОДЕРЖАНИЕ РУКОВОДСТВА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Технический документ

- привести полностью или составить аннотацию технического документа.

Описание программы

- включить всестороннее самодостаточное описание программы;
- определить основные выполняемые операционные задачи и описать применяемые методы и процессы. Желательно схематическое отображение потока расчета.
- печатное руководство пользователя может быть дополнено оперативной информацией (помощь, справка и т. п.).

Информация по установке и эксплуатации

- дать инструкции по установке программы в целевой системе, при необходимости привести примеры типичного диалогового окна с системными и экспериментальными данными;
- указать компьютеры, на которых программа была выполнена успешно и все требуемое периферийное оборудование, включая требования к памяти и магнитные ленты;
- определить языки программирования и их используемые версии;
- определить операционную систему программного обеспечения и используемые версии, включая библиотечные программы.

Характеристики программы

- описать функции каждой основной опции, доступной для решения различных задач, обратить особое внимание на воздействие сочетаний опций;
- описать альтернативные пути, которые могут быть динамически выбраны программой из тестов по рассчитанным результатам;
- описать соотношение между входными и выходными элементами для программ, которые переформатируют данные;
- описать метод и техническую основу для решений в программах, выполняющих логические операции;
- описать основу для выполняемых в программе операций.

Общие требования к входным данным

- описать источник входной информации, например, справочники, журналы, отчеты об исследованиях,

- стандартные испытания, опыты и т.д.;
- описать специальные методы и требования ввода, например, формат, заполнение пустых полей, порядок элементов и вычерчивание полей;
- описать обработку последовательных примеров, перечислить условия сохранения данных или возврата к исходным значениям при переходе к следующему примеру;
- предоставить значения по умолчанию или общие условные обозначения, регулирующие эти данные;
- определить ограничения для входных данных, основываясь на стабильности, точности и практичности, а также исходя из последующих ограничений выходных данных;
- после того, как значения характеристик определены в программе, перечислить характеристики и присвоенные значения;
- определить процессы, которые должны использоваться или использовались для получения характеристики и других входных данных;
- предоставить данные о доминирующих переменных в моделях.

Специальные требования к каждой входной переменной

- присвоить имя переменной;
- дать описание или определение;
- указать размерные единицы;
- указать значение по умолчанию, при необходимости;
- указать источник, если он не находится в открытом доступе.

Файлы внешних данных

- дать краткое описание общего содержания и организации каждого файла внешних данных;
- соотнести использование файлов данных с выполнением программы;
- дать ссылки на доступные вспомогательные программы, которые создают, изменяют или редактируют эти файлы.

Требования к управлению системой

Описать процедуру установки и запуска компьютерной программы:

- перечислить команды управления операционной системой, требуемые для выполнения программы;
- привести полный перечень подсказок программы наряду с интервалами соответствующих реакций.

Описать, как входные данные взаимодействуют с файлами данных.

Описать способ прерывания программы:

- дать описание выполнения следующих функций для каждого этапа программы (ввод данных, выполнение и вывод данных):
 - (1) временная остановка программы, затем возобновление работы, и
 - (2) остановка и выход из программы.
- дать описание статуса файлов и данных после прерывания.

Исходящие данные

- дать описание выходных данных программы;
- соотнести отредактированные выходные данные с входными опциями;
- соотнести выходные данные с соответствующими уравнениями;
- дать описание нормализации результатов и перечислить соответствующие размерные единицы;
- определить любые специальные формы выходных данных, например, отображение графической информации и диаграмм.

Требования к персоналу и программе

- установить типичные временные данные и время установки для выполнения обычного запуска;
- определить типы навыков, необходимых для выполнения типичных запусков;
- предоставить информацию, которая позволит пользователю оценить компьютерное время выполнения операций в соответствующих компьютерных системах для типового приложения.

Пробные задачи

- предоставить пробные файлы данных с соответствующими выходными данными, чтобы позволить пользователю отслеживать правильную работу программы;
- описать физическую задачу и соответствующие файлы данных;
- рассмотреть следующие факторы при выборе пробных задач:
 - (1) выбрать типовую тестовую задачу или четко определенный пример;
 - (2) задействовать большую часть доступных запрограммированных опций;
 - (3) использовать только разумно необходимое количество компьютерного времени.
- включить следующую информацию при представлении отредактированных выходных данных:
 - (1) результаты ключевых элементов в краткой форме;
 - (2) точность результатов;
 - (3) параметры выходных данных, в особенности, значимость порядка величины выходных данных.

- предоставить порядок величины времени выполнения компьютерных операций для пробных задач, включая время центрального процессора, время периферийного процессора, и общее затраченное время.

Ограничения

- перечислить аппаратные и программные ограничения;
- предоставить диапазоны и объемы данных;
- описать поведение программы при нарушении ограничений, а также процесс восстановления;
- если характеристики точности существенны, составить их подробное описание;
- предоставить информацию и предупреждения о необходимой степени внимания при выборе входных данных и запуске модели;
- предоставить как общие, так и специальные ограничения модели пожара для специальных приложений. В Руководстве ASTM E 1895 [4] предоставлена методология для систематической оценки моделей пожара, которая может использоваться при оценке пожароопасности.

Сообщения об ошибках

- перечислить инструкции по выполнению соответствующих действий при возникновении сообщений об ошибках;
- описать форму отображения или пояснения к сообщениям об ошибках.

Ссылки

- перечислить издания и другие справочные материалы, напрямую связанные с моделью пожара или программным обеспечением.

СОДЕРЖАНИЕ РУКОВОДСТВА ПО УСТАНОВКЕ, ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И ПРОГРАММИРОВАНИЮ

Ссылка может быть сделана на соответствующие пункты, описанные в руководстве пользователя. При необходимости следует предоставить дополнительную информацию для пояснения деталей процесса программирования. Документация, разработанная компьютером, может дополнять или использоваться вместо традиционной документации. Примерами являются распечатка исходной программы, содержащей тщательно составленные комментарии, словарь с перекрестными ссылками на названия подпрограмм и точки входа, или блок-схемы логики программы.

Системные требования

Аппаратные требования:

- перечислить конфигурацию компьютера, на котором было успешно произведено тестирование программы;
- перечислить основные требования к оперативной памяти, объему и типу внешней памяти (диск и ленты), и периферийному оборудованию (принтер и графопостроитель);
- определить любое специальное аппаратное оборудование, например, синхронизатор и интерактивный канал связи.

Требования к программному обеспечению:

- определить операционную систему, языковые процессоры, соответствующие библиотеки подпрограмм и вспомогательные программы, запускаемые программой, указать соответствующие версии и выпуски программ производителя;
- описать любые известные отклонения от поддерживаемого программного обеспечения производителя, требуемые для программы, например, локальные математические и служебные программы, и другое программное обеспечение, в зависимости от конкретной системы.

Структура программного обеспечения

Для собственных программ или готовых систем, данная документация может быть недоступна или не нужна пользователю.

Исходная программа:

- определить исходный язык (языки);
- добавить блок-схему, демонстрирующую полную структуру и логику программы, и, при необходимости, детальные блок-схемы. Названия подпрограмм должны быть включены в эти схемы.
- точно определить любую известную область зависимости от вспомогательных средств для установки на локальный компьютер;
- включить подробное описание с комментариями и графическое описание методов программирования, использованных при написании программы, то есть, последовательность вызова, оверлейную структуру, план испытаний, общее применение и т.д.;
- предоставить распечатку исходной программы или убедиться, что она находится в свободном доступе;

- использовать комментарии внутри программы. Использование большого количества комментариев является ключом к пониманию программ. В качестве альтернативы может использоваться комментарий, закрепленный за исполняемыми операторами программы.

Документация подразделов:

- предоставить документацию для каждого основного функционального подраздела программы. Такая документация может содержать комментарии к программе или текст, поясняющий программу, или его эквивалент.
- основной функциональный подраздел включает, в том числе, функции, подпрограммы, циклы и индивидуальные подразделы, зависящие от точек принятия решения.

Описание программ и подпрограмм:

- определить роль и функцию основной программы и каждой подпрограммы, списки параметров и их применение;
- для отдельной подпрограммы, перечислить операции, которые ее вызывают, и, в свою очередь, подпрограммы, которые может вызвать она;
- соотнести переменные и постоянные задач с символикой программ;
- описать присвоение имен в совместно используемом запоминающем устройстве, например, блок COMMON в FORTRAN;
- описать функции, выполняемые аппаратно-зависимыми подпрограммами, которые уникальны для данной программы;
- составить подробную документацию любого подпрограммного или программного модуля, который потенциально может использоваться в программах в будущем. При составлении отдельной документации как отдельного объекта, модуль может быть снабжен ссылкой или включен в основную программную документацию.

Характеристики программирования:

- описать процессы распределения памяти и управления данными. Определить характер зависимости требуемой памяти от задач. Рассмотреть выбор программы, который влияет на хранение и буферизацию данных, например, различные величины.
- составить документацию к схеме наложения и сегментации;
- описать перезапуск, восстановление и возможности последовательных операций.

Список переменных:

- перечислить переменные и параметры программ и подпрограмм. В списке, как и во входных данных и результатах, должны отображаться их применение и назначение в программе. Определить их как локальные или как глобальные переменные, в зависимости от того, применяются ли они в модуле или характерны для двух или более модулей системы.
- дать определения всем значимым обозначениям и массивам, применяемым в подпрограмме. Предоставить ссылки на математические или технические обозначения и термины, используемые в техническом документе. При необходимости, предоставить единицы измерения. Описать номинальные и исходные величины параметров (например, нулевую точку вычисления, величины шага и множители сходимости) наряду с их диапазонами. Рассмотреть, как они влияют на процесс вычисления.

Файлы данных

- задать имена, применение (входные данные, выходные данные или временная память), структуру, режим, и элементы данных временных и внешних файлов данных;
- рассмотреть программные процессы, связанные с применением и техническим обслуживанием библиотек и файлов данных, перечислить требования для сохранения и распределения файлов данных;
- перечислить задействованные логические устройства. Описать применение каждого отдельного устройства и любые связанные с ним схемы объединения данных в блоки. Определить содержание и формат резидента данных на каждом устройстве. Рассмотреть соответствующее применение физических устройств и требования к ним.

Внешние характеристики

Для программы, разрабатываемой как часть набора программ или как модуль в более крупной системе, предоставить любые ограничения и требования к данным, связанные с внедрением программы в более крупную систему.

Компилирование, интерпретация, сборка и загрузка

Предоставить инструкции по компилированию, интерпретации, сборке и загрузке программы. Если предположение отдается той или иной последовательности загрузки, требуется указать и объяснить причину.

ASTM E 1895–04. СТАНДАРТНОЕ РУКОВОДСТВО ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИМЕНЕНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЖАРОВ

Данное руководство находится в ведении Комитета E 05 по пожарным стандартам Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM) и является прямой ответственностью Подкомитета E 05.33 по пожарно-техническому анализу. Настоящее издание утверждено и опубликовано в 2004 году.

В данном руководстве представлена методология для систематической оценки моделей пожара, которую можно использовать в расчетах пожароопасности. Данное руководство является средством определения как общих, так и специальных ограничений моделей пожара для конкретного применения. Руководство предназначено для содействия разработчикам и пользователям модели, а также надзорным органам в ответственном использовании моделей пожара.

Данный пожарный стандарт не может быть использован для получения количественных показателей.

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ

Данное руководство дает рекомендации пользователям моделей пожара и надзорным органам по определению ограничений для моделей пожара в оценке пожарного риска и пожароопасности. Также в руководстве представлены рекомендации для разработчиков моделей пожара по определению надлежащего применения и ограничений их модели. Данное руководство предназначено для содействия оценке надлежащего использования моделей пожара в оценке пожара. Эти типы оценок используются в разработке продукции, а также в проектировании и строительстве.

Данное руководство не предназначено для рассмотрения всех или ограничения каких-либо методов оценки надлежащего использования модели пожара. В нем рассматривается использование моделей пожара для оценки пожароопасности. К другим сферам применения моделей пожара относятся послепожарный анализ, исследование, обучение и судебные процессы.

Основной акцент в данном руководстве сделан на зонные модели и модели вычислительной гидродинамики для пожаров в помещениях. Однако другие типы математических моделей требуют аналогичных оценок их прогнозирующих способностей.

РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОДЕЛИ

Первым шагом пользователя модели должно быть определение области применения намеченной оценки пожарного риска или пожароопасности или обеих оценок, далее определение того, является ли моделирование пожара соответствующим средством предоставления информации в процессе принятия решения.

Далее пользователь решает, какие модели доступны к использованию. Некоторые из них являются запатентованными, или в противном случае они недоступны. В зависимости от объема и сложности оценки, возможности компьютерного оборудования пользователя также ограничат круг используемых моделей пожара.

Рассматриваемые модели следует обеспечить доступной документацией, и определить должным ли образом в ней исследованы вопросы, описанные в Руководстве ASTM E 1472 [3].

Далее пользователь должен определить, какая или какие модели соответствуют требованиям оценки. Например, модель для одного помещения может или не может использоваться для оценки нескольких помещений. В последнем разделе приведен список вопросов, с помощью которых можно определить необходимость использования модели в каждом конкретном случае.

Если модель (модели) не соответствует требованиям пользователя, он должен рассмотреть возможность соответствующей модификации модели. Настоятельно рекомендуется модифицировать код модели пожара совместно с ее разработчиком. Модификация должна быть соответствующим образом документирована. Необходимо осуществить валидацию нового кода для интересующего применения. Методология валидации представлена в Руководстве ASTM E 1355 [2].

Использование других средств пожарного дела, таких как мелкомасштабные и крупномасштабные пожарные испытания, например, вероятностной модели, описанной в Руководстве SFPE по проектированию противопожарной защиты, может быть более подходящим, чем применение существующей модели, или необходимым при отсутствии приемлемой компьютерной модели пожара.

Если модель (модели) соответствует требованиям пользователя, необходимо исследовать, понять и документировать нижеуказанные требования как часть процесса оценки:

- проверить известные или опубликованные ограничения модели пожара, такие как геометрия помещения, вентиляция или мощность пожара, а также исследовать влияние этих ограничений на оценку пользователя;
- определить основные допущения моделей, такие как двухуровневое допущение в зонных моделях пожара. Необходимо исследовать влияние этих допущений на оценку пользователя.
- определить характеристические переменные в модели;
- определить необходимые входные данные для модели, а также наличие релевантных данных и стандартных методов испытаний, которые можно задействовать для разработки необходимых входных данных. Следует также определить связанную с входными данными неопределенность.
- определить точность численных данных и оценить возможные сопутствующие проблемы, такие как отказ

- модели осуществлять схождение в пределах ограничений оценки;
- определить объем валидации каждой модели для установки ее надлежащего применения в пределах области оценки. Валидация включает сравнение с другими проверенными моделями, сравнение с результатами пожарных испытаний и согласование с реальным пожарным опытом. Метод валидации представлен в Руководстве ASTM E 1355 [2].

Если данные валидации недоступны, необходимо провести анализ чувствительности для определения воздействия изменений в значимых входных переменных на оценку пожароопасности и обеспечения технических ограничений для выходных результатов.

Следует соответствующим образом документировать использование моделей пожара в оценке пожарного риска и пожароопасности. Документация должна включать как минимум все входные данные, все допущения, модификации и вспомогательную информацию, подтверждающую конкретное применение модели.

РУКОВОДСТВО ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКА МОДЕЛИ

Разработчик модели должен учитывать надлежащее использование и возможное неверное применение модели во время валидации и документации своих моделей в течение процесса разработки. Эта информация должна быть отражена в документах для предоставления руководства по определению надлежащего использования и предотвращения неверного применения модели.

Разработчик должен предоставить доступную для всеобщего обозрения документацию, описывающую известные численные и физические ограничения, а также присущие модели допущения. Метод предоставления данной документации заключается в издании полного технического документа или руководства пользователя. Документация и ее формат должны соответствовать требованиям Руководства ASTM E 1472 [3].

Разработчик должен предоставить доступную для всеобщего обозрения документацию по прогнозирующей способности модели. Процесс оценки моделей пожара описан в Руководстве ASTM E 1355 [2].

Примером является перечисление в техническом документе допущений и ограничений и его приложение к программному обеспечению, представленное в документе «Краткое изложение допущений и ограничений в первой степени опасности», предоставляемое с пакетом компьютерного программного обеспечения первой степени опасности. Другим примером документирования и управления ограничениями модели пожара является их включение в машинный код. Необходимые результаты можно получить в виде текста через интерфейс программы, в форме интерактивных предупреждений или блокирования несоответствующих входных данных.

Разработчик модели должен описать методы испытаний, которые могут быть использованы для валидации модели и то, как должны быть разработаны данные для их применения в модели пожара. Описание модели должно быть представлено в прошедшей экспертную оценку общедоступной литературе.

РУКОВОДСТВО ДЛЯ НАДЗОРНЫХ ОРГАНОВ

В большинстве случаев ответственность за регулятивную экспертизу и принятие технической оценки, включающей использование моделей пожара, несет физическое или юридическое лицо. В целях содействия экспертизе у пользователя модели можно запросить предоставление специфической информации. Эксперт должен запросить экземпляр документации по модели и проверить ее на соответствие требованиям Руководства ASTM E 1472 [3]. Эксперт должен запросить информацию по прогнозирующей способности модели и проверить ее на соответствие требованиям Руководства ASTM E 1355 [2]. Эксперт должен запросить полную документацию по анализу, включая описание модели (моделей), перечень входных и выходных данных, список всех сделанных пользователем допущений и описание известных ограничений модели (моделей). Эксперт должен запросить предоставление документа с информацией об опыте работы пользователя модели и его образовании, а также диплом, подтверждающий, что пользователь обладает необходимыми знаниями и несет ответственность за использование модели пожара. Опыт работы должен включать работу с моделями пожара в общем, и конкретной моделью для интересующего применения. Эксперт должен запросить экземпляры используемого в анализе исходного кода. Это может быть машинный код, написанный разработчиком модели, или модификации кода пользователем модели. Эксперт должен запросить анализ чувствительности для изучения влияния изменения во входных переменных на расчетную пожароопасность. Эксперт должен запросить дополнительные расчеты для оценки чувствительности допущений и подмоделей.

ВОПРОСЫ ПО МОДЕЛЯМ ПОЖАРА

В данном разделе представлен список вопросов, которые могут возникнуть при определении соответствия модели пожара конкретному применению.

1. Сколько помещений может обрабатывать модель?
2. Может ли модель обрабатывать более одного горящего предмета?
3. Может ли модель обрабатывать пожары до вспышки и после вспышки?
4. Каковы выходные данные модели и включают ли они то, что мне необходимо?
5. Какие входные данные необходимы и доступны ли они?
6. Может ли модель обрабатывать пожар и дым более чем на одном этаже?
7. Есть ли в модели ограничения по высоте, площади или размеру проема?
8. Есть ли вероятность того, что от топлива произойдет воспламенение с необычным излучением? Если да, то позволяет ли модель регулировать лучистую долю пламени?
9. Есть ли вероятность того, что пожар будет продолжаться долго, чтобы потолок и стены играли роль? Если да, то учитывает ли модель тепловые свойства материалов стен или горящих стен?

10. Есть ли вероятность воздействия на пожар приточного воздуха из отверстия? Если да, то может ли модель обеспечить этот эффект?
11. Является ли допущение зонной модели, если все условия в верхнем горячем слое одинаковы в любой момент времени, адекватным для адресации проблемы?
12. Сколько видов газа может контролировать модель по зданию?
13. Будет ли пожар долго продолжаться, если фактором должна быть конструктивная целостность стен или потолка? Если да, то будет ли модель это учитывать?
14. Может ли модель учитывать изменение уровня кислорода вблизи огня?
15. Предупредит ли модель пользователя о нереалистичных входных или выходных данных?
16. Может ли пользователь выбрать временные шаги, которые с достаточной точностью отследят эффекты?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ASTM E 176. «Терминология пожарных стандартов»
ASTM E 176. Terminology of fire standards

- [2] ASTM E 1355:2005. «Руководство по оценке прогнозирующей способности моделей пожаров»
ASTM E 1355:2005. Guide for evaluating the predictive capability of deterministic fire models

- [3] ASTM E 1472:2007. «Руководство по составлению документации для компьютерного программного обеспечения для моделей пожаров»
ASTM E 1472:2007. Guide for documenting computer software for fire models

- [4] ASTM E 1895:2004. «Руководство по определению применения и ограничений детерминированных моделей пожаров»
ASTM E 1895:2004. Guide for determining uses and limitations of deterministic fire models